

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

**Харківський національний технічний
університет сільського господарства
імені Петра Василенка**

Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій

С. Я. Бовчалуک

**Методичні вказівки
до виконання курсової роботи з курсу**

«Теорія автоматичного керування»

**для студентів спеціальності
«Автоматизоване управління технологічними процесами»**

2006

Автор:

**старший викладач каф. АіКТ
Бовчалує Станіслав Ярославович**

Затверджено:

**на засіданні кафедри автоматизації та
комп'ютерних технологій**

**30 жовтня 2006 р.,
протокол №2.**

Зміст

	С.
Список прийнятих скорочень	4
Загальні положення	5
Вимоги до змісту курсової роботи	5
Приклад виконання курсової роботи	6
1 Технічне завдання	6
2 Опис об'єкта автоматизації	7
3 Розробка функціональної схеми	8
4 Визначення передатних функцій ланок, що входять до складу САР	9
5 Розробка структурної схеми	10
6 Знаходження ПФ та складання характеристичного рівняння САР	11
7 Аналіз стійкості САР	12
7.1 Аналіз стійкості САР за критерієм Гурвіца	12
7.2 Аналіз стійкості САР за критерієм Михайлова	13
7.3 Аналіз стійкості САР за критерієм Найквіста	15
8 Визначення меж стійкості САР методом D-розбиття	17
Варіанти завдань для виконання КР.....	20
Список літератури	30
Додаток А – Приклад оформлення титульного листа КР	31

Список принятых сокращень

АСК	Автоматична система керування
АФЧХ	Амплітудно-фазо-частотна характеристика
ЄСКД	Єдина система конструкторської документації
КР	Курсова робота
НЗЗ	Негативний зворотний зв'язок
САР	Система автоматичного регулювання
ПФ	Передатна функція
РС	Персональний комп'ютер

Загальні положення

Метою виконання курсової роботи (КР) є закріплення теоретичних знань, придбаних у результаті вивчення курсів «Теоретичні основи автоматики», «Основи автоматики», «Теорія автоматичного керування» та «Мікропроцесорні керуючі пристрої» і одержання практичних навичок з розрахунку й аналізу автоматичних систем керування (АСК).

При виконанні курсової роботи студент повинен навчитися робити короткий опис технологічного процесу, що автоматизується, скласти схему автоматичного регулювання з вказівкою одного з основних принципів керування (за відхиленням керованої величини від заданої; за збуренням; за відхиленням керованої величини від екстремуму), отримати практичні навички з аналізу стійкості САР за трьома критеріями, а також вміти визначити межі стійкості системи методом Неймарка.

Кожен студент отримує у викладача варіант виконання КР, а також свої коефіцієнти диференціальних рівнянь за літерою варіанта (наприклад 2 γ означає другий номер варіанта та коефіцієнти зі строки γ таблиці, що додається до варіанта 2). Завдання для виконання курсової роботи надається у вигляді диференціальних рівнянь, які описують елементарні ланки автоматики, що входять до складу системи автоматичного керування. Також додатково до завдання кожного варіанту студенту необхідно визначити межі стійкості САР при варійованому параметрі μ , що дорівнює коефіцієнту підсилення системи у замкненому стані.

Варіанти завдань наведено на с. 20-29 методичних вказівок.

Вимоги до змісту курсової роботи

КР має містити у собі опис роботи системи автоматичного регулювання; розробку структурної та функціональної схем, визначення динамічних характеристик САР, аналіз стійкості системи за трьома критеріями, а також визначення меж стійкості САР.

Пояснювальна записка КР повинна містити наступні розділи:

- Вступ;
- 1 Технічне завдання для виконання КР;
- 2 Опис об'єкта автоматизації (технологічного процесу);
- 3 Розробка функціональної схеми САР;
- 4 Визначення передатних функцій ланок, що входять до складу САР;
- 5 Розробка структурної схеми САР;
- 6 Знаходження передатної функції та складання характеристичного рівняння САР;
- 7 Аналіз стійкості САР;
 - 7.1 Аналіз стійкості САР за критерієм Гурвіца;
 - 7.2 Аналіз стійкості САР за критерієм Михайлова;

- 7.3 Аналіз стійкості САР за критерієм Найквіста;
 8 Визначення меж стійкості САР методом D-розбиття;
 Висновок по роботі;
 Список літератури;
 Додатки (при необхідності).

Пояснювальна записка КР має бути оформлена згідно до вимог ЄСКД та стандартів України з оформлення технічної документації [1].

КР складається з пояснювальної записки на 20-40 аркушах рукописного або друкованого тексту. Кожен розділ КР має починатися з нової сторінки. Формули у тексті розташовують у вигляді окремих рядків і нумерують, під формулами наводять перелік застосованих позначень з розшифровкою їхнього значення. Графічні побудови, такі як, схеми, годографи Михайлова і Найквіста, криві D-розбиття потрібно оформлювати у вигляді рисунків на окремих аркушах, або як додатки до КР.

Приклад оформлення титульного листа КР наведений у додатку А до методичних вказівок.

Приклад виконання курсової роботи*

У даному пункті методичних вказівок буде розглянуто виконання усіх розділів курсової роботи крім вступу та висновку по роботі, які студент має розробити самостійно.

Для прикладу виконання курсової роботи розглянемо розробку та аналіз системи автоматичного регулювання температури в теплиці.

1 Технічне завдання для виконання КР

Розробити систему автоматичного регулювання температури в теплиці, що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – теплиця, описується аперіодичною ланкою другого порядку

$$1500 \frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} + 100 \frac{d\Theta(t)}{dt} + \Theta(t) = 0,5Q(t) .$$

- 2 Безінерційний датчик – $R_{\Theta}(t)=2\Theta(t) .$

- 3 Регулятор – аперіодична ланка першого порядку

*В прикладі виконання КР курсивом виділені теоретичні або додаткові відомості, які в пояснювальній записці наводити необов'язково.

$$0,5 \frac{dU(t)}{dt} + U(t) = 0,001R_{\theta}(t).$$

4 Виконавчий механізм – інтегруюча ланка

$$\frac{dQ(t)}{dt} = 3U(t).$$

2 Опис об'єкта автоматизації

Теплиця – це найбільш досконалий та технічно оснащений вид захищеного ґрунту, вона дозволяє з допомогою технічних засобів вирощувати рослини у будь-яку пору року. Теплиці, особливо зимові, це складні та енергоємні об'єкти з розгалуженими системами електро-, тепло-, водопостачання та каналізації.

Вирощування рослин в умовах захищеного ґрунту вимагає забезпечення необхідних факторів для їхнього росту і розвитку. Основну увагу необхідно приділяти параметрам мікроклімату в теплиці: освітленості, температурі та вологості повітря, концентрації вуглекислого газу і т.п. У ході технологічного процесу в теплиці на нього впливають різні зовнішні та внутрішні збудуючі дії (зниження температури зовнішнього повітря, що призводить до зниження температури повітря в теплиці та ін.), які необхідно компенсувати використовуючи для цього, наприклад, САР.

В системі, що розробляється в якості сприймаючого елемента можливе використання різних типів датчиків температури як металевих, так і напівпровідникових (наприклад термоопори, термопари та ін.). До складу сприймаючого елемента можуть входити різні типи підсилювачів (магнітні, напівпровідникові).

Обираючи спосіб обігріву теплиці зупиняємося на водяному обігріві, оскільки він має високі експлуатаційні та економічні показники і тому найбільш розповсюджений. Він характеризується простотою облаштування і низькою трудомісткістю в обслуговуванні, легкістю управління та нешкідливістю для рослин і обслуговуючого персоналу, доступністю і високим відсотком використання теплоти (65...70%). Виконавчий елемент – це клапан для подачі гарячої води із системи водяного опалення в систему обігріву об'ємного простору теплиці. Керуючий елемент – сервопривод типу АСМ чи подібний до нього за параметрами.

3 Розробка функціональної схеми САР

Функціональні схеми САР можуть розроблятися з великою і малою ступінню деталізації. Але об'єм інформації, поданий на схемі, повинен забезпечувати повне уявлення про прийняті рішення щодо автоматизації технологічного процесу.

Виходячи з технічного завдання, до функціональної схеми САР температури в теплиці потрібно включити наступні блоки:

- ЧЕ – чутливий елемент;
- КЕ – керуючий елемент;
- ВЕ – виконавчий елемент;
- ОК – об'єкт керування;
- ЕП – елемент порівняння.

Функціональна схема системи автоматичного регулювання температури в теплиці показана на рис. 1.

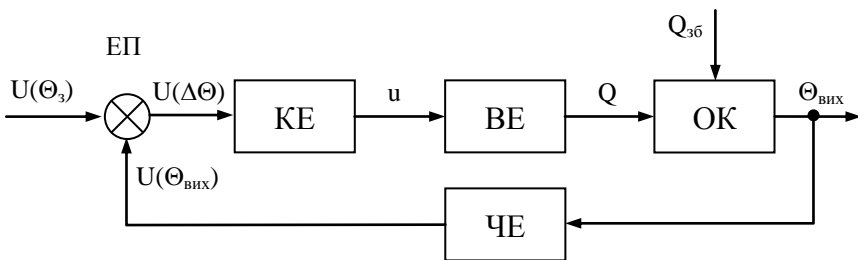


Рисунок 1 – Функціональна схема САР температури в теплиці

- де $U(\Theta_3)$ – вхідний сигнал, що пропорційний заданій температурі в теплиці;
 $\Theta_{\text{вих}}$ – реальна температура в об'ємному просторі теплиці;
 Q – подача теплоносія, що впливає на температуру в об'ємному просторі теплиці;
 $Q_{3б}$ – збурюючий вплив;
 $U(\Theta_{\text{вих}})$ – вихідний сигнал датчика температури;
 u – вихідний сигнал регулятора.

САР працює наступним чином: під дією збурюючого впливу $Q_{3б}$ змінюється значення температури в об'ємному просторі теплиці $\Theta_{\text{вих}}$, що сприймається чутливим елементом, який формує пропорційний вихідний сигнал $U(\Theta_{\text{вих}})$; на виході елемента порівняння формується різниця $U(\Delta\Theta)$ між заданим $U(\Theta_3)$ та реальним значенням температури, яка подається на керуючий елемент; керуючий елемент своїм вихідним сигналом u змінює

режим роботи виконавчого елемента, який збільшує або зменшує подачу теплоносія Q до об'єкту керування, тобто до теплиці, і таким чином компенсує дію збуджуючого впливу.

Оскільки вхідним сигналом для регулятора є різниця $\Delta\Theta$ між заданим значенням температури та реальною температурою в об'ємному просторі теплиці, розроблений регулятор працює за принципом відхилення (принцип Ползунова-Уатта).

4 Визначення передатних функцій ланок, що входять до складу САР

Передатною функцією (ПФ) називається відношення зображення за Лапласом вихідної величини $Y(p)$ до зображення за Лапласом вхідної величини $X(p)$ при нульових початкових умовах:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{P(p)}{Q(p)}, \quad (1)$$

де поліном $Q(p)$ називають характеристичним, $P(p)$ – оператором впливу, а рівняння виду $Q(p)=0$ називають характеристичним рівнянням.

Перш ніж приступити до визначення передатних функцій елементів САР, необхідно перейти від диференціальної форми рівняння до алгебраїчної. Даний перехід базується на так званому перетворенні Лапласа, що пов'язує змінну величину $x(t)$ у функції часу t зі змінною величиною $x(p)$ у функції комплексного змінного p :

$$x(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt, \quad (2)$$

$$x(t) = \frac{1}{j2\pi} \int_{-j\infty}^{j\infty} x(p)e^{pt} dp, \quad (3)$$

де $x(t)$ – оригінал функції $x(p)$;
 $x(p)$ – зображення функції $x(t)$;
 p – оператор Лапласа.

Перехід від функції $x(t)$ до її зображення $x(p)$ називається прямим перетворенням Лапласа (2), а перехід від зображення $x(p)$ до оригіналу $x(t)$ – зворотнім перетворенням Лапласа (3).

Практичний перехід від диференціального рівняння до алгебраїчного виконують без будь-яких обчислень, а формальною заміною d^n/dt^n на p^n і

функцій $x(t)$ і $y(t)$ - їхніми зображеннями $x(p)$ та $y(p)$.

Розглянемо перехід від диференціального рівняння до ПФ на прикладі об'єкту керування.

Диференціальне рівняння об'єкту керування (теплиці):

$$1500 \frac{d^2 \Theta(t)}{dt^2} + 100 \frac{d\Theta(t)}{dt} + \Theta(t) = 0,5Q(t) . \quad (4)$$

Зробимо перехід від диференціального рівняння до алгебраїчного, замінивши похідні на оператор Лапласа p

$$(1500p^2 + 100p + 1)\Theta(p) = 0,5Q(p) , \quad (5)$$

де $\Theta(p)$ – вихідний сигнал за Лапласом – $Y(p)$;

$g(p)$ – вхідний сигнал за Лапласом – $X(p)$;

Визначимо передатну функцію об'єкту керування $W_{\text{ок}}$ в операторній формі, для чого в формулі (5) виведемо $Y(p)$, та підставимо в чисельник формули (1). Після скорочення $X(p)$ отримуємо

$$W_{\text{ок}}(p) = \frac{0,5}{1500p^2 + 100p + 1} . \quad (6)$$

Аналогічно визначимо передатні функції для інших ланок САР:

$$W_{\text{че}}(p) = 2 ; \quad (7)$$

$$W_{\text{ке}}(p) = \frac{0,001}{0,5p + 1} ; \quad (8)$$

$$W_{\text{ве}}(p) = 3 / p . \quad (9)$$

5 Розробка структурної схеми САР

Згідно з технічним завданням КР та розрахованими передатними функціями розробляємо структурну схему САР температури в теплиці (рис. 2), яка містить наступні елементарні ланки автоматики:

- 1) датчик – підсилююча ланка;
- 2) регулятор – аперіодична ланка першого порядку;
- 3) виконавчий елемент – інтегруюча ланка;

4) об'єкт керування – аперіодична ланка другого порядку;

З аналізу САР можна встановити, що при підвищенні температури в об'ємному просторі теплиці регулятор має прагнути зменшити подачу теплоносія, тобто понизити температуру об'єкту керування, і навпаки. Таким чином робимо висновок, що для САР необхідно використати негативний зворотний зв'язок (НЗЗ), що позначено на структурній схемі затемненим сектором елемента порівняння.

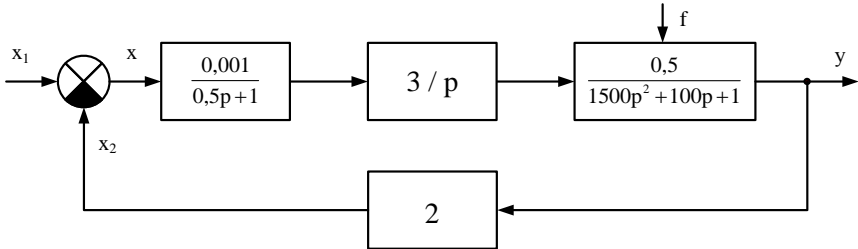


Рисунок 2 – Структурна схема САР температури в теплиці

6 Знаходження ПФ та складання характеристичного рівняння САР

Для аналізу стійкості САР необхідно знайти передатну функцію системи в цілому.

Спочатку знайдемо ПФ розімкненої системи (з розімкненим зворотнім зв'язком) – $W_{роз}(p)$:

$$W_{роз}(p) = W_{п}(p) \cdot W_{зз}(p) = \frac{0,001}{0,5p+1} \cdot \frac{3}{p} \cdot \frac{0,5}{1500p^2+100p+1} \cdot 2 = \frac{0,003}{750p^4+1550p^3+100,5p^2+p}, \quad (10)$$

де $W_{п}(p)$ – передатна функція прямої гілки;

$W_{зз}(p)$ – передатна функція гілки зворотного зв'язку.

Знаходимо ПФ замкненої САР $W_{замк}(p)$, використовуючи для цього формулу

$$W_{замк}(p) = \frac{W_{п}(p)}{1 \pm W_{п}(p)W_{зз}(p)}. \quad (11)$$

Оскільки в САР використано НЗЗ, у формулі (11) залишаємо знак «+» у знаменнику.

Підставивши у формулу (11) значення $W_{II}(p)$ та $W_{III}(p)$ отримаємо вираз для розрахунку $W_{\text{замк}}(p)$

$$\begin{aligned} W_{\text{замк}}(p) &= \frac{\frac{0,001}{0,5p+1} \cdot \frac{3}{p} \cdot \frac{0,5}{1500p^2+100p+1}}{1 + \frac{0,003}{750p^4+1550p^3+100,5p^2+p}} = \\ &= \frac{\frac{0,0015}{750p^4+1550p^3+100,5p^2+p}}{\frac{750p^4+1550p^3+100,5p^2+p+0,003}{750p^4+1550p^3+100,5p^2+p}} = \\ &= \frac{0,0015}{750p^4+1550p^3+100,5p^2+p+0,003}. \end{aligned} \quad (12)$$

Знаменник виразу (12) – це характеристичний поліном замкненої системи:

$$Q(p) = 750p^4 + 1550p^3 + 100,5p^2 + p + 0,003. \quad (13)$$

Прирівняємо до нуля характеристичний поліном і таким чином отримаємо придатне до аналізу характеристичне рівняння замкненої системи:

$$750p^4 + 1550p^3 + 100,5p^2 + p + 0,003 = 0. \quad (14)$$

7 Аналіз стійкості САР

7.1 Аналіз стійкості САР за критерієм Гурвіца

Критерій Гурвіца базується на певному записі коефіцієнтів характеристичного рівняння (15) у вигляді визначників і формулює умови стійкості в залежності від знаків коефіцієнтів та визначників.

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0. \quad (15)$$

Визначник Гурвіца (16) складають таким чином: Усі коефіцієнти від a_1 до a_n розташовують за головною діагоналлю в порядку зростання індексів; вгору від головної діагоналі, в стовпцях, записуються коефіцієнти характеристичного рівняння з послідовно зростаючими, а вниз – з убутними

індексами; на місці коефіцієнтів, індекси яких більші ніж n і менші ніж нуль, проставляють нулі:

$$\Delta n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \cdots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \cdots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & a_2 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & a_1 & \cdots & a_n \end{vmatrix}. \quad (16)$$

Підставляючи коефіцієнти характеристичного рівняння (14) у визначник Гурвіца (16), одержимо матрицю розміром 4×4 :

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 1550 & 1 & 0 & 0 \\ 750 & 100,5 & 0,003 & 0 \\ 0 & 1550 & 1 & 0 \\ 0 & 750 & 100,5 & 0,003 \end{vmatrix}. \quad (17)$$

За критерієм Гурвіца система стійка тоді і тільки тоді, коли при $a > 0$, всі коефіцієнти a_i та всі діагональні мінори визначника Δn додатні, тобто:

$$a_0 > 0; a_1 > 0; \dots; a_{n-1} > 0; a_n > 0;$$

$$\Delta_1 > 0; \Delta_2 > 0; \dots; \Delta_{n-1} > 0; \Delta_n > 0.$$

У нашому прикладі $a_0=750>0$; $a_1=1550>0$; $a_2=100,5>0$; $a_3=1>0$; $a_4=0,003>0$.

Виконаємо обчислення мінорів $\Delta_1 - \Delta_4$ за формулами:

$$\Delta_1 = a_1; \quad (18)$$

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3; \quad (19)$$

$$\Delta_3 = a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_4 a_1^2; \quad (20)$$

$$\Delta_4 = (a_1 a_2 - a_0 a_3)(a_3 a_4) - (a_1 a_4)^2 = \Delta_3 a_4. \quad (21)$$

Після підстановки коефіцієнтів характеристичного рівняння отримуємо наступні значення діагональних мінорів: $\Delta_1=1550>0$; $\Delta_2=155025>0$; $\Delta_3=147820>0$; $\Delta_4=443,4525>0$.

Висновок: Оскільки всі коефіцієнти характеристичного рівняння (14) додатні та всі діагональні мінори також додатні, то система стійка.

7.2 Аналіз стійкості за критерієм Михайлова

Аналіз стійкості САР проводиться з використанням характеристичного рівняння замкненої системи (14). Для цього замінимо комплексну змінну p на

$j\omega$ і отримаємо вектор Михайлова

$$750(j\omega)^4 + 1550(j\omega)^3 + 100,5(j\omega)^2 + (j\omega) + 0,003. \quad (22)$$

Виділимо в рівнянні (22) дійсну $Re(\omega)$ та уявну $Im(\omega)$ частини, враховуючи що: $j = \sqrt{-1}$; $j^2 = -1$; $j^3 = -j$; $j^4 = 1$.

$$Re(\omega) = 750\omega^4 - 100,5\omega^2 + 0,003. \quad (23)$$

$$jIm(\omega) = \omega - 1550\omega^3. \quad (24)$$

Підставляючи у вирази (23) і (24) значення частоти ω від 0 до ∞ , знаходимо значення дійсної та уявної частин вектора, за якими будемо на комплексній площині годограф Михайлова (рис. 3, 4). Для побудови годографа Михайлова краще використовувати пакет MATLAB 6.0 або інший.

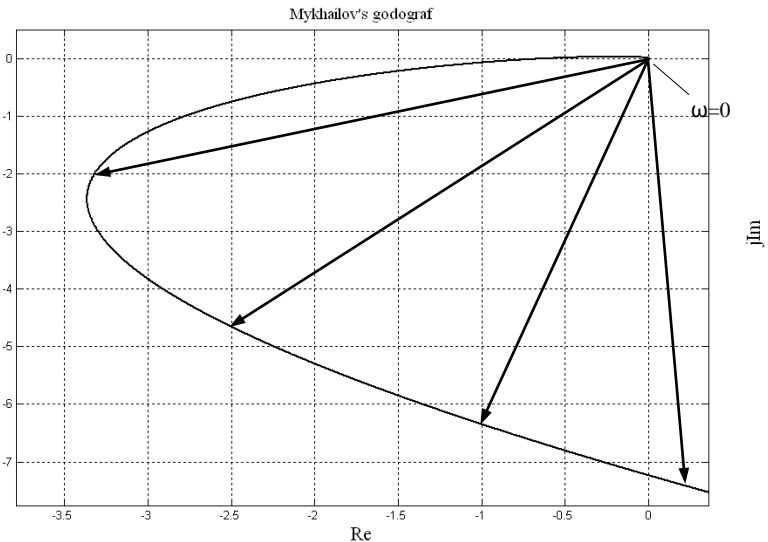


Рисунок 3 – Годограф Михайлова

Висновок: З побудов видно, що годограф Михайлова починається на дійсній додатній піввісі (при значенні $\omega=0$), обертається проти годинникової стрілки, ніде не перетворюється в нуль, проходить послідовно число квадрантів (чотири), що дорівнює степені характеристичного рівняння (22); отже система стійка.

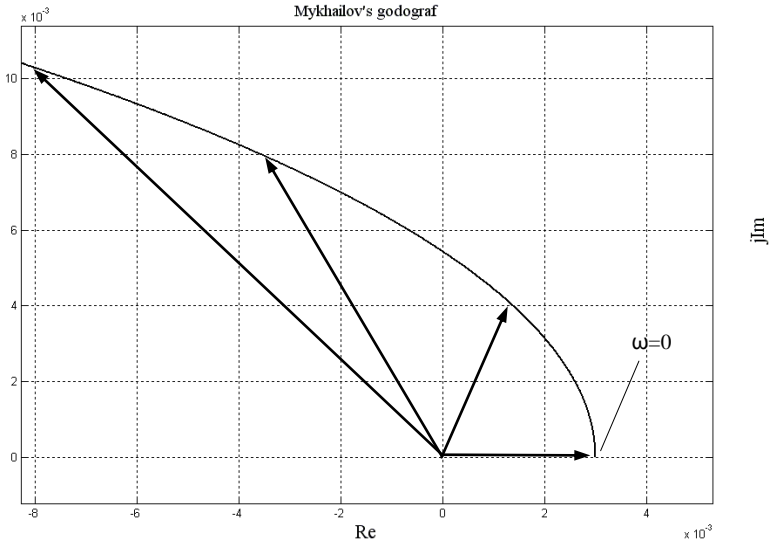


Рисунок 4 – Початок годографа Михайлова

7.3 Аналіз стійкості САР за критерієм Найквіста

Критерій Найквіста дозволяє судити про стійкість замкненої системи за АФЧХ розімкненої системи (10).

Для переходу від ПФ до амплітудно-фазо-частотної характеристики спочатку зробимо заміну p на $j\omega$:

$$W_{\text{роз}}(j\omega) = \frac{0,003}{750j\omega^4 - 1550j\omega^3 - 100,5\omega^2 + j\omega} = \frac{0,003}{(750\omega^4 - 100,5\omega^2) + j(\omega - 1550\omega^3)}. \quad (25)$$

Для побудови годографа АФЧХ спочатку помножимо дріб (25) на число (26), комплексно-спряжене до знаменника виразу (25), це дасть змогу позбутися комплексної величини j у знаменнику.

$$(750\omega^4 - 100,5\omega^2) - j(\omega - 1550\omega^3). \quad (26)$$

$$W_{\text{роз}}(j\omega) = \frac{2,25\omega^4 - 0,3015\omega^2 - j(0,003\omega - 4,65\omega^3)}{(750\omega^4 - 100,5\omega^2)^2 + (\omega - 1550\omega^3)^2}. \quad (27)$$

В отриманому виразі виділимо дійсну $\text{Re}(\omega)$ та уявну $j\text{Im}(\omega)$ частини рівняння:

$$\text{Re}(\omega) = \frac{2,25\omega^4 - 0,3015\omega^2}{(750\omega^4 - 100,5\omega^2)^2 + (\omega - 1550\omega^3)^2}; \quad (28)$$

$$j\text{Im}(\omega) = \frac{4,65\omega^3 - 0,003\omega}{(750\omega^4 - 100,5\omega^2)^2 + (\omega - 1550\omega^3)^2}. \quad (29)$$

Підставляючи у формули (28), (29) значення частоти ω у діапазоні від 0 до ∞ знаходимо дійсну $\text{Re}(\omega)$ та уявну $j\text{Im}(\omega)$ частини АФЧХ за якими будемо годограф Найквіста для розімкненої САР (рис.5).

Перший випадок критерію стійкості Найквіста формулюється таким чином: система автоматичного керування, що стійка у розімкненому стані, буде стійкою і у замкненому стані, якщо годограф АФЧХ розімкненої системи не охоплює точку комплексної площини з координатами $(-1; j0)$.

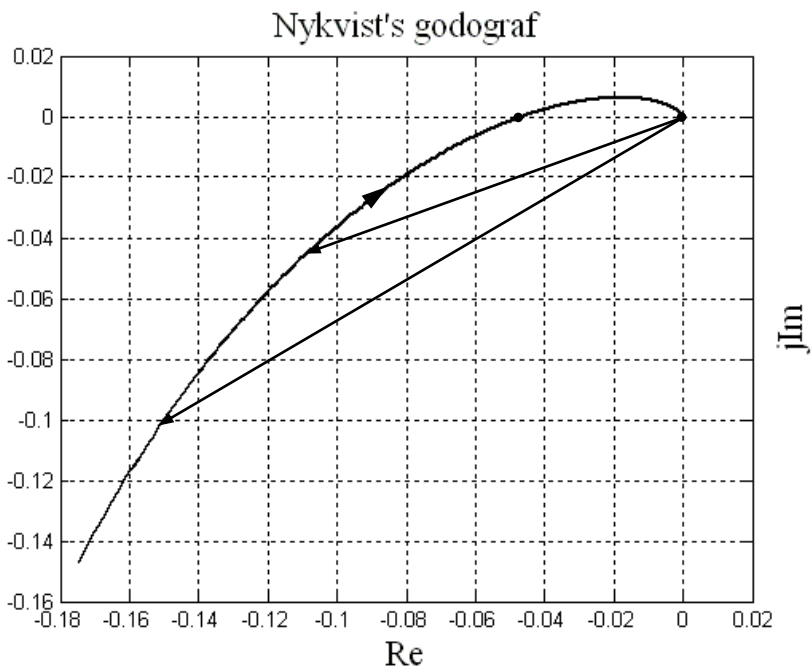


Рисунок 5 - Годограф АФЧХ розімкненої САР температури в теплиці

Висновок: Оскільки годограф АФЧХ розімкненої системи не охоплює точку комплексної площини із координатами $-1;j0$, то замкнена САР температури в теплиці буде стійкою.

8 Визначення меж стійкості САР методом D-розбиття

Визначимо межі стійкості САР температури теплиці у випадку коли варійований параметр μ це загальний коефіцієнт підсилення системи у замкненому стані – k .

Як відомо коефіцієнт підсилення системи автоматичного регулювання у замкненому стані чисельно дорівнює вільному члену характеристичного рівняння (15) – a_n . Метод D-розбиття Неймарка базується на критерії Михайлова і шуканий параметр μ визначається виразом:

$$M_F = \frac{M(j\omega)}{N(j\omega)} \quad (30)$$

де $M(j\omega)$ – поліном складові якого не залежать від величини μ ;
 $N(j\omega)$ – поліном складові якого залежать від величини μ ;

Таким чином у нашому випадку ПФ замкненої системи виглядає наступним чином:

$$750(j\omega)^4 + 1550(j\omega)^3 + 100,5(j\omega)^2 + (j\omega) + \mu = 0. \quad (31)$$

Отже поліном $N(j\omega) = 1$, а поліном $M(j\omega)$ дорівнює

$$750(j\omega)^4 + 1550(j\omega)^3 + 100,5(j\omega)^2 + (j\omega). \quad (32)$$

Після підстановки у (30) значень поліномів і розкриття дужок з урахуванням степені j отримуємо вираз для побудови кривої D-розбиття:

$$M_F = \frac{-750\omega^4 + 1550j\omega^3 + 100,5\omega^2 - j\omega}{1}. \quad (33)$$

По аналогії з критерієм Михайлова виділимо в отриманому виразі дійсну і уявну частини рівняння:

$$\text{Re}(\omega) = 100,5\omega^2 - 750\omega^4; \quad (34)$$

$$j\text{Im}(\omega) = 1550\omega^3 - \omega. \quad (35)$$

Підставляючи в отримані рівняння (34), (35) значення частоти ω у діапазоні від $-\infty$ до $+\infty$ за допомогою пакету MATLAB 6.0 отримуємо на площині комплексного змінного μ криву D-розбиття, що ділить площину на три області (рис. 6).

Для визначення області, що відповідає шуканому параметру μ , на криву D-розбиття необхідно нанести штриховку за наступним правилом: при русі кривою у напрямку від значень частоти $\omega=-\infty$ до значень $\omega=+\infty$ область стійких систем знаходиться ліворуч, отже і штриховка наноситься зліва.

Як відомо шуканий коефіцієнт підсилення замкненої системи може бути тільки дійсною додатною величиною, отже шукаємо на площині D-розбиття область, що відповідає наступним вимогам:

- область має бути замкненою;
- штриховка кривої у межах даної області має бути розташованою всередині;
- область має лежати на додатній вісі дійсних чисел.

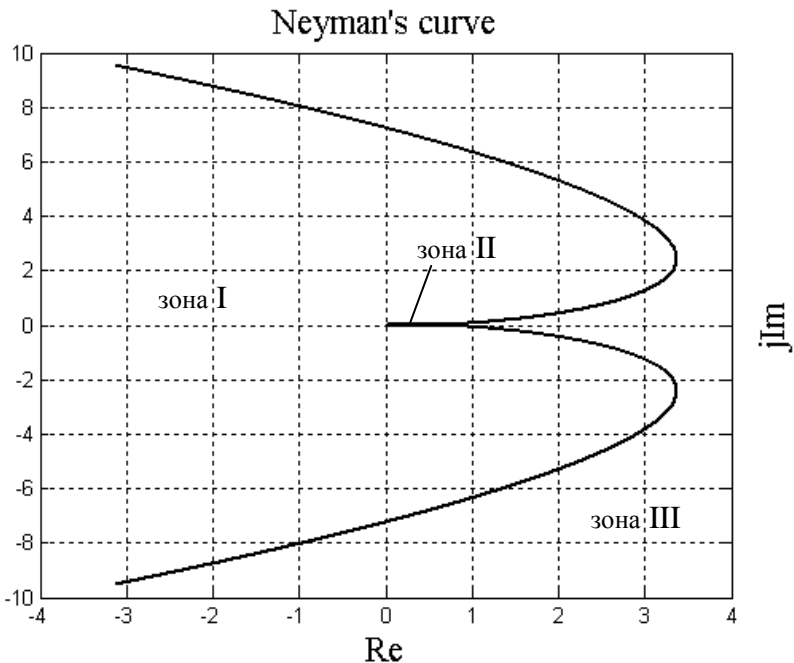


Рисунок 6 – Крива D-розбиття для визначення коефіцієнту підсилення САР

Для точного визначення меж зміни варійованого параметра збільшимо отриману криву і нанесемо штриховку (рис. 7).

Необхідно зазначити, що при виконанні розрахунків з використанням РС

наносити штриховку на отриману криву необов'язково, але при захисті КР необхідно вміти вказати її розташування. Також при використанні пакету MATLAB відсутня можливість використання грецьких літер, тому позначення осей координатних систем можна наводити спрощено.

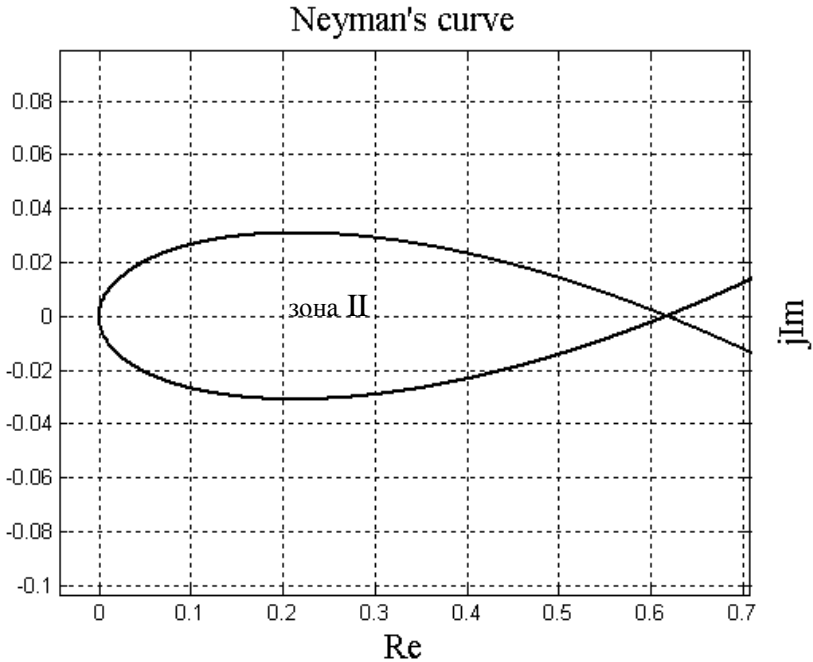


Рисунок 7 – Замкнена зона II, що визначає шуканий параметр μ

Висновок: За кривою D-розбиття можна визначити, що всім перерахованим вище вимогам відповідає тільки область II і відповідно значення коефіцієнта підсилення замкненої системи k , при якому вона буде стійкою знаходиться у межах від 0 до 0,617.

Варіанти завдань для виконання КР

Варіант №1.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання температури печі, що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – піч, описується аперіодичною ланкою другого порядку

$$T_1 \frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} + T_2 \frac{d\Theta(t)}{dt} + \Theta(t) = k_1 g(t).$$

- 2 Датчик разом з вимірювальним мостом – $R_{\Theta}(t) = k_2 \Theta(t)$.

- 3 Керуючий елемент, описується аперіодичною ланкою першого порядку –

$$T_3 \frac{dU(t)}{dt} + U(t) = k_3 R_{\Theta}(t).$$

- 4 Виконавчий механізм (серводвигун) – $\frac{dg}{dt} = k_4 U(t)$.

Таблиця 1.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №1

	T_1	T_2	T_3	k_1	k_2	k_3	k_4
1	2	20	1	1	2	0,001	1
2	3	18	0,9	0,3	3	0,002	2
3	1,5	16	0,8	0,5	1	0,003	3
4	1,7	14	0,7	0,9	4	0,01	0,5
5	1	12	0,6	0,5	5	0,03	2
6	0,6	10	0,5	0,7	2	0,02	1
7	0,5	8	0,4	0,4	3	0,004	2
8	0,2	6	0,3	0,5	1,5	0,005	3
9	7	22	0,5	0,8	2,5	0,006	0,8
10	4	24	0,7	0,7	2	0,007	1

Варіант №2.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання тиску стиснутого повітря (статична система регулювання) [6, с. 60], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – резервуар зі стислим повітрям та клапаном, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_1 \frac{dP(t)}{dt} + P(t) = k_1 h(t).$$

- 2 Датчик – манометрична пружина, описується коливальною ланкою

$$T_2 \frac{d^2L(t)}{dt^2} + T_3 \frac{dL(t)}{dt} + L(t) = k_2 P(t).$$

- 3 Важільний підсилювач $S(t) = k_3 L(t)$.

- 4 Виконавчий механізм – гідравлічний циліндр з підсилювачем типу сопло-заслінка, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_4 \frac{dh(t)}{dt} + h(t) = k_4 S(t).$$

Таблиця 2.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №2

	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3	k_4
1	1,5	0,01	0,005	1,4	0,8	0,4	1	0,1
2	1,4	0,002	0,0009	1,8	1,1	0,5	0,9	0,2
3	1,3	0,015	0,01	2	1,2	0,3	0,8	0,3
4	1,2	0,02	0,006	2,5	1,3	0,2	0,7	0,25
5	1,1	0,009	0,001	1,1	1,4	0,15	1,1	0,15
6	1	0,008	0,002	1,3	1,7	0,25	1,2	0,09
7	0,9	0,007	0,003	0,9	1,8	0,35	1,3	0,08
8	0,8	0,006	0,004	1	1,6	0,45	0,7	0,1
9	0,7	0,005	0,002	0,8	1,5	0,3	0,6	0,2
10	0,6	0,004	0,001	0,7	1	0,4	0,5	0,3

Варіант №3.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання тиску стиснутого повітря (астатична система регулювання) [6, с. 70], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – резервуар зі стислим повітрям та клапаном, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_1 \frac{dP(t)}{dt} + P(t) = k_1 h(t).$$

- 2 Датчик – манометрична пружина, описується коливальною ланкою

$$T_2 \frac{d^2L(t)}{dt^2} + T_3 \frac{dL(t)}{dt} + L(t) = k_2 P(t).$$

- 3 Важільний підсилювач $S(t) = k_3 L(t)$.

- 4 Виконавчий механізм – двосторонньої дії з підсилювачем із золотником, описується ідеальною інтегруючою ланкою

$$T_4 \frac{dh(t)}{dt} = S(t).$$

Таблиця 3.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №3

	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3
1	1	0,04	0,01	1,5	1	0,2	0,5
2	1,1	0,05	0,015	1,25	1,2	0,4	0,3
3	0,9	0,06	0,02	1,4	1,3	0,3	0,5
4	0,8	0,03	0,025	1,3	1,4	0,25	0,6
5	0,7	0,04	0,01	1,2	1,5	0,3	0,4
6	1	0,05	0,015	1,4	1,6	0,25	0,5
7	0,7	0,05	0,02	1,3	1,7	0,2	0,6
8	0,8	0,04	0,01	1,2	1,8	0,15	0,7
9	0,9	0,03	0,03	1,1	1,9	1,2	0,5
10	1,1	0,035	0,02	1	2	0,1	0,7

Варіант №4.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання завантаження робочих органів зернозбирального комбайна [2, с. 294], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – зернозбиральний комбайн, який з припущенням можна описати аперіодичною ланкою другого порядку

$$T_1 \frac{d^2V(t)}{dt^2} + T_2 \frac{dV(t)}{dt} + V(t) = k_1 y(t).$$

- 2 Чутливий орган – важільний підсилювач з пружиною, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_3 \frac{dX(t)}{dt} + X(t) = k_2 V(t).$$

- 3 Гідропідсилювач – $q(t) = k_3 X(t)$.

- 4 Виконавчий механізм – гідроциліндр, описується інтегруючою ланкою

$$T_4 \frac{dy(t)}{dt} = q(t).$$

Таблиця 4.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №4

	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3
1	0,01	0,15	0,001	1,7	0,5	2	1
2	0,02	0,1	0,002	1,8	0,3	3	1,1
3	0,03	0,2	0,005	2	0,4	2,5	0,9
4	0,04	0,25	0,006	1,5	0,6	4	0,5
5	0,05	0,3	0,007	1,2	0,7	2	0,7
6	0,06	0,4	0,008	1,3	0,8	1,5	1,1
7	0,07	0,35	0,003	1,1	0,3	2,5	1,5
8	0,08	0,45	0,004	1,6	0,5	3	0,7
9	0,1	0,5	0,0005	2,1	0,2	3,5	1,5
10	0,09	0,6	0,0001	1,4	0,5	2	0,7

Варіант №5.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання температури електроліту в процесі гальванічних операцій [3, с. 86], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – ванна з електролітом, описується аперіодичною ланкою другого порядку

$$T_1 \frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} + T_2 \frac{d\Theta(t)}{dt} + \Theta(t) = k_1 g(t).$$

- 2 Датчик – описується підсилюючою ланкою

$$R_\Theta(t) = k_2 \Theta(t).$$

- 3 Регулятор $U(t) = k_3 R_\Theta(t)$.

- 4 Виконавчий елемент – електричний нагрівач, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_3 \frac{dg(t)}{dt} + g(t) = k_4 U(t).$$

Таблиця 5.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №5

	T_1	T_2	T_3	k_1	k_2	k_3	k_4
1	5	100	20	0,5	1	0,001	0,4
2	7	150	30	0,1	2	0,002	0,7
3	8	200	25	0,6	3	0,0015	0,8
4	6	250	27	0,7	1,5	0,0025	0,3
5	10	300	15	0,8	1,7	0,003	0,25
6	12	50	17	0,9	2,5	0,0017	0,15
7	2	270	10	0,55	2,7	0,0022	0,1
8	4	400	5	0,45	3,6	0,0005	0,17
9	3	180	35	0,35	3,9	0,001	0,28
10	9	170	40	0,2	1,9	0,0023	0,35

Варіант №6.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання вологості в парнику [3, с. 59], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – парник, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_1 \frac{dW(t)}{dt} + W(t) = k_1 c(t).$$

- 2 Датчик – описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_2 \frac{du(t)}{dt} + u(t) = k_2 W(t).$$

- 3 Регулятор $I(t) = k_3 u(t)$.

- 4 Виконавчий елемент – оприскувач (зволожувач), описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_3 \frac{dc(t)}{dt} + c(t) = k_4 I(t).$$

Таблиця 6.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №6

	T_1	T_2	T_3	k_1	k_2	k_3	k_4
1	100	0,1	0,1	0,1	2	0,5	1
2	200	0,2	0,2	0,2	3	0,4	1,1
3	300	0,15	0,5	0,25	5	0,3	1,2
4	400	0,5	0,4	0,45	2,5	0,2	0,9
5	500	3	0,3	0,35	3,5	0,1	0,8
6	600	0,35	0,7	0,55	4,5	0,6	0,85
7	450	4	0,6	0,5	5,5	0,55	0,95
8	350	0,45	0,9	0,3	1,5	0,45	1,05
9	250	0,5	0,25	0,4	2,7	0,35	0,75
10	150	5	0,45	0,28	3,3	0,25	0,65

Варіант №7.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання температури в пастеризаторі [2, с. 250], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – пастеризатор, описується аперіодичною ланкою другого порядку

$$T_1 \frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} + T_2 \frac{d\Theta(t)}{dt} + \Theta(t) = k_1 g(t).$$

- 2 Датчик – описується підсилюючою ланкою

$$R_\Theta(t) = k_2 \Theta(t).$$

- 3 Інтегруючий регулятор $T_3 \frac{dU(t)}{dt} = R_\Theta(t)$.

- 4 Виконавчий елемент – теплообмінник, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_4 \frac{dg(t)}{dt} + g(t) = k_3 U(t).$$

Таблиця 7.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №7

	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3
1	10	5	1	1	0,9	2	0,4
2	20	4	1,1	1,2	0,8	3	0,3
3	30	3	1,2	1,4	0,7	1,5	0,2
4	40	6	1,3	1,6	0,1	3,5	0,8
5	50	7	1,4	1,8	0,5	2,5	0,7
6	60	8	0,9	2,0	0,55	1,7	0,65
7	70	9	0,8	2,2	0,2	2,2	0,45
8	80	12	1,3	2,4	0,3	2,4	0,75
9	90	11	1,2	2,6	0,4	3,3	0,35
10	100	10	1,1	2,8	0,45	2,8	0,4

Варіант №8.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання температури в овочесховищі [4, с. 186], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – овочесховище, описується аперіодичною ланкою другого порядку

$$T_1 \frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} + T_2 \frac{d\Theta(t)}{dt} + \Theta(t) = k_1 g(t).$$

- 2 Датчик – описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_3 \frac{dR_{\Theta}(t)}{dt} + R_{\Theta}(t) = k_2 I(t).$$

- 3 Інтегруючий регулятор

$$T_4 \frac{dU(t)}{dt} = R_{\Theta}(t).$$

- 4 Виконавчий елемент – вентилятор, описується підсилюючою ланкою

$$g(t) = k_3 U(t).$$

Таблиця 8.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №8

	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3
1	21600	2500	10	1	0,025	2	0,5
2	23000	2600	15	1,2	0,023	3	0,4
3	24000	2700	20	1,4	0,020	1,5	0,3
4	24500	2800	25	1,6	0,018	3,5	0,2
5	25000	2900	30	1,8	0,015	2,5	0,1
6	26000	3000	35	2,0	0,014	1,7	0,6
7	27000	3200	40	2,2	0,012	2,2	0,55
8	28000	3300	45	2,4	0,010	2,4	0,45
9	29000	3600	50	2,6	0,009	3,3	0,35
10	30000	3800	60	2,8	0,008	2,8	0,25

Варіант №9.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання вологості в тваринницькому приміщенні [4, с. 242], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – тваринницьке приміщення, що описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_1 \frac{dW(t)}{dt} + W(t) = k_1 c(t).$$

- 2 Датчик – описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_2 \frac{du(t)}{dt} + u(t) = k_2 W(t).$$

- 3 Регулятор $T_3 \frac{dI(t)}{dt} = u(t)$.

- 4 Виконавчий елемент – оприскувач (зволожувач), описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_4 \frac{dc(t)}{dt} + c(t) = k_3 I(t).$$

Таблиця 9.1- Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіанту №9

	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3
1	1000	1	0,1	5	0,15	2	0,1
2	1100	2	0,2	3	0,25	3	0,11
3	1200	15	0,5	5	0,25	5	0,12
4	1300	25	0,4	6	0,4	2,5	0,9
5	1400	3	0,3	4	0,3	3,5	0,8
6	1500	35	0,7	2	0,5	4,5	0,85
7	1600	4	0,6	8	0,55	5,5	0,95
8	1700	45	0,9	6	0,35	1,5	1,05
9	1800	5	0,25	9	0,45	2,7	0,75
10	2000	6	0,45	1	0,5	2,5	0,65

Варіант №10.

Розробити та проаналізувати на стійкість систему автоматичного регулювання безвежною водонасосною установкою [4, с. 316], що складається з наступних ланок:

- 1 Об'єкт керування – повітряно-водяний бак, що описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_1 \frac{dH(t)}{dt} + H(t) = k_1 Q(t).$$

- 2 Датчик – манометрична пружина, описується коливальною ланкою

$$T_2 \frac{d^2L(t)}{dt^2} + T_3 \frac{dL(t)}{dt} + L(t) = k_2 H(t).$$

- 3 Регулятор $u(t) = k_3 L(t)$.

- 4 Виконавчий елемент – водяний насос, описується аперіодичною ланкою першого порядку

$$T_4 \frac{dQ(t)}{dt} + Q(t) = k_4 u(t).$$

Таблиця 10.1 – Коефіцієнти диференціальних рівнянь варіант №10

	T_1	T_2	T_3	T_4	k_1	k_2	k_3	k_4
1	600	0,15	0,1	5	0,15	2	5	0,1
2	500	0,25	0,2	3	0,25	3	6	0,11
3	400	0,07	0,05	5	0,25	5	2	0,12
4	450	0,01	0,04	6	0,4	2,5	3	0,9
5	550	0,25	0,3	4	0,3	3,5	8	0,8
6	650	0,1	0,07	2	0,5	4,5	6	0,85
7	300	0,09	0,06	8	0,55	5,5	4	0,95
8	350	0,1	0,09	6	0,35	1,5	7	1,05
9	420	0,3	0,25	9	0,45	2,7	9	0,75
10	530	0,08	0,045	1	0,5	2,5	5	0,65

Список літератури

- 1 ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки.
- 2 Автоматика и автоматизация производственных процессов/И. И. Мартыненко, Б. Л. Головинский, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко.- М.:Агропромиздат, 1985.
- 3 Бородин И. Ф., Кирилин Н. И. Основы автоматике и автоматизации производственных процессов.-М.:Колос, 1977.
- 4 Бородин И. Ф., Недилько Н. М. Автоматизация технологических процессов.-М.:Агропромиздат, 1986.
- 5 Вычислительная математика: Учебное пособие для техникумов/Данилина Н. И., Дубровская Н. С., Кваша О. П., Смирнов Г. Л.-М.: Высш. шк., 1985.
- 6 Кондратець В. О. Теорія і технічні засоби систем: Підручник.- К.:Вища школа, 1993.-319с.:іл.- (Автоматика та автоматизація виробництва с.-г. машин: У 2 ч.; Ч. I).
- 7 Мартыненко И. И., Тищенко Л. П. Курсовое и дипломное проектирование по комплексной электрификации и автоматизации.- М.: Колос, 1978.
- 8 Основы автоматике и автоматизации производственных процессов. Сборник задач. Силин Р. И., Стадник Я. Ф., Третько В. В./под редакцией д-ра техн. наук, проф. Р. И. Силина.-Львов:Вища школа. Издательство при львовском ун-те, 1985.
- 9 Ревин Ю. Г., Костенко Ю. В. Основы автоматизации производственных процессов.-М.:Агропромиздат, 1991.
- 10 Самотокін Б. Б. Лекції з теорії автоматичного керування: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.-Житомир:ЖІТІ, 2001.

Міністерство аграрної політики України

Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка

Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій

Курсова робота

з дисципліни “Теорія автоматичного керування”

на тему:

“Розробка та аналіз системи автоматичного регулювання
.....”

Виконав:

студент групи

підпис

І. І. Іваненко

варіант №

Прийняв:

посада викладача

підпис

П. П. Петренко

рік виконання КР

