

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ

**КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТРАНСПОРТУ**

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ

ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЙНО - КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ

Методичні рекомендації

що до виконання лабораторних робіт

Для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 7.092507
“Автоматика і автоматизація на транспорті”, спеціалізація 7.092507.01
”Комп’ютерні інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті”

Київ 2007

УДК 621.078

Телишева Т.О., Трофімов Ю.М.

Теорія інформаційно-керуючих систем: Методичні рекомендації що до виконання лабораторних робіт. -К.: КУЕТТ, 2006. – 43 с.

Видано видавничо-друкарським комплексом Київського університету економіки і технологій транспорту, м. Київ.

У методичних рекомендаціях викладено основні питання аналізу і синтезу автоматичних систем керування (АСК).

Розглянуто імітаційні моделі АСК і методики синтезу АСК з застосуванням моделей типових промислових регуляторів.

Усі лабораторні роботи виконуються із використанням програмного забезпечення для практичних розрахунків (9 програм).

Для студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю 7.092507 “Автоматика і автоматизація на транспорті”, спеціалізація 7.092507.01 «Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»

Методичні рекомендації розглянуті та затверджені на засіданні кафедри ІСТ.
Протокол засідання кафедри ІСТ № 9 від 3.04.06

Протокол засідання методичної комісії факультету ІРСЗТ № від 2006р.

Автори: Т.О. Телишева, канд. техн. наук, доц. кафедри ІСТ,

Ю.М. Трофімов, ст.викладач кафедри ІСТ.

Рецензенти: Г.Є. Цейтлін, д-р техн. наук, проф. Інституту кібернетики,

О.Ю. Рисцова, доц. кафедри ІСТ.

Вступ

Автоматика - це галузь науки й техніки, яка охоплює теорію й принципи побудови автоматичних систем керування (АСК), що діють без особистої участі людини. У вузькому значенні - сукупність методів і технічних засобів, за допомогою яких людина уникає участі у операціях керування конкретним процесом, підтримує або поліпшує функціонування керованого об'єкта. У ряді випадків допоміжні для АСК операції (пуск, зупинка, контроль, налагодження й тощо) також можуть бути автоматизовані. АСК функціонує переважно у складі виробничого або іншого комплексу для керування й передачі сигналів.

Спочатку перед АСК ставилися завдання підтримки певних законів зміни в часі керованих величин. У цьому класі систем розрізняють: системи автоматичного регулювання (САР), у завдання яких входить збереження значення керованих величин постійними; системи програмного керування, в яких керована величина змінюється за встановленою програмою; системи, що стежать за зміною керованої величини, для яких програма керування заздалегідь невідома.

Надалі, мету керування пов'язували безпосередньо із певними комплексними показниками якості, що характеризують систему (її продуктивність, точність відтворення та ін.). До показника якості можуть пред'являтися вимоги досягнення ним граничних (найбільших або найменших) значень, для чого були розроблені адаптивні системи, або, системи які самоприспосовуються. Останні відрізняються за способом керування: у самонастроювальних системах змінюються параметри пристрою керування, поки не будуть досягнуті оптимальні або близькі до оптимальних значення керованих величин; у системах, що самоорганізуються, з тією ж метою може змінюватися і її структура. Найширші можливості мають системи, які самонавчаються поліпшуючі алгоритми свого функціонування на основі аналізу досвіду керування.

Відшукування оптимального режиму в адаптивних АСК може здійснюватись як за допомогою автоматичного пошуку, так і безпошуковим методом.

Спосіб компенсації збурювань, пов'язаний із типом контуру керування системи. У розімкнених АСК на керуючий пристрій не надходять сигнали, які несуть інформацію про поточний стан керованого об'єкта, або в них вимірюються і компенсуються головні серед збурювань, або керування ведеться за твердою програмою, без аналізу факторів у процесі роботи.

Основний тип АСК - замкнені системи, у яких здійснюється регулювання по відхиленням, а ланцюг проходження сигналів утворює замкнений контур: об'єкт й керуючий пристрій. Відхилення керованої величини від бажаних значень компенсуються впливом через зворотний зв'язок, незалежно від причин, що викликали ці відхилення.

Об'єднання принципів керування за відхиленням й вибурюванням приводить до створення комбінованих систем. Найчастіше, крім основного контуру керування, якій замикається головним зворотнім зв'язком, у АСК є допоміжні контури для стабілізації й корекції динамічних властивостей.

Одночасне керування декількома величинами, які впливають одна на одну, здійснюється в системах багато пов'язаного керування, або регулювання.

За формою подання сигналів розрізняють дискретні й безперервні АСК. У перших сигнали, принаймні в одній точці ланцюга проходження, квантуються за часом, або за рівнем, або як за рівнем, так і за часом.

Промисловість випускає універсальні регулятори, у тому числі з впливом за похідної, за інтегралу та екстремальні регулятори для керування різними об'єктами.

Точна й строга теорія АСК, які описуються звичайними диференційними рівняннями, створена А. М. Ляпуновим в 1892 році. Лінійні АСК можуть бути стійкі, або нестійкі, тому можна говорити про стійкість системи в цілому. Для стаціонарних лінійних АСК, що зазначають звичайними диференційними рівняннями, необхідно й достатньо, щоб усі корені відповідного

характеристичного рівняння мали негативні дійсні частини, тоді АСК асимптотично стійка. Існують різні критерії (умови), що дають змогу робити висновки щодо стійкості.

При дослідженні стійкості АСК, які зазначені диференційними рівняннями невисокого порядку (до 4-го), користуються критеріями Рауса й Гурвица.

Частотні характеристики складних АСК визначають за допомогою простих графічних і алгебраїчних операцій. Тому при дослідженні й проектуванні лінійних стаціонарних АСК звичайно застосовують частотні критерії стійкості Найквіста й Михайлова. Особливо простий і зручний для практичного застосування критерій Найквіста. Сукупність значень параметрів АСК, при яких система стійка, називають областю стійкості. Близькість АСК до межі області стійкості оцінюється запасом стійкості за фазою й за амплітудою, які визначають за амплітудо-фазовими характеристиками розімкненої АСК. Сучасна теорія лінійних АСК має методи дослідження стійкості систем із зосередженими й розподіленими параметрами, безперервних і дискретних, імпульсних, цифрових; стаціонарних і нестаціонарних систем.

Методичні рекомендації дають можливість опанувати засади теорії автоматичного керування і одержати навички їх використання при практичних розрахунках АСК, які є нижнім рівнем в ієрархії інформаційно-керуючих систем.

Студент може самостійно спроектувати АСК на рівні створення моделі та синтезу структури АСК, послідовно виконуючи лабораторні завдання, вивчаючи лекційний матеріал та використовуючи контрольні питання для самостійного навчання.

Крім системи імітаційного моделювання та низки програм для обрахунку результатів лабораторних робіт студентам пропонують самостійно створити декілька ряд моделей в Matlab, Simulink та інших, провести розрахунки за оригінальними розробленими програмами.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

(4 години)

Дослідження статичних і динамічних характеристик типових ланок АСК та їх з'єднань

Мета роботи: Вивчити типові ланки АСК та дослідити зміни їх характеристик у разі зміни їх параметрів.

Програма роботи

1. Опанувати теоретичні засади для виконання роботи.
2. Ознайомитися з програмним забезпеченням - системою автоматизованого моделювання і параметричної оптимізації (СИАМ).
3. Створити імітаційні моделі ланок та їх з'єднань із використанням СИАМ та дослідити вплив параметрів ланок на їхні характеристики. Завдання що до значень параметрів та порядку з'єднань ланок одержати від викладача.
4. Скласти звіт і зробити висновки.

Основні теоретичні відомості

Система автоматизованого моделювання і параметричної оптимізації СИАМ працює з моделями, які можна представити у формі блок - схем.

Дана версія СИАМ містить 52 типових блока, 4 методи чисельного інтегрування і 3 методи параметричної оптимізації, що дає змогу проводити дослідження широкого класу систем керування.

Під час запуску система переходить у режим вводу моделі.

З теоретичними засадами – описом типових блоків АСК, методів чисельного інтегрування і параметричної оптимізації – ознайомитися в додатках програми СИАМ.

Порядок виконання роботи

1. Після ознайомлення із програмним забезпеченням одержати завдання від викладача та створити моделі для дослідження.

2. Виконати такі завдання:

1) одержати динамічні характеристики типових ланок АСК та їх з'єднань при різних значеннях параметрів;

2) роздрукувати результати, визначити параметри графічним методом та розрахунковим способом;

3) зробити висновки.

Звіт повинен містити:

- завдання викладача для виконання досліджень;
- роздруковані блок-схеми моделей та їх характеристики;
- графічні визначення параметрів та їх розрахунки ;
- роздруковані логарифмічні характеристики моделей та їх дослідження;
- висновки про властивості типових ланок та їх з'єднань.

Контрольні запитання для самостійної підготовки

1. Що називають типовою ланкою ?
2. Які типові ланки прийнято в ТАК ?
3. Що називають перехідною характеристикою типової ланки ?
4. Що називають перехідною функцією типової ланки ?

5. Чим відрізняються перехідні функції від перехідних характеристик ?
6. Як визначають перехідні функції ?
7. Як визначають перехідні характеристики в СИАМ ?
8. Які типові збудуючі сигнали використовують для одержання характеристик типових ланок ?
9. В яких координатах будують логарифмічні амплітудо – фазові частотні характеристики (ЛАФХ) ?
10. Що називають імпульсною перехідною функцією ?
11. Напишіть рівняння взаємозв'язку логарифмічної амплітудо – частотної характеристики (ЛАЧХ) і логарифмічної фазо – частотної характеристики (ЛФЧХ).
12. Як впливають параметри типових ланок на їхні характеристики ?

Список рекомендованої літератури

1. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1970.
2. *Егоров К.В.* Теория автоматического регулирования. – М.: Энергия, 1968.
3. *Куропаткин П.В.* Теория автоматического управления. – Л.: СЗПИ, 1973.
4. *Конспект лекцій з “Теорії інформаційно-керуючих систем”.* Електронна версія.
5. *Сапожников В.В., Кравцов Ю.А.* Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1995.
6. *Жимерин Д.Г., Мясников В.А.* Автоматизированные и автоматические системы управления – М.: Энергия, 1975.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

(2 години)

Дослідження частотних властивостей типових об'єктів керування та автоматичних систем керування

Мета роботи: вивчити правила побудови частотних характеристик типових об'єктів керування й АСК і дослідити їхні властивості.

Програма роботи

1. Ознайомитися з основними теоретичними положеннями, потрібними для виконання роботи.
2. Розрахувати за викладеною методикою і побудувати частотні характеристики згідно з завданням :
 - реальної ланки для диференціювання;
 - коливної ланки;
 - аперіодичної ланки 1-го порядку;
 - аперіодичної ланки 2-го порядку.
3. Створити імітаційні моделі в системі СИАМ заданих ланок й АСК та дослідити ЛАЧХ і ЛФЧХ.
4. Скласти звіт

Основні теоретичні положення

Найбільш повне уявлення про динамічні властивості керованого об'єкта дає його перехідна функція. *Перехідною функцією* називають зміну вихідної величини керованого об'єкта в часі $Y(t)$ після подачі на вхід керованого об'єкта для одиничного збурення ступінчастого впливу $X(t) = 1(t)$ при нульових початкових умовах $Y(-0) = 0$, $Y'(-0) = 0$; $Y''(-0) = 0$; $Y^{n-1}(-0) = 0$.

Перехідну функцію можна представити графічно або аналітично.

Аналітично вираз перехідної функції $Y(t)$ можна одержати, якщо розв'язати диференціальне рівняння, яке описує керований об'єкт

$$a_0 d^n Y/dt^n + a_1 d^{n-1} Y/dt^{n-1} + \dots + a_{n-1} dY/dt + a_n Y = b_0 d^m X/dt^m + b_1 d^{m-1} X/dt^{m-1} + \dots + b_{m-1} dX/dt + b_m X$$

при $X(t) = 1(t); Y(-0) = 0, Y'(-0) = 0;$
 $Y''(-0) = 0; Y^{n-1}(-0) = 0.$ (1)

Ці умови визначають, що величина $Y(t)$ і похідна до $(n-1)$ порядку безпосередньо перед подачею для одиничного збурення ступінчастого впливу рівні 0.

Перехідна функція $Y(t)$ має дві складові: вимушену $Y_{\epsilon}(t)$ і вільну $Y_{\text{вн}}(t)$

$$Y(t) = Y_{\epsilon}(t) + Y_{\text{вн}}(t) \quad (2)$$

Вимушена складова є частковим розв'язком рівняння при ступінчастому впливі. Вона дорівнює усталеному значенню вихідної величини при $t \rightarrow \infty$:

$$Y_{\epsilon}(t) = Y(t) = Y(\infty). \quad (3)$$

Вільна складова знаходиться під час розв'язку однорідного диференційного рівняння:

$$Y_{\text{вн}}(t) = \sum_{k=1}^n C_k e^{\alpha_k t}, \quad (4)$$

де α_k - корені характеристичного рівняння;

C_k - постійні інтегрування, які залежать від початкових умов.

Частотні характеристики керованих об'єктів дають можливість вивчити реакції системи на гармонійні впливи. Значення амплітуди вихідного сигналу

$Y(t)$ залежить від амплітуди вхідного сигналу $X(t)$ і від параметрів самої системи. Щоб уникнути впливу $X(t)$ розглядають відношення $Y(t) / X(t) = A$.

Відносне значення амплітуди A і зсуву фаз залежить від частоти ω

$$A = A(\omega); \quad \varphi = \varphi(\omega). \quad (5)$$

Залежність $A = A(\omega)$ - це амплітудо-частотна характеристика (АЧХ), а залежність $\varphi = \varphi(\omega)$ - фазово-частотна характеристика (ФЧХ).

На підставі АЧХ і ФЧХ можна отримати характеристику системи, яку називають *амплітудо-фазовою частотною характеристикою (АФЧХ)*. Цю характеристику будують у комплексній площині. Вектор АФЧХ відкладають таким чином, що кут із горизонтальною віссю є $\varphi(\omega)$, а сам вектор - $A(\omega)$. Кінець вектора $A(\omega)$ при зміні ω від 0 до ∞ описує траєкторію, яку називають *годографом* амплітудо-фазової частотної характеристики (АФЧХ). Проекцію вектора АФЧХ на дійсну вісь називають *дійсною частиною АФЧХ*. Проекцію вектора АФЧХ на уявну вісь називають *уявною частиною АФЧХ*.

При побудові АФЧХ $\varphi(\omega)$ відкладають проти годинникової стрілки, якщо його значення додатне, і за годинниковою стрілкою, якщо його значення від'ємне. Взаємозв'язок АЧХ і ФЧХ можна записати так :

$$W(j\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} \quad (6)$$

Якщо знайти зображення по Лапласу формули (6), то отримаємо *передавальну функцію* $W(p)$ і навпаки, підстановкою замість $p \rightarrow j\omega$ в передавальну функцію $W(p)$ - $W(p)_{p \rightarrow j\omega} = W(j\omega) = Y(j\omega) / X(j\omega)$ (7) одержимо АФЧХ, або *комплексну частотну характеристику*.

Порядок виконання роботи

1. Одержати завдання від викладача.

2. Виконати моделювання в СИАМ, одержати перехідні характеристики, ЛАЧХ, ЛФЧХ.
3. Визначити параметри об'єктів графічним способом
4. Побудувати АЧХ, ФЧХ, АФЧХ.

Приклад 1.

Побудувати перехідну характеристику реальної диференціюючої ланки, яка задана рівнянням.

$$\frac{4 d Y(t)}{dt} + Y(t) = \frac{10 dX(t)}{dt}$$

$$X(t) = 2 \quad .$$

Розв'язок:

загальний вигляд рівняння реальної диференціюючої ланки такий:

$$\frac{T \cdot d Y(t)}{dt} + Y(t) = \frac{K T \cdot X(t)}{dt} \quad ,$$

де T - постійна часу;

K - передавальний коефіцієнт.

Якщо порівняти це рівняння з попереднім, то можна записати:

$$T = 4, \quad K T = 10 \quad .$$

Звідси:

$$K = 10 / T = 2.5$$

Тепер значення K , $X(t)$, T потрібно підставити в рівняння перехідної характеристики:

$$Y(t) = K X(t) e^{-t/T} \quad ,$$

Тобто

$$Y = 2.5 \cdot 2 \cdot e^{-t/4} = 5 \cdot e^{-t/4}$$

Підставимо різні значення t , підрахуємо значення $Y(t)$, які зводимо в таблицю 2.1

Таблиця 2.1. Розрахункові дані для побудови перехідної характеристики

t	0	1.2	2.4	3.2	4.4	5.2	6.0	7.2	10.8	12.0	14.0	16.0
Y	5	3.7	2.7	1.7	1.7	1.36	1.1	0.83	0.6	0.25	0.15	0.09

Побудуємо перехідну характеристику (рис.2.1) реальної ланки для диференціювання.

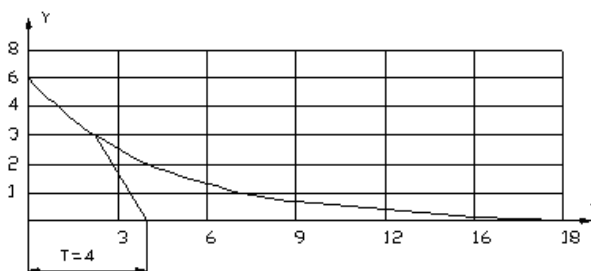


Рис.2.1

Рис. 2. 1. Перехідна характеристика реальної ланки для диференціювання

Висновок: побудована перехідна характеристика дає можливість, визначити постійну часу $T = 4$ і передавальний коефіцієнт ланки $K = 2.5$

Приклад 2.

Маємо диференціальне рівняння аперіодичної ланки:

$$\frac{5 \cdot d y(t)}{dt} + y(t) = 10 x(t)$$

Потрібно побудувати АФЧХ.

Розв'язок.

Змінимо в рівнянні d/dt на p

$$5 p y + y = 10 x$$

або

$$(5p + 1)Y = 10X$$

Передавальна функція:

$$W(p) = Y(p) / X(p)$$

Амплітудо-фазова частотна характеристика:

$$W(j\omega) = 10 / (5j\omega + 1)$$

Потрібно звільнитися від уявної частини у знаменнику

$$W(1 - 5j\omega) / (1 + 5j\omega)(1 - 5j\omega) = (10 - 50j\omega) / (1 + 25\omega^2) =$$

$$= 10 / (1 + 25\omega^2) - j50\omega / (1 + 25\omega^2) = A - jB,$$

де $A = 10 / (1 + 25\omega^2)$; $B = 50\omega / (1 + 25\omega^2)$.

Складемо таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Значення параметрів A , B .

ω	0	0.1	0.2	0.6	1.0	2.0	5.0	10.0
A	10.0	8.0	5.0	1.0	0.384	0.099	0.019	0.004
B	0	-4	-5.0	-3.0	-1.92	-0.99	-0.4	-0.2

Використовуючи значення A і B , будемо АФЧХ (рис. 2. 2.)

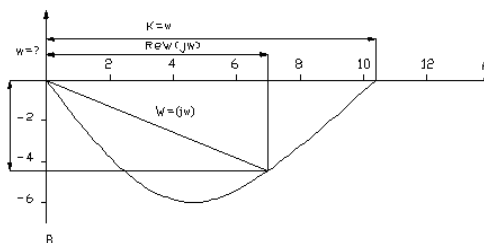


Рис. 2.2. АФЧХ інерційної ланки.

Висновок: побудована АФЧХ має вигляд типової інерційної ланки 1-го порядку.

Приклад 3.

Побудувати АФЧХ ланки 2-го порядку, яку описують рівнянням:

$$\frac{2 \cdot dy(t)}{dt} + \frac{3 \cdot d^2y(t)}{dt^2} + Y(t) = 5 \cdot x(t).$$

Розв'язок.

Передавальна функція ланки:

$$W(p) = 5 / (3p^2 + 2p + 1)$$

Після підстановки ($j\omega$) замість p передавальна функція матиме вигляд:

$$W(j\omega) = 5 / (3(j\omega)^2 + 2(j\omega) + 1) = 5 / ((-3\omega^2) + 2j\omega + 1)$$

Необхідно звільнитися від уявності в знаменнику. З цією метою необхідно помножити чисельник і знаменник на $(1 - 3\omega^2) - 2j\omega$. Отримаємо:

$$\frac{5 \cdot (1 - 3\omega^2) - 2j\omega}{(1 - 3\omega^2) + 4\omega^2} = \frac{5 \cdot (1 - 3\omega^2)}{(1 - 3\omega^2)^2 + 4\omega^2} - \frac{j \cdot 10\omega}{(1 - 3\omega^2)^2 + 4\omega^2} = a + jb,$$

$$\text{де } a = \frac{5 \cdot (1 - 3\omega^2)}{(1 - 3\omega^2)^2 + 4\omega^2}; \quad b = \frac{10\omega}{(1 - 3\omega^2)^2 + 4\omega^2}.$$

Підставляючи в a і b значення ω від 0 до ∞ , знайдемо значення цих параметрів і побудуємо АФЧХ.

Результати розрахунків зведені в таблицю 2. 3

Таблиця 2. 3. Результати розрахунків

ω	0	0.1	1	2	3	4	5
a	5	4.95	1.18	-1.25	-0.4	-0.183	-0.0564
b	0	-1.02	-1.25	-0.164	-0.0422	-0.0075	0

Будуємо АФЧХ (рис. 2. 3)

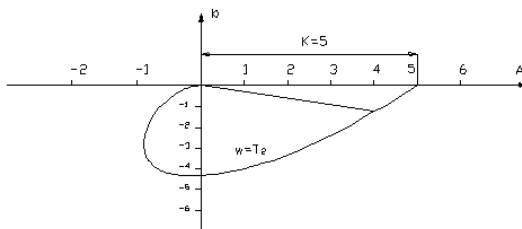


Рис.2.3

Рис. 2.3. АФЧХ ланки 2-го порядку.

Висновок: побудована АФЧХ має вигляд типової АФЧХ ланки 2-го порядку.

Звіт повинен містити:

- завдання викладача для виконання досліджень;
- розрахунки і графіки АФЧХ, ФЧХ, АЧХ, роздруковані імітаційні моделі та їх ЛАЧХ і ЛФЧХ;
- роздруковані графічні визначення параметрів;
- висновки про частотні властивості керованих об'єктів та АСК.

Контрольні запитання для самостійної підготовки

1. Яка різниця між передавальною функцією і частотною функцією АСК ?
2. Скільки складових має передавальна функція АСК ? Як її визначають ?
3. Що характеризують частотні функції АСК ?
4. Як будують АЧХ і АФХ АСК ?
5. В яких координатах будують амплітудо-частотну характеристику?
6. В яких координатах будують АФЧХ ?
7. Що називають перехідною функцією АСК ?
8. Напишіть рівняння взаємозв'язку АЧХ і ФЧХ.

9. Яка мета введення поняття логарифмічних частотних характеристик АСК ?
10. Які одиниці вимірювання застосовують для логарифмічних амплітудних і фазових характеристик ?
11. Які переваги має логарифмічний спосіб побудови характеристик ?

Список рекомендованої літератури

1. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1970.
2. *Егоров К.В.* Теория автоматического регулирования. – М.: Энергия, 1968.
3. *Куропаткин П.В.* Теория автоматического управления. – Л.: СЗПИ, 1973.
4. *Конспект лекцій з “Теорії інформаційно-керуючих систем”.* Електронна версія.
5. *Сапожников В.В., Кравцов Ю.А.* Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1995.
6. *Жиμεριν Д.Г., Мясников В.А.* Автоматизированные и автоматические системы управления – М.: Энергия, 1975.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

(4 години)

Типові промислові регулятори в АСК

Мета роботи: опанувати типові закони регулювання і методики розрахунків параметрів налагоджування регуляторів.

Програма виконання роботи

1. Перед виконанням роботи необхідно ознайомитись з літературою та методичними вказівками до даної лабораторної роботи, порядком її виконання, а також методиками та програмами досліджень АСК на ПК .

2. Провести розрахунки та моделювання АСК на ПК.

3. Обробити результати досліджень і побудувати необхідні характеристики, оцінити якість процесу регулювання та стійкість системи та зробити висновки.

Основні теоретичні положення

Основними теоретичними підставами для синтезу та аналізу АСК є:

- принцип дії системи автоматичного регулювання;
- поняття динамічних характеристик, особливо частотних характеристик;
- правила структурних перетворень алгоритмічних структурних схем АСК;
- критерії стійкості АСК;
- математичні моделі регуляторів;
- показники оцінки якості процесу регулювання.

Ці питання в достатній мірі викладені у лекційному курсі і глибоко висвітлені у літературі .

Узагальнена структура АСК

Узагальнена структура АСК має такі елементи (рис. 3.1.) : об'єкт керування, датчик інформації D , реальний регулятор, лінія зв'язку $ЛЗ$, виконавчий механізм $ВМ$, регулюючий орган $РО$. Об'єкт керування характеризується вхідним змінним параметром U (вхід або керуючий вплив, зазвичай величина, що регламентує матеріальний або тепловий потік) і вихідним змінним параметром X (вихід або регульований параметр, - рівень, тиск, температура і т.ін.), E – різниця між сигналом завдання для регулятора $X_{зд}$ і значенням вихідного параметра X .

Синтез АСК слід розпочати із розробки функціональної структури системи регулювання. Основою для нього є наведені нижче узагальнені структури АСК, реалізовані на пневматичних (рис. 3.1) або електричних (рис.3.2) засобах автоматизації.

АСК працює у такий спосіб:

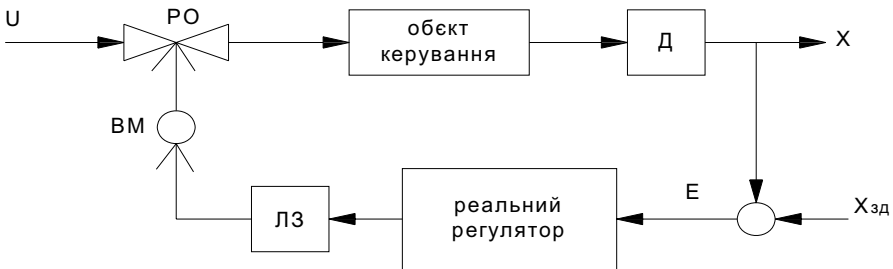


Рис.3.1а

Рис. 3.1. Узагальнена структура АСК на пневматичних засобах автоматизації

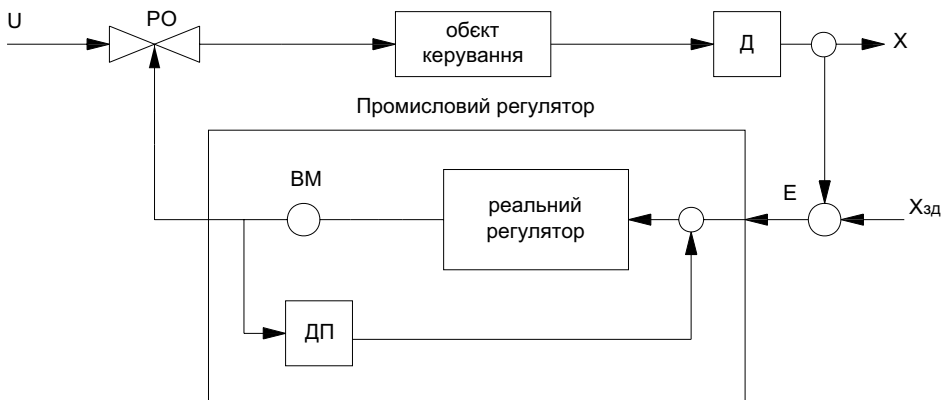


Рис.3.2

Рис. 3. 2 Узагальнена структура АСК на електричних засобах автоматки.

Датчик вимірює величину регульованого параметру X і перетворює її на пропорційний електричний або пневматичний сигнал, придатний для сприймання промисловим регулятором. На вхід регулятора подається розбаланс E , який є різницею між завданням $X_{зд}$ і параметром X . Відповідно до цього розбалансу регулятор формує керуючий вплив на виконавчий механізм $ВМ$, який забезпечує переміщення PO таким чином, щоб через зміну керуючого впливу U ліквідувати розбаланс E між завданням $X_{зд}$ і значенням параметра X .

З урахуванням конкретних передавальних функцій окремих елементів системи розробляють алгоритмічну структурну схему АСК.

Далі, використовуючи правила структурних перетворень, знаходять передавальні функції розімкненої $W_{p.c}(p)$ і замкненої систем автоматичного регулювання $W_{зс}(p)$, згорнувши загальну структуру до такої форми, як подано на рис 3.3

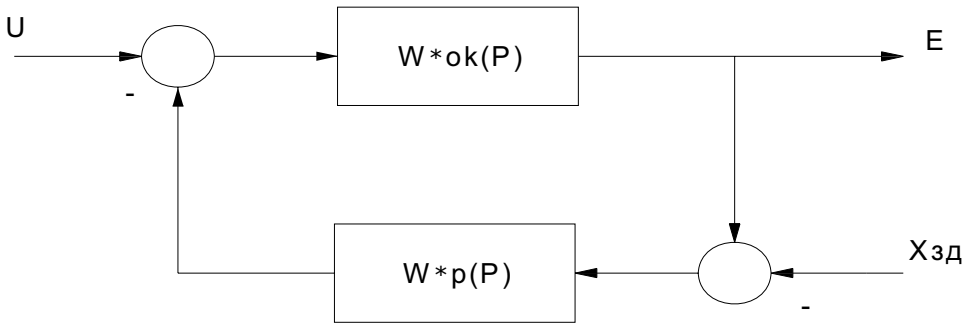


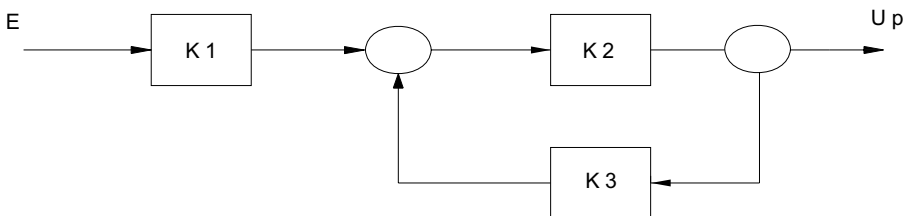
Рис.3.3

Рис. 3. 3 . Згорнута алгоритмічна структурна схема АСК

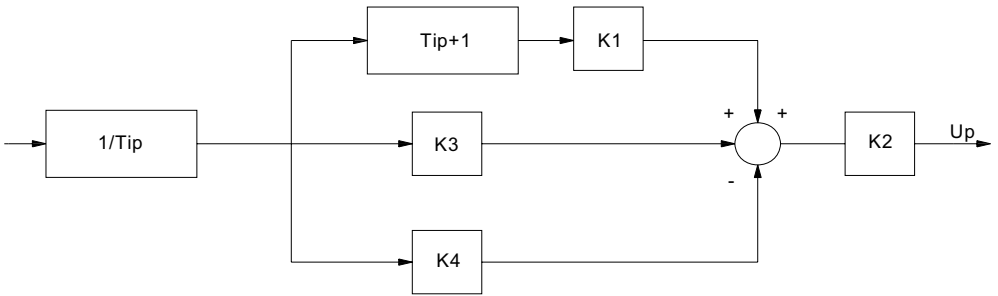
Передавальна функція $W^*_{ок}(p)$ враховує динаміку каналу вимірювання і каналу зміни регулюючої дії $W^*_р(p)$

Існують пневматична (рис. 3. 4, а-б) і електрична (рис. 3. 5, а-б) гілки ДСП.

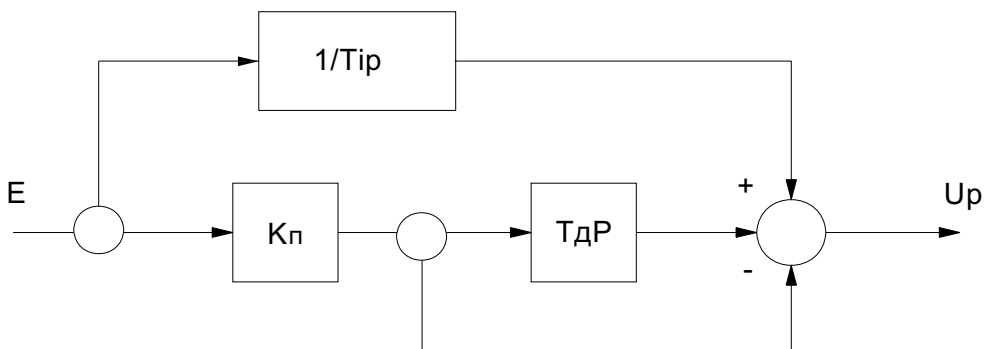
Нижче наведені типові структурні схеми промислових регуляторів пневматичної гілки ДСП .



а)



б)



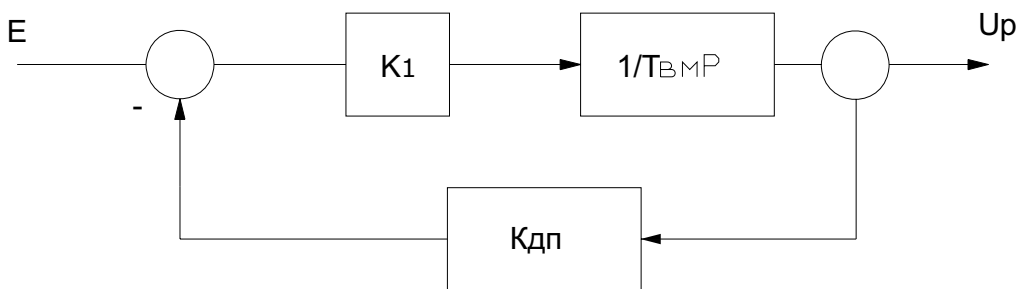
в)

Рис. 3.4. Типові алгоритмічні структурні схеми промислових регуляторів пневматичної гілки ДСП :

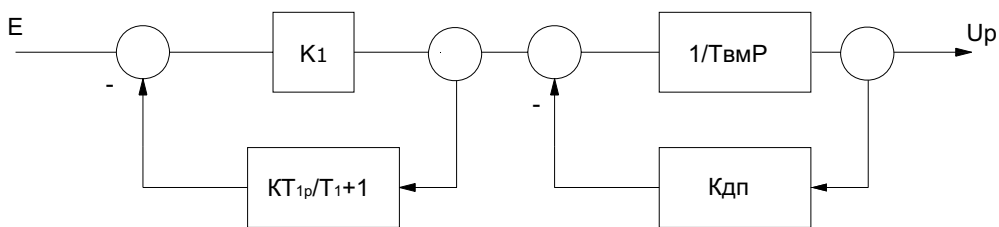
а – пропорційний регулятор; б – пропорційно-інтегральний регулятор;

в- пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор.

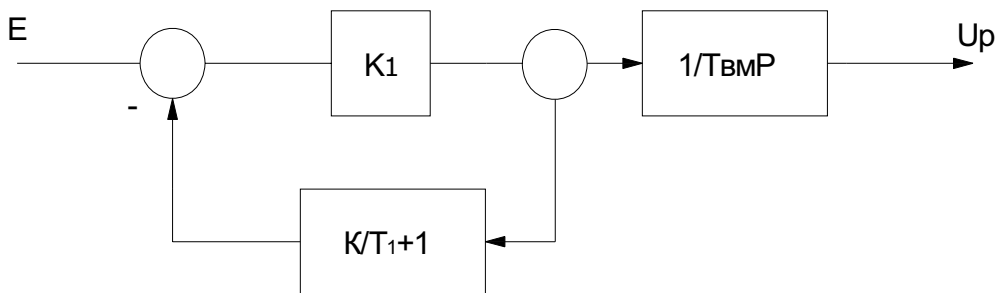
Типові алгоритмічні структурні схеми промислових регуляторів електричної гілки ДСП наведені на рис. 3. 4, а-в



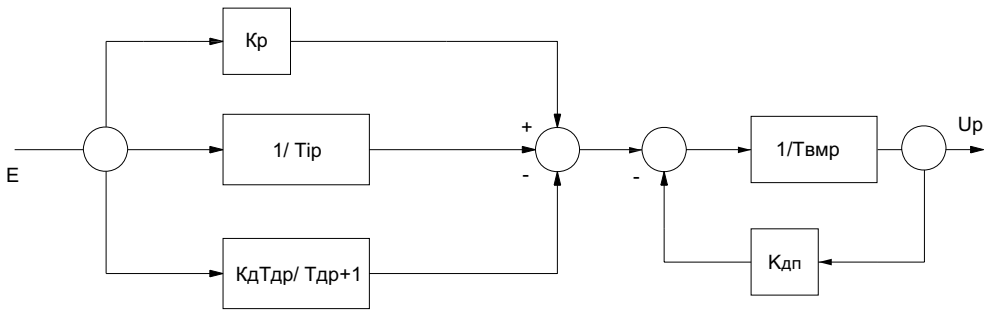
a)

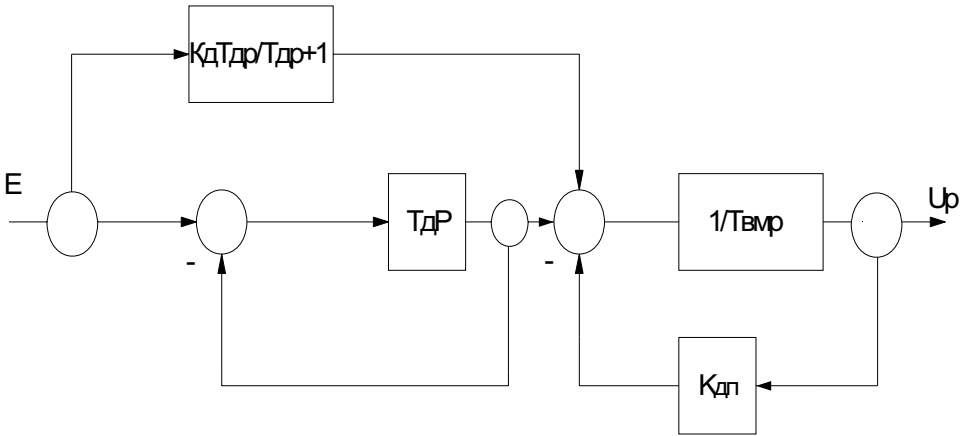


б)



б)





в)

Рис. 3. 5. Типові алгоритмічні структурні схеми промислових регуляторів електричної гілки ДСП:

а – пропорційний регулятор; б – пропорційно-інтегральний регулятор; в- пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор.

Аналіз і оцінку якості роботи АСК виконують з використанням передавальних функцій $W_{p.c}(p)$ і $W_{з.с}(p)$.

Порядок виконання роботи

1. Отримати завдання у викладача: передавальну функцію $W_o(p)$ для керованого об'єкту . Вибрати типовий регулятор для керування об'єктом.
2. Розрахувати та побудувати характеристики замкненої АСК , а саме: амплітудо-фазову частотну характеристику (АФЧХ), амплітудо-частотну (АЧХ) і фазово-частотну (ФЧХ) характеристики.
3. Змінювати тип регуляторів, параметри налагоджування регуляторів і за результатами виконати п.2.
4. Визначити найкращі показники якості регулювання.
5. Визначити стійкість АСК.

Звіт повинен містити

- завдання викладача для виконання досліджень;
- розрахунки і графіки АФЧХ, ФЧХ, АЧХ і роздруковані перехідні характеристики імітаційних моделей замкнених АСК;
- висновки про залежність якості керування від вибору типу регулятора та його параметрів налагодження.

Контрольні запитання для самостійної підготовки

1. Що називають алгоритмічною структурною схемою АСК ?
2. Як визначити передавальні функції розімкненої та замкненою АСК ?
3. Які закони керування реалізують типові промислові регулятори?
4. Що собою являють параметри налагодження регуляторів?

5. Які характеристики керованого об'єкту необхідно знати для вибору типу регулятора для АСК?
6. Як визначити параметри налагодження регуляторів експертним методом?
7. Які прямі показники якості керування використовують для експертних налагоджень регуляторів?
8. Як визначити стійкість АСК ?

Список рекомендованої літератури

1. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1970.
2. *Егоров К.В.* Теория автоматического регулирования. – М.: Энергия, 1968.
3. *Куропаткин П.В.* Теория автоматического управления. – Л.: СЗПИ, 1973.
4. *Широкий Д.К., Куриленко О.Д.* Оптимальные настройки промышленных систем регулирования . – Киев : Высш. шк., 1975.
5. *Стефани Е.П.* Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – Изд. 2-ое, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

(4 години)

Аналіз і синтез автоматичної системи керування

Мета роботи: одержати навички синтезу і аналізу АСК.

Програма роботи

1. Отримати параметри настройки регулятора від викладача або розрахувати самостійно за спрощеними інженерними методиками, запропонованими викладачем (з використанням програм APRS, OPT).

2. Оцінити стійкість АСК за алгебраїчним або частотним критерієм стійкості.

3. Дослідити перехідну функцію замкненої АСК і оцінити якість процесу регулювання.

4. Всі розрахунки й дослідження, а також моделювання процесу регулювання виконати на ПК з використанням СИАМ та прикладних програм:

FREST.BAS - дослідження частотних характеристик АСК;

GURVIC.BAS - дослідження стійкості за критерієм Гурвіца;

MICHALOV.BAS - дослідження стійкості за критерієм Михайлова;

RDU.BAS - дослідження процесу регулювання.

Основні теоретичні положення

Спрощена структурна схема замкненої АСК, параметри настройки якої підлягають розрахунку, показана на рис. 4.1.

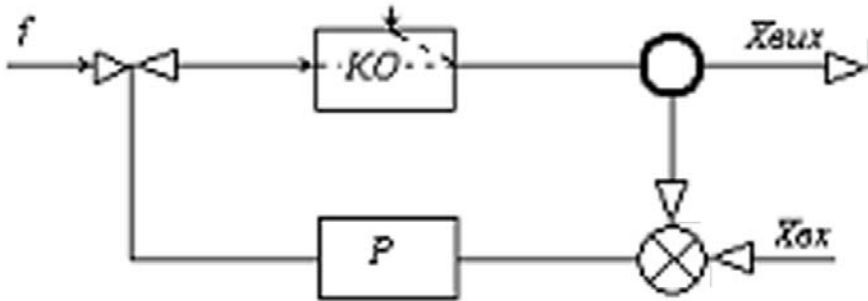


Рис. 4.1. Структурна схема АСК

Передавальна функція вище наведеної замкненої лінійної АСК за заданим каналом $X_{вх}$ має такий вигляд :

$$W_{X_{вх}}(p) = \frac{K_{Pc}(p) * K_{KO}(p)}{1 + K_{Pc}(p)K_{KO}(p)} = \frac{X_{ВИХ}(p)}{X_{ВХ}(p)}, \quad (1)$$

за збурюючим каналом f є такою:

$$W_f(p) = \frac{K_{KO}(p)}{1 + K_{Pc}(p)K_{KO}(p)} = \frac{X_{ВИХ}(p)}{f(p)}. \quad (2)$$

Принцип роботи АСК наведений в лабораторній роботі № 3 (рис. 3.1.)

Порядок виконання роботи

1. Розробити структурну схему АСК з врахуванням динаміки елементів системи і структури реального регулятора (необхідні дані задаються викладачем).
2. Знайти передавальну функцію замкненої і розімкненої АСК.
3. Дослідити частотні характеристики системи регулювання (АФХ, АЧХ, ФЧХ).
4. Визначити стійкість АСК за алгебраїчним і частотним критеріями стійкості.
5. Дослідити перехідну характеристику АСК.
6. Оцінити якість процесу регулювання.

Звіт повинен містити

1. Результати досліджень заносять у таблиці довільної форми або роздруковують.
2. Результати досліджень стійкості АСК:
за алгебраїчним критерієм подають у вигляді характеристичного рівняння і результатів розрахунків ;
за частотним критерієм – годографа Михайлова і висновків що до стійкості системи.
3. Результати досліджень процесу регулювання подають у вигляді таблиці і графіка перехідної функції.
4. По графіку перехідної функції розраховують показники якості процесу регулювання : час регулювання t_p , максимальне відносне відхилення δ_m , коливальність μ , степінь затухання φ .
5. Висновки про якість регулювання.

Контрольні запитання для самостійної підготовки

1. Пояснити принцип роботи одноконтурної АСК.
2. Назвати основні елементи АСК.
3. Які ви знаєте частотні характеристики систем?
4. Які типи з'єднань елементів ви знаєте? Приведіть основні розрахункові залежності.
5. Розкрийте суть алгебраїчного критерію стійкості Гурвіца.
6. Як оцінити стійкість АСК за критерієм Михайлова?
7. Що таке ” крива регулювання”, як її одержати?
8. Які основні показники якості роботи АСК ви знаєте?

Список рекомендованої літератури

1. *Шишкин О.П., Порфенов А.Н.* Основы автоматике и автоматизации производственных процессов. - М.: Недра, 1973.
2. *Широкий Д.К., Куриленко О.Д.* Оптимальные настройки промышленных систем регулирования . – Киев : Высш. шк., 1975.
3. *Стефани Е.П.* Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – Изд. 2-ое, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978.
4. *Воронов А.А.* Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1970.
5. *Егоров К.В.* Теория автоматического регулирования. – М.: Энергия, 1968.
6. *Куропаткин П.В.* Теория автоматического управления. – Л.: СЗПИ, 1973.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Аналіз і синтез автоматичної системи керування (продовження)

(4 години)

Мета роботи: опанувати навички синтезу і аналізу АСК.

Програма виконання роботи

1. Самостійно розрахувати параметри налагодження регулятора за спрощеними інженерними методиками з використанням програм APRS та OPT.

2. Оцінити стійкість системи регулювання за алгебраїчним або частотним критерієм стійкості.

3. Дослідити перехідну характеристику замкненої АСК і оцінити якість процесу регулювання.

4. Всі розрахунки і дослідження, а також моделювання процесу регулювання виконати на ПК із використанням СИАМ та прикладних програм:

APRS - апроксимація перехідної характеристики керованого об'єкта;

OPT - розрахунок оптимальних параметрів настройки регуляторів;

FREST.BAS - дослідження частотних характеристик АСК;

GURVIC.BAS - дослідження стійкості за критерієм Гурвіца;

MICHALOV.BAS - дослідження стійкості за критерієм Михайлова.

Основні теоретичні положення

Сьогодні існує ряд методик розрахунків параметрів настройки регуляторів.

В цих методичних вказівках рекомендується методика розрахунку по

розширених АФЧХ керованого об'єкту і регулятора.

Основною вимогою, яку повинен задовольняти оптимальний процес регулювання, який розрахований методом розширеної АФЧХ, є інтенсивність затухання перехідного процесу.

Цей показник можна конкретизувати введенням поняття степені стійкості системи η , степені коливання m і степені затухання процесу регулювання ψ . Величина, яка чисельно рівна абсолютному значенню дійсної частини кореня характеристичного рівняння з найменшою дійсною частиною, називається **степенем стійкості перехідного процесу η** .

Степінь коливання процесу m характеризує затухання його коливань і чисельно рівна абсолютному значенню відношення дійсної частини до уявної частини кореня характеристичного рівняння з найменшим абсолютним значенням цього відношення.

Степенем затухання ψ , називається відношення різниці двох сусідніх додатних амплітуд найбільш слабо затухаючої складової перехідного процесу до першої з сусідніх амплітуд. Величини m і ψ взаємно зв'язані між собою наступною залежністю $\psi = 1 - e^{-2\pi m}$ або

m	0.000	0.150	0.300	0.540	0.600	0.750	0.900	
ψ	0.000	0.26	0.057	0.095	0.145	0.221	0.366	

Таким чином, розрахунок АСК зводиться до того, щоб визначити такі параметри настройки регулятора, при яких в системі буде мати місце оптимальний перехідний процес, тобто з заданим показником ψ або m . Щоб одержати оптимальну степінь затухання процесу регулювання, необхідно мати розширенні АФЧХ керованого об'єкта $K_{об}(m, j\omega)$ і вибраного регулятора $K_p(m, j\omega)$. Для визначення настройок регулятора, що забезпечують розташування коренів характеристичного рівняння замкненої системи в середині стійкого заданого контуру в лівій півплощині, використовується наступний

критерій: якщо в комплексній площині всі корені характеристичного рівняння розімкненої системи належать лівій півплощині всередині деякого замкненого контуру, то корені характеристичного рівняння замкненої системи лежать також всередині цього контуру, якщо розширена АФЧХ розімкненої системи не охоплює точку з координатами $(-1, j 0)$. Ось тому, приймаючи до уваги граничний випадок, можна записати, що

$$K_c(m, j\omega) = K_p(m, j\omega)K_{об}(m, j\omega) = I,$$

де $K_c(m, j\omega)$ - розширена АФЧХ розімкненої системи;

$K_p(m, j\omega)$ - розширена АФЧХ регулятора.

Звідси випливає, що вихідною умовою розрахунку параметрів замкненої системи з забезпечення оптимального перехідного процесу є відношення

$$K_{об}(m, j\omega)K_p(m, j\omega) = 1 \quad (1)$$

або

$$K_p(m, j\omega) = K_{об}^*(m, j\omega) \quad (2)$$

де $K_{об}^*(m, j\omega) = \frac{1}{K_{об}(m, j\omega)}$ зворотна (інвертована) розширена

АФЧХ об'єкта. Рівняння (1,2) можна навести в алгебраїчній формі таким чином

$$R_p(m, \omega) = R_{об}^*(m, \omega) \quad (3)$$

$$I_p(m, \omega) = I_{об}^*(m, \omega) \quad (4)$$

де $R_{об}^*(m, \omega)$ і $I_{об}^*(m, \omega)$ відповідно зворотні (інвертовані) розширенні дійсна і уявна характеристики об'єкта (тобто дійсна і уявна частини зворотної розширеної амплітудо - фазової характеристики об'єкта), а $K_p(m, \omega)$ і $I_p(m, \omega)$ – розширені дійсна і уявна частини характеристики регулятора.

Рівняння (2) може бути також записане в показовій формі

$$A_P(m, \omega) e^{j\varphi_P(m, \omega)} = A_{об}^*(m, \omega) e^{-\varphi_{об}(m, \omega)} \quad (5)$$

де $A_P(m, \omega)$ - розширена АЧХ регулятора, $\varphi_P(m, \omega)$ - розширена ФЧХ регулятора, $A_{об}^*(m, \omega) = \frac{1}{A_{об}(m, \omega)}$ розширена зворотна (інверсна) АЧХ об'єкта, $\varphi_{об}(m, \omega)$ - розширена ФЧХ об'єкта.

Звідси випливає:

$$A_P(m, \omega) = A_{об}^*(m, \omega) \quad (6)$$

$$\varphi_P(m, \omega) = \varphi_{об}(m, \omega). \quad (7)$$

Підставляючи в рівняння (3,4) і (6,7) відповідно розширенні дійсну і уявну амплітудо - і фазо - частотні характеристики конкретних регуляторів, можна виразити їх настроєні параметри через характеристики КО.

Для інтегрального регулятора (I – регулятора) :

$$C_0 = \frac{\omega(m^2 + 1)}{m} R_{об}^*(m, \omega); \quad C_0 = \omega(m^2 + 1) I_{об}^*(m, \omega); \quad (8)$$

або

$$C_0 = \omega \sqrt{(m^2 + 1) A_{об}^*(m, \omega)}; \quad \frac{\pi}{2} - \arctg(m) = -\varphi_{об}(m, \omega) \quad (9)$$

З цих рівнянь визначають значення настроєного параметру C_0 і робочу частоту ω_p , на якій буде „працювати” АСК.

Для пропорційного регулятора (П – регулятора) :

$$C_1 = R^*_{об}(m, \omega); \quad \pi = -\varphi_{об}(m, \omega) \quad (10)$$

або

$$C_1 = A^*_{об}(m, \omega); \quad \pi = -\varphi_{об}(m, \omega). \quad (11)$$

Так як в попередньому випадку, з цих рівнянь визначається настроений параметр C_1 і "робоча" частота.

Для пропорційно-інтегрального регулятора (ПІ – регулятора) :

$$C_0 = \omega(m^2 + 1)I^*_{об}(m, \omega); \quad (12)$$

$$C_1 = mI^*_{об}(m, \omega) - R^*_{об}(m, \omega)$$

або

$$C_0 = \omega(m^2 + 1)I^*_{об}(m, \omega) \sin \varphi_{об}(m, \omega); \quad (13)$$

$$C_1 = A^*_{об}(m, \omega)[m \sin \varphi_{об}(m, \omega) - \cos \varphi_{об}(m, \omega)]$$

Якщо при розрахунках ПІ і ПД - регуляторів параметри настройки визначають безпосередньо з рівнянь (8) ... (11), то при розрахунку оптимальних параметрів настройки ПІ, ПД і ПІД - регуляторів перед розрахунком параметрів настройки необхідно визначити робочу частоту в системі. Для цього при розрахунку ПІ і ПД регуляторів необхідно значення параметрів C_0 , C_1 і C_2 розрахувати згідно (12) і (13) для ряду значень частот $0.04 \leq \omega \leq 0.8$ через $\Delta\omega = 0.04$ і в площинах $C_0 = f(C_1)$ для ПІ – регулятора і $C_1 = f(C_2)$ для ПД – регулятора побудувати криві рівного затухання $\Psi = const$ (рис.5.2). Проведенні багаточисленні дослідження промислових АСК показали, що на графіку кривої рівного затухання

оптимальними будуть ті параметри, які знаходяться дещо правіше максимуму кривих рівного затухання (точки А, В).

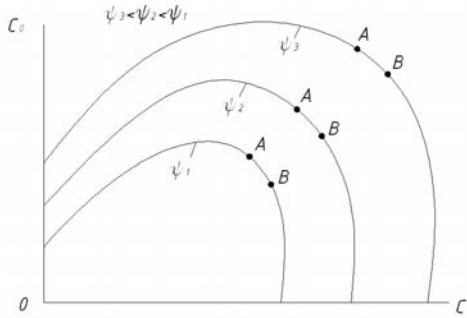


Рис.5. 2. Графіки кривих рівного затухання.

Для визначення параметрів C_0 , C_1 і C_2 для ПД - регулятора необхідно спочатку задати значення параметра C_2 (0...500с), а потім побудувати в площині $C_0 = f(C_1)$ криву рівного затухання для вибраного Ψ , звідки також як і для ПІ - регулятора, визначають параметри C_0 , C_1 . На основі розрахованих параметрів C_0 , C_1 і C_2 для вибраного раніше регулятора за допомогою наведених залежностей слід визначити значення коефіцієнта пропорційності k_p , час ізодорма T_i , час випередження T_θ

$$k_p = C_1; \quad T_i = \frac{1}{C_0}; \quad T_\theta = \frac{C_2}{C_1}$$

Порядок виконання роботи

1. Розрахувати параметри настройки локальної одноконтурної системи регулювання за викладеною методикою.
2. Встановити розраховані параметри настройки на імітаційній моделі

регулятора (k_p і T_i).

3. Одержати графіки кривих перехідних процесів замкнутої АСК при різних збуреннях по завданню.

4. Оцінити якість перехідних процесів.

5. Скласти звіт про роботу.

Звіт повинен містити

1. Відповідно до методики при m і Ψ , які задані викладачем знайти оптимальні параметри настройки регулятора C_0 , C_I , k_p і T_i .

2. Всі розрахунки й дослідження, а також моделювання процесу регулювання виконуються на ПК з використанням СИАМ та прикладних програм:

APRS - апроксимація перехідної характеристики керованого об'єкта;

OPT - розрахунок оптимальних параметрів настройки регуляторів;

FREST.BAS - дослідження частотних характеристик АСК;

GURVIC.BAS - дослідження стійкості за критерієм Гурвіца;

MICHALOV.BAS - дослідження стійкості за критерієм Михайлова.

По графіку перехідного процесу знайти прямі показники якості регулювання t_p – час регулювання, δ – залишкове відхилення в %, A – максимальне відхилення вихідної величини, ступінь затухання Ψ . Додати до звіту.

Зробити висновки про якість регулювання

Контрольні запитання для самостійної підготовки

1. Які типові закони регулювання ви знаєте?

2. Якими способами можна знайти перехідну характеристику керованого об'єкту?

3. Виходячи з яких міркувань вибирається тип закону регулювання для відповідного об'єкту
4. Які показники характеризують оптимальний перехідний процес в АСК?
5. Які прями показники якості регулювання ви знаєте?

Список рекомендованої літератури

1. *Широкий Д.К., Куриленко О.Д.* Оптимальне настройки промислових систем регулювання /на укр.языке/.-Киев.:Высшая школа,1975.
2. *Стефани Е.П.* Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процесов. –ИЗД.2-ое, перераб. и дораб. – М.:Энергия,1978.
3. *Клюев А.С., Лебедев А.Г., Семенов Н.П., Товарнов А.С.* Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процесами. - М.: Энергия, 1977.
4. *Горбійчук М.І., Телишева Т.О., Когутяк М.І.* Методичні вказівки для самостійної роботи студентів по курсу "Моделювання на ЕОМ об'єктів і систем керування". –ІФІНГ: Івано-Франківськ, 1990.
5. *Горбійчук М.І., Чеховській С.А., Семсцов Г.Н., Когутяк М.І.* Методичні вказівки по застосуванню обчислювальної техніки в курсовому і дипломному проектуванні. – ІФІНГ: Івано-Франківськ, 1987.

Лабораторна робота № 6

(2 години)

Дослідження стійкості АСК

Мета роботи: дослідити стійкість АСК за різними критеріями стійкості .

Програма роботи

1. Опрацювати теоретичні відомості, викладені в роботі та у наведених нижче літературних джерелах.
2. Отримати індивідуальне завдання від викладача.
3. Визначити характеристичне рівняння досліджуваної АСК
4. Дослідити стійкість АСК за критерієм стійкості Гурвіца - Рауса розрахунковим і програмним способом та порівняти результати.
5. Дослідити стійкість АСК за критерієм стійкості Михайлова, розрахувати функцію Михайлова та побудувати годограф Михайлова.
6. Дослідити стійкість АСК за критерієм стійкості Найквіста.
7. Використати програми розрахунків критеріїв *Hurvic*, *UrGod* (додаток 1)
8. Оформити звіт.

Основні теоретичні відомості

Критерій стійкості Гурвіца – Рауса

Стійкість системи за наявності її характеристичного полінома можна визначити просто - треба знайти корені цього полінома і з'ясувати, чи всі вони розташовані у лівій половині комплексної площини. Для оцінювання стійкості системи знання самих коренів характеристичного полінома, власне, і не потрібне. Досить лише знати їх знаки (знаки дійсних частин). Так розв'язують задачу стійкості за критерієм Гурвіца, який наводиться без доведення. Для

прикладу розглянемо систему, порядок якої $n = 6$, її характеристичний поліном має вигляд

$$A(p) = a_6 p^6 + a_5 p^5 + a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 \quad (1)$$

На базі характеристичного полінома (1) сформуємо визначник Гурвіца:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_5 & a_3 & a_1 & 0 & 0 & 0 \\ a_6 & a_4 & a_2 & a_0 & 0 & 0 \\ 0 & a_5 & a_3 & a_1 & 0 & 0 \\ 0 & a_6 & a_4 & a_2 & a_0 & 0 \\ 0 & 0 & a_5 & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_6 & a_4 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Формуємо його за таким алгоритмом. Уздовж головної діагоналі вписуємо послідовно коефіцієнти полінома, починаючи з перед старшого (a_{n-1}). Вниз від кожного діагонального елемента вписуємо коефіцієнти, що стоять в поліномі лівіше від діагонального, а вверх - що правіше від нього. Якщо індекс чергового коефіцієнта менший за 0 або більше n , записують 0.

Критерій Гурвіца формулюється так: для того, щоб система була стійкою, необхідно і достатньо, щоб при додатному старшому коефіцієнті характеристичного полінома усі діагональні мінори визначника Гурвіца були б додатними, тобто для полінома (1) маємо умови стійкості:

$$a_6 > 0, \Delta_1 = a_5 > 0, \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_5 & a_3 \\ a_6 & a_4 \end{vmatrix} > 0, \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_5 & a_3 & a_1 \\ a_6 & a_4 & a_2 \\ 0 & a_5 & a_3 \end{vmatrix} > 0, \Delta_4 > 0, \Delta_5 > 0, \Delta_6 = a_0 \Delta_5 > 0 \quad (3)$$

Останню умову у виразі (3) одержано розкриттям визначника (2) за елементами останнього стовпчика.

Застосовуючи критерій Гурвіца послідовно для систем першого, другого та наступних порядків , можна переконатись, що необхідною умовою стійкості є позитивність усіх коефіцієнтів характеристичного полінома.

Для систем першого та другого порядків необхідна умова є водночас і достатньою. Для систем вищого порядку крім необхідної умови для за-

безпечення стійкості потрібно ще задовольнити додаткові умови. Оцінка стійкості за описаним алгоритмом реалізується в підпрограмі-функції Hurvic:

```

function Hurvic (A:coef):integer;
var z,s,Hurv,n:integer;
R:real;
begin
    Hurv:=1; n:=round(a[-1]);
    while (abs(a[n])< Eps) and (n > 0) do dec (n);
    if n > 0 then
begin
    if A[n]< 0 then for z:= 0 to n do A[z]: = -A[z];
    for z:= 0 to n-1 do
    if A[z]< =Eps then Hurv:= -1;
    if (Hurv = 1) and (N > 2) then
    for z:= 1 to n-2 do
begin
    if A[n-z] < = 0
    then Hurv:=-1
    else
begin
    R:= A [n-z+1] /A[n-z]; S:= W-z;
    while S > =2 do
begin
    A[s-1]:= A [s-1]-A[s-2]*R.'
    Dec[S,2]
end;
end;

```

```

if A[1]o0 then Hurv: = -1
end;
Hurv: = Hurv
End

```

Цей алгоритм формувався ще для алгоритмічних мов, у яких не було логічних змінних. Тому підпрограма - функція повертає значення $Hurv = 1$, якщо система стійка, та $Hurv = -1$, якщо вона нестійка або знаходиться на межі стійкості, при цьому, не визначається запас стійкості.

Критерій стійкості Михайлова

Розглянутий критерій Гурвіца - Рауса належить до алгебричних критеріїв стійкості. Другу групу утворюють частотні критерії, з яких розглянемо критерії Михайлова та Найквіста. У критерії Михайлова інформація про динамічні властивості системи задається, як і в критерії Гурвіца, характеристичним поліномом системи $A(p)$. У разі заміни змінної

$$p = j\omega, \quad (5)$$

характеристичний поліном перетворюємо у функцію Михайлова $A(j\omega)$,

$$A(j\omega) = A(p)|_{p=j\omega}$$

Наприклад, поліном (1) можна подати так:

$$A(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega), \quad (6)$$

$$R(\omega) = a_0 - a_2\omega^4 + a_4\omega^4 - a_6\omega^6,$$

$$I(\omega) = \omega(a_1 - a_3\omega^2 + a_5\omega^4)$$

де $R(\omega)$ - дійсна частина функції Михайлова, $I(\omega)$ - уявна частина функції Михайлова. Користуючись формулою вигляду (6) для довільного характеристичного полінома, можна розрахувати таблицю значень функції Михайлова для множини значень параметра ω (частоти).

Якщо відкладати значення функції Михайлова для конкретних значень ω у вигляді точок на комплексній площині, то приріст аргументу визначається як кут повороту вектора під час проходження параметром ω заданого діапазону.

(Аргумент - це кут нахилу вектора функції Михайлова відносно додатного напрямку дійсної осі). Якщо визначати приріст аргументу функції Михайлова під час проходження параметром ω діапазону від $-\infty$ до $+\infty$, то на практиці досить виконати розрахунок, наприклад, лише для додатних частот, значення ж функції Михайлова для відповідних їм від'ємних частот будуть дзеркальним відображенням відносно дійсної осі значень для додатних частот, тому що $R(\omega)$ є парною функцією, а уявна $I(\omega)$ - непарною функцією від ω . Крім того, легко проекстраповувати поведінку годографа за великих частот, спрогнозувавши його поведінку за умови $\omega \rightarrow \infty$.

Отже, нехай визначено:

$$\Delta \arg A(j\omega) = \Delta A, \quad (7)$$

$$-\infty \leq \omega \leq \infty.$$

Тепер припустімо, що корені характеристичного полінома $A(p)$ відомі. Тоді цей характеристичний поліном можна подати в такому вигляді:

$$A(p) = a(p - p_1)(p - p_2) \dots (p - p_n), \quad (8)$$

де $p_1, p_2 \dots p_n$ - корені полінома $A(p)$.

Виконавши у формулі (8) заміну (5), одержимо для функції Михайлова

$$A(j\omega) = a_n(j\omega - p_1)(j\omega - p_2) \dots (j\omega - p_n) \quad (9)$$

Відслідкуємо приріст аргументу окремо взятої s -ї дужки у виразі (9) у разі зміни аргументу ω від $-\infty$ до $+\infty$. Легко бачити, що вектор $\frac{1}{(j\omega - p_s)} \rightarrow$ починається в точці p_s і закінчується в точці на уявній осі, що відповідає поточному значенню ω . Якщо p_s лежить лівіше від уявної осі, то зі змінюванням ω від $-\infty$ до $+\infty$ вектор $(j\omega - p_s)$ буде повертатись від положення вертикально вниз до положення вертикально вгору у напрямі проти годинникової стрілки, отже, приріст його аргументу буде $+\pi$. Відповідно,

якщо p_s знаходиться справа від уявної осі, то зміна напрямку вектора відбуватиметься за годинниковою стрілкою - приріст буде $-\pi$.

У разі перемноження векторів у рівнянні (8) їх аргументи будуть алгебрично додаватись. Отже, якщо система має n -й порядок - виявиться, що результуючий кут повороту (приріст аргументу) вектора $A(j\omega)$ згідно з виразом (9)

$$\Delta \arg A(j\omega) = (n - m)\pi - m\pi = (n - 2m)\pi,$$

де n - всі корені характеристичного полінома, m - коренів розташовані в правій півплощині.

Раніше у формулі (7) цю величину визначали як ΔA . Отже:

$$(n - 2m)\pi = \Delta A. \quad (10)$$

Рівняння (10) має єдину невідому величину m , і його легко розв'язати. Якщо знайдене значення m виявиться більшим від нуля, то система нестійка (m коренів у правій півплощині), якщо $m = 0$, то всі корені знаходяться в лівій півплощині, стійкість забезпечено.

Умова стійкості буде виконуватись, якщо годограф Михайлова у разі зміни ω від 0 до ∞ відбувається у природній послідовності n квадрантів (природна послідовність: перший, другий, третій і так до n -го).

Для того щоб система була стійкою, потрібно і достатньо, щоб із збільшенням частоти від 0 до ∞ корені уявної та дійсної частин функції Михайлова точно чергувались. Приклади годографів Михайлова для стійкої, на межі стійкості та нестійкої системи третього порядку показано на рис. 6. 1.

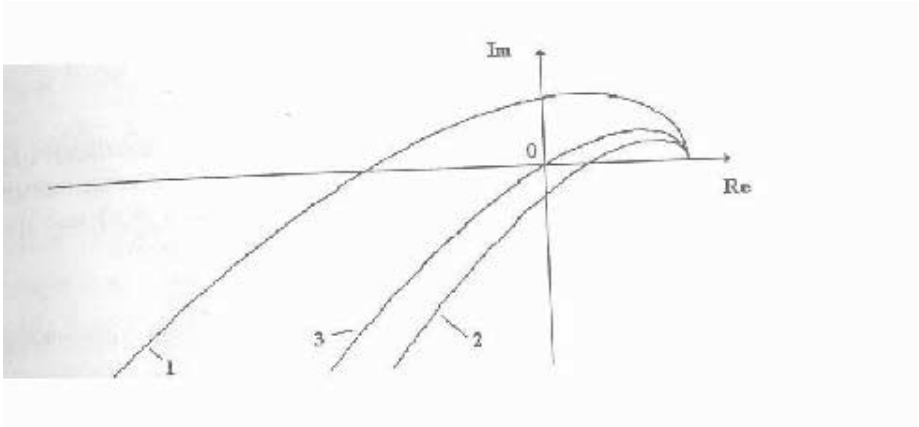


Рис. 6. 1. Годографи Михайлова для систем:
 1 - стійкої, 2 – на межі стійкості, 3 – нестійкої.

Як видно з наведеного рисунка, «запас стійкості» системи визначається мірою віддаленістю годографа Михайлова від «критичної точки» - початку координат.

Критерій стійкості Найквіста

Критерії Гурвіца-Рауса та Михайлова дозволяють оцінювати стійкість систем із зосередженими параметрами, коли порядок системи n скінчений і, бажано, відносно невисокий. Для дослідження стійкості систем із розподіленими параметрами, коли $n = \infty$, вони явно непридатні. Найпростіший спосіб врахувати ефект просторової розподіленості параметрів - уведення множника e^{-pt} - ланки транспортного запізнювання. Критерій стійкості Найквіста дозволяє досліджувати стійкість систем як із зосередженими, так і з розподіленими параметрами (порядок досліджуваної системи в ньому враховувати не потрібно).

Як відомо, характеристичне рівняння замкненої системи можна записати у вигляді

$$1 + W_{роз}(p) = 0 \quad (11)$$

де $W_{роз}(p)$ - передавальна функція системи в розімкненому стані, яку можна в загальному вигляді подати так:

$$W_{роз}(p) = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (12)$$

де $B(p)$ та $A(p)$ - поліноми (у випадку системи з розподіленими параметрами це узагальнені поліноми, степені яких можуть бути нескінченними). Для фізично реалізованих систем степінь m полінома $B(p)$ має не перевищувати степеня n полінома $A(p)$ - порядку системи, тобто $m < n$. Якщо вираз (12) підставити у рівняння (11), то характеристичне рівняння (11) можна подати так

$$A(p) + B(p) = 0 \quad (13)$$

Виконавши перетворення і підстановку $p = j\omega$

Одержимо

$$1 + W_{роз}(j\omega) = \frac{A(j\omega) + B(j\omega)}{A(j\omega)}, \quad 0 \leq \omega < \infty \quad (14)$$

і відслідкуємо приріст аргументу функції $(1 + W_{роз}(j\omega))$.

Якщо система в розімкненому стані стійка ($A(p)$ не має коренів у правій півплощині) і після замикання має залишитись стійкою (поліном $(A(p) + B(p))$ не повинен мати «нестійких» коренів), то функція $(1 + W_{роз}(j\omega))$ має одержати нульовий приріст аргументу (у разі зміни ω від 0 до ∞).

Критерій Найквіста: для того щоб система, стійка в розімкненому стані, залишалась стійкою і після замикання, потрібно і достатньо, щоб годограф $(1 + W_{роз}(j\omega))$ зі змінюванням ω від 0 до ∞ не охоплював би точку $(-1 + 0j)$.

Для прикладу розглянемо алгоритм розрахунку $W_{роз}(j\omega)$ за умови, що об'єкт має передавальну функцію

$$W_{роз}(p) = \frac{B(p)}{A(p)} e^{-pt} \quad (15)$$

а регулятор реалізує один із лінійних законів регулювання. Вираз $W_{об}(p)$ у відповідно до рівняння (15) набуває вигляду

$$W_{об}(j\omega) = \frac{R_1 + jI_1}{R_2 + jI_2} e^{-pt} \quad (16)$$

Експоненту в рівнянні (16) можна подати так:

$$e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j \sin(\omega t)$$

Помноження $W_{об}(j\omega)$ на $W_{поз}(j\omega)$, де $W_{поз}(j\omega)$ - амплітудо-фазова характеристика регулятора, додаткових коментарів не потребує. Описаний алгоритм обчислення дійсно-частотної X та уявно-частотної Y характеристик $W_{поз}(j\omega)$ для окремого значення частоти ω реалізовано із підпрограми UrGod:

procedure UrGod;

var $R_1, I_1, Tl, R_2, I_2, R_3, I_3, Zn, W_{tau}$:*real;*

begin

HorComp(B, 0, W, R₁, I₁);

HorCorap(A, 0, W, R₂, I₂);

Zn := -Sqr(R₂) + Sqr(I₂);

*R₃ := (R₁ * R₂ + I₁ I₂) / Zn;*

*I₃ := -(R₂ * I₁ - R₁ * I₂) / Zn;*

*W_{tau} := W * Tau;*

R₁ := cos(W_{tau}); I₁ := sin(W_{tau});

*X := R₃ * R₁ + I₃ * I₁*

*Y := R₁ * I₃ - I₁ * R₃;*

if syst then

case Nzr of

1:begin

*X := X * Kreg; Y := Y * Kreg*

end;

2:begin

```

    R1Y*Kreg/W; Y:-X*Kreg/W; X:-R1
end;
3:begin
    R1:=Kreg*(X+Y/(Ti*W));
    Y:=Kreg*(Y-X/(Ti*W)); X:=R1
end;
4:begin
    R1:=Kreg*(X+Y/(Ti*W));
    Yi=Kreg*(Y-X/(Ti*W)); X:=R1
end;
5:begin
    R1:=Kreg*(X-Y*(Tv*W-1/(Ti*)));
    Y:-Kreg*(Y+X*(Tv*W-1/(Ti*W)));
    X:=R1
    End;
    End;
end;

```

Тут Tau – ідентифікатор, що відповідає змінній τ . Змінну Syst:boolean введено для того, щоб блокувати помноження $(X+jY)$ на $W_{poz}(j\omega)$ у випадку, коли йдеться про $W_{ob}(j\omega)$.

Приклади годографів $W_{poz}(j\omega)$ показано на рис.6.2

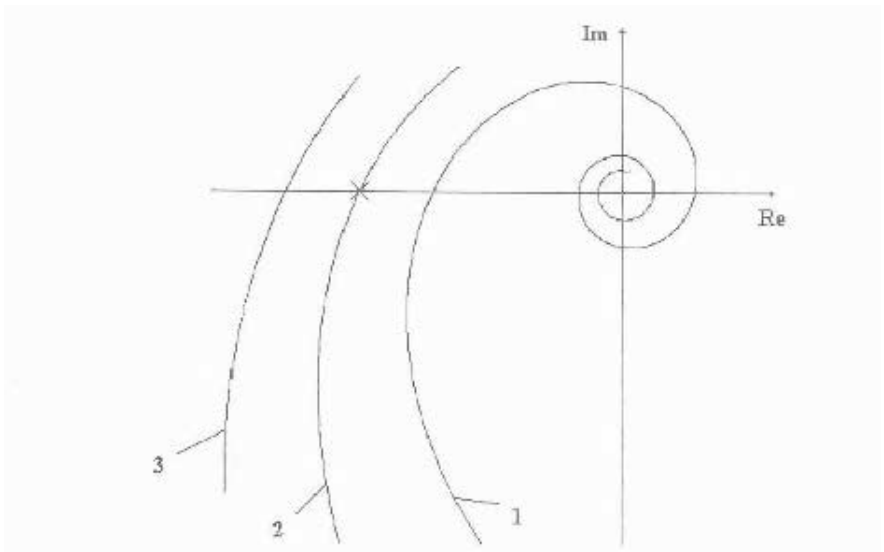


Рис. 6.2. Годографи амплітудо-фазової характеристики:

1 - замкнена система стійка, 2 - замкнена система знаходиться на межі стійкості, 3 – замкнена система нестійка.

За допомогою годографів можна оцінити не лише сам факт стійкості, але й визначити запас стійкості (наприклад, за модулем та фазою).

Порядок виконання роботи

1. Визначити характеристичне рівняння досліджуваної АСК.
2. Вивчити особливості алгоритму розв'язання задачі за критерієм стійкості Гурвіца - Рауса.
3. Провести визначення стійкості програмним та розрахунковим шляхом.
4. Зробити порівняння одержаних результатів.
5. Вивчити алгоритм розв'язання задачі за критерієм Михайлова та програму обрахунків UrGod.
6. Провести визначення стійкості програмним та розрахунковим шляхом.
7. Побудувати годограф Михайлова.

8. Вивчити алгоритм розв'язання задачі за критерієм Найквіста та програму обрахунків UrGod.
9. Спроекувати систему, яка стійка в розімкненому стані і залишається стійкою і після замикання, для цього вибрати діапазон зміни частоти для стійкої області роботи системи.

Звіт повинен містити:

- завдання викладача для виконання досліджень;
- розрахунок стійкості АСК за критерієм Гурвіца.;
- розрахунок стійкості АСК за критерієм Михайлова і графіки годографа;
- розрахунок стійкості АСК за критерієм Найквіста і графік АФЧХ.
- аналіз умов стійкості АСК.

Контрольні запитання для самостійної підготовки

1. Сформулюйте визначення стійкої АСК
2. Наведіть першу теорему Ляпунова про стійкість системи
3. Що може бути причиною нестійкості АСК ?
4. Що дозволяють встановити критерії стійкості і що їх єднає ?
5. Сформулюйте критерій Гурвіца.
6. Сформулюйте критерій Михайлова.
7. Сформулюйте критерій Найквіста.
8. В чому полягає різниця між критеріями Михайлова і Найквіста ?
9. Як будують області стійкості ?

Список рекомендованої літератури

1. *Воронов А. А.* Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1970.
2. *Егоров К.В.* Теория автоматического регулирования. – М.: Энергия, 1968.

3. *Куропаткин П.В.* Теория автоматического управления. – Л.: СЗПИ, 1973.

4. *Шишкин О.П., Порфенов А.Н.* Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. - М.: Недра, 1973.

5. *Клюев А.С., Лебедев А.Г., Семенов Н.П., Товарнов А.С.* Настройка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. - М.: Энергия, 1977.

Навчальне видання

Тамара Олексіївна Телишева

Юрій Михайлович Трофімов

ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ

Методичні рекомендації що до виконання лабораторних робіт

Для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 7.092507 “Автоматика і автоматизація на транспорті”, спеціалізація 7.092507.01 “Комп’ютерні інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті”

Відповідальний редактор Т.О.Телишева

Редактор Л.В.Пономаренко

Підписано до друку 12.12.2006 Формат 60x84/16. Папір офсетний.

Друк на різнографі. Замовлення № 307- 06 .Тираж 52.

Надруковано у редакційно-видавничому центрі Київського університету економіки і технологій транспорту, 03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19

