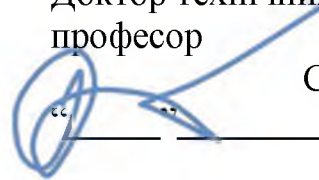


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Доктор технічних наук
професор

Синеглазов В.М.
_____ 2023р.



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ
“БАКАЛАВР”

Тема: КОНТУРИ НАЛАШТУВАННЯ ЗАМКНУТИХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Виконавець:

Коновалюк І.О.

Керівник: ктн, професор



Аблесімов О.К.

Нормоконтролер: к.т.н., професор



Філяшкін М.К.

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ДТН, професор

Синеглазов В.М.

“ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи студенту

Коновалюку І.О.

Тема роботи: “Конттури налаштування замкнених систем автоматичного керування”

- 1. Термін виконання проекту (роботи):** з « 01 » 04 2023р по «25» 06 2023р.
- 2. Вихідні данні до роботи:** Технічні параметри автопілотів відповідно до аналогів промислових зразків.
- 3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):**
 - 1.Класифікація й області застосування замкнених САК.
 - 2.Аналіз функціонального виконання багатоплощинних систем стабілізації.
 - 3.Дослідження принципів формування стабілізуючих моментів.
 - 4.Математичне моделювання типової замкнутої САК.
 - 5.Моделювання контурів підсумовування в складі САК.
 - 6.Розробка комплексу натурного моделювання.
 7. Сполучення стенда з моделлю системи у LabVIEW.
 - 8.Дослідження контурів та практичні рекомендації.
- 4. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:**
 - 1.Структурні схеми систем стабілізації.
 - 2.Схемні рішення контурів підсумовування.
 - 3.Векторні діаграми формування моментів стабілізації.
 - 4.Реалізація моделі замкнутої САК в LabVIEW.
 - 5.Стенд натурного моделювання.
 6. Сполучення стенда з моделлю.
 - 7.Методика досліджень з використанням стенду.
 8. Результати досліджень і їхній аналіз.
 9. Програмне забезпечення досліджень.

5. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	ПІДБІР ЛІТЕРАТУРИ	01.04-10.04	
2	АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ КОНТУРІВ НАЛАШТУВАННЯ САК	11.04-12.04	
3	ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТУРІВ ПІДСУМОВУВАННЯ	13.04-20.04	
4	МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ	21.04-31.04	
5	ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	01.05-10.05	
6	МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	11.05-19.05	
7	РОЗРОБКА ПРЕЗЕНТАЦІЇ	20.05-23.05	
8	ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ	24.05- 26.05	

6. Дата видачі завдання _____

Керівник: професор _____ Аблесімов О.К.
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Коновалюк І.О.

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Контури налаштування замкнених систем автоматичного керування»: стор. - _____, рис. - _____, табл. _____, використаних джерел – _____.

ЛІТАК, КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНІЙ КОМПЛЕКС,
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МОМЕНТ СТАБІЛІЗАЦІЇ, КОНТУР
ПІДСУМОВУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, АЛГОРИТМ.

Об'єкт дослідження – система стабілізації.

Мета роботи – Теоретичні та експериментальні дослідження властивостей контурів налаштування для замкнених систем автоматичного управління та розробка пропозицій щодо їх застосування.

Метод дослідження – математичне дослідження та напівнатурне моделювання.

В роботі проведений аналіз існуючих контурів, що підсумовують, щодо формування моменту стабілізації. Розроблений і створений комплекс напівнатурного моделювання та дослідження контурів налаштування САК, використовуючи який були проведені дослідження реальних контурів налаштування та їх вплив на формування стабілізуючого моменту. Запропонований комп'ютерно-інтегрований комплекс із набором алгоритмів. Даний комплекс дозволяє по відомих параметрах системи й технічних умов на неї, одержувати значення коефіцієнтів підсилення контуру підсумовування.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при проведенні досліджень та навчальному процесі.

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

СС – система стабілізації.

ОУ – об'єкт управління.

ДШ - датчик швидкісного відхилення об'єкта управління.

ДК - датчик відхилення по куту об'єкта управління.

ВП – виконавчий привод.

ДЗ – датчик збурень.

ЕП – підсилювач.

КП – контур підсумовування.

САК – система автоматичного керування.

ЛА – літальний апарат.

АЦП - аналогово-цифровий перетворювач

ВП - віртуальний прилад

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ КОНТУРІВ НАЛАШТУВАННЯ САК.....	
1.1 Визначення базових компонент систем стабілізації	
1.2 Аналіз функціонального виконання багатоплощинних систем стабілізації	
1.3 Дослідження принципів формування стабілізуючих моментів	
1.4 Вимоги до систем настроювання	
1.5 Мета та завдання роботи	
2. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТУРІВ ПІДСУМОВУВАННЯ.....	
2.1 Формування моменту стабілізації за допомогою контурів підсумовування	
2.2 Дослідження контуру підсумовування $C_k - C_{ш}$	
2.3 Дослідження контуру підсумовування $C_k - C_0$	
2.4 Дослідження контуру підсумовування $C_{ш} - C_0$	
2.5 Дослідження контуру підсумовування C_0	
3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ	
3.1 Методика моделювання із застосуванням рівнянь Лагранжа другого роду	
3.1 Розробка моделей об'єктів керування	
3.2 Розробка моделей функціональних елементів систем стабілізації	
3.3 Розробка моделі системи стабілізації.....	
4 ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
4.1 Вибір методу проведення експерименту.....	
4.2 Структурна схема стенду дослідження контурів підсумовування..	
4.3 Конструювання та програмне забезпечення стенду	
5. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
5.1 Підготовка експерименту.....	

5.2	Методичне забезпечення
5.3	Дослідження та аналіз отриманих даних
	ВИСНОВКИ
	ЛІТЕРАТУРА.....

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку літальних апаратів все більше використовуються системи автоматичного керування. Їх застосування різноманітне, наприклад: системи керування польотом, системи автоматичної посадки, автоматичні системи поліпшення стійкості та керованості літака тощо. Ці системи працюють в режимі стабілізації або в режимі слідкування. В процесі експлуатації їх потрібно налагоджувати згідно з технічними вимогами.

Досягнення потрібної якості системи стабілізації може бути забезпечено варіюванням її експлуатаційних параметрів. Вибір оптимального співвідношення між ними забезпечить необхідну стійкість і динаміку системи. Основне завдання експлуатаційних регулювань замкнутих систем автоматичного керування (САК) полягають у тому, щоб сформувати стабілізуючий момент, що найбільш повно компенсує всі зовнішні збурювання, що діють на об'єкт керування. Разом з тим випадковий характер зміни сумарного моменту, що обурює, практично виключає можливість його повної компенсації при якому-небудь незмінному регулюванні. Тому експлуатаційні регулювання повинні забезпечувати вибір такого сполучення регульованих параметрів, при яких діючі на систему збурювання компенсувалися б стабілізуючим моментом «у середньому», тобто так, щоб середнє (середньоквадратичне або середньо амплітудне) значення помилки стабілізації не виходило за межі заданої технічними умовами точності.

Для формування моменту стабілізації використовують сигнали зворотного зв'язку за швидкістю та кутом відхилення, які надходять до контуру, що їх підсумовує. Підсумовуючий контур є вхідним контуром підсилювача системи. Він дозволяє керувати такими параметрами як жорсткість та демпфірування системи.

На практиці використовують декілька видів контурів, що підсумовують. Всі ці контури забезпечують формування стабілізуючого моменту в деяких межах в яких налагоджується система.

Тому при налаштуванні стоїть задача визначити оптимальні експлуатаційні параметри замкнутої системи автоматичного керування (САК), а також визначити, як вплине вибір типу контуру підсумовування на формування стабілізуючого моменту і на поведінку системи в цілому.

Для цього необхідно: визначити типи контурів; проаналізувати можливості кожного контуру використовуючи математичний апарат; перевірити отримані дані за допомогою експерименту.

За результатами досліджень зробити висновки, щодо впливу типу контуру на формування моменту стабілізації. Виробити вказівки, щодо вибору типу контуру для розв'язання поставлених задач регулювання.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ КОНТУРІВ НАЛАШТУВАННЯ САК

1.1 Визначення базових компонент систем стабілізації

Системи стабілізації належать до систем автоматичного керування (САК), що підтримують постійними або змінюють за певним законом одну або кілька фізичних величин, що характеризують робочий режим об'єкта керування.

Усі системи автоматичного керування залежно від принципу їх дії можна розділити на три класи:

- системи, в яких управління здійснюється за відхиленням керованої величини від її заданого значення;
- системи, у яких керування здійснюється за величиною діючого на об'єкт керування збурення;
- системи, в яких управління за відхиленням керованої величини поєднується з керуванням за основними збуреннями.

У більшості сучасних систем керування здійснюється за відхиленням керованої величини від заданого настроюванням її значення або від заданого закону її зміни.

Функціональну схему САК за відхиленням показано на рис. 1.1.

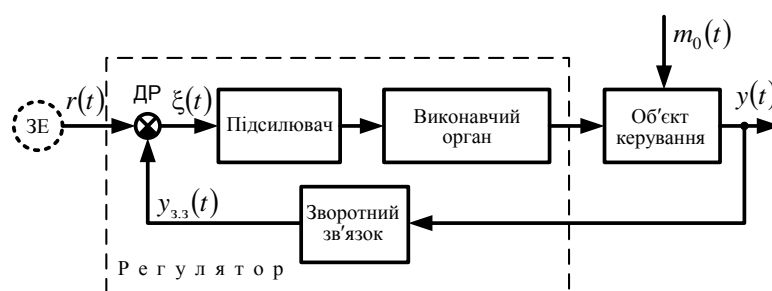


Рис. 1.1 Функціональна схема САК за відхиленням

Система з керуванням за відхиленням завжди має замкнутий контур керування, що складається з прямого ланцюга, по якому передається керуючий вплив на об'єкт керування, і ланцюга зворотного зв'язку по керованій величині.

Слід підкреслити, що в системі з керуванням за відхиленням відбувається одночасна компенсація впливу всіх збурень, що діють як на об'єкт керування, так і на елементи регулятора і викликають зміну заданого значення керованої величини.

Одночасна й автоматична компенсація впливу на керовану величину всіх діючих на систему збурень – найважливіше достоїнство принципу керування за відхиленням.

Таким чином, ключовими елементами будь-якої системи автоматичного керування (САК) є об'єкт керування й регулятор.

Об'єктом керування називається робочий механізм, агрегат, машина або технологічний процес, режими роботи яких автоматизуються.

Найбільш часто на практиці зустрічаються інерційні об'єкти керування та об'єкти керування з чистим запізненням.

До інерційних об'єктів відносяться об'єкти керування, зміни керованих координат яких відстають за часом від змін керуючих координат, що їх викликали. Прикладами можуть служити літаки, ракети, кораблі, танки ...

Структурна (а) схема інерційного об'єкта керування і його перехідна характеристика (б) подані на рис. 1.2.

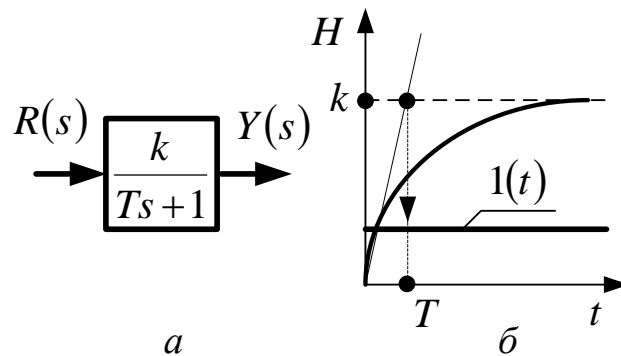


Рис. 1.2 Динамічні характеристики інерційного об'єкта керування

До інерційних об'єктів з чистим запізненням відносять інерційні об'єкти керування, зміни керованих координат яких повторюють із зсувом за часом зміни керуючих координат, що їх викликали. Прикладами є різні технологічні процеси: прокатні стани, доменні печі, водоводні системи тощо.

Структурну (а) схему і перехідну характеристику (б) інерційного об'єкта керування з запізненням наведено на рис. 1.3.

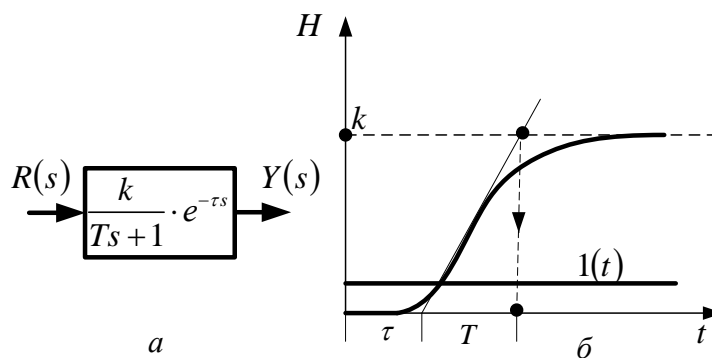


Рис. 1.3 Динамічні характеристики інерційного об'єкта керування з запізненням

Позначення, прийняті на рисунках: k - коефіцієнт посилення (передачі); T - постійна часу об'єкта керування; τ - час запізнювання.

Передатні функція об'єктів керування зазвичай визначаються за результатами ідентифікації моделей.

Регулятором будьмо називати комплекс автоматично діючих приладів, механізмів і машин, які здійснюють управління режимом роботи об'єкта керування за певним заданим настроюванням законом.

Схемні рішення регуляторів для систем стабілізації можуть бути різними.

У багатьох випадках для автоматизації інерційних динамічних об'єктів і технологічних процесів використовується найбільш поширений тип регуляторів - пропорційно-диференціюючий регулятор (ПД – регулятор).

Керуючий вплив, що формується на виході регулятора, містить пропорційну і диференціюючу складові

$$u(t) = k_{\text{пер}} \cdot \xi(t) + k_d T_d \frac{d\xi(t)}{dt},$$

де k_d, T_d - коефіцієнт передачі та постійна часу диференціюючої складової регулятора відповідно.

Передатна функція регулятора приймає вигляд

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{U(s)}{\xi(s)} = k_{\text{пер}} + k_d T_d s.$$

Регулятор реагує не тільки на величину сигналу розузгодження, але й на швидкість його зміни. Завдяки цьому при використанні ПД - закону керування досягається ефект випереджаючого керування.

Конструктивно регулятори можуть комплектуватися з окремих датчиків. У цьому випадку модель регулятора буде являти собою композицію моделей компонент, які в нього входять. На рис. 1.4 відображено структурну схему ПД - регулятора, який утворений з гіроскопічного датчика кута і гіроскопічного датчика швидкості.

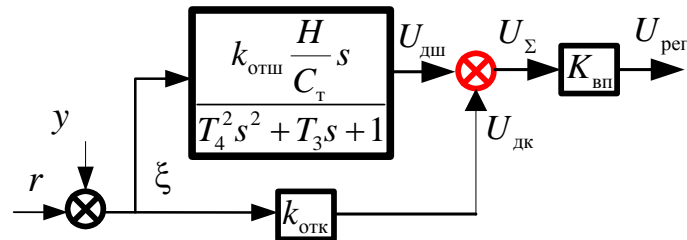


Рис. 1.4 Структурна схема ПД - регулятора

На схемі прийняті позначення: $k_{отш}$ - коефіцієнт посилення обертового трансформатора датчика швидкості; H, C_T - параметри датчика швидкості; T_4, T_3 - постійні часу датчика швидкості; $k_{отк}$ - коефіцієнт посилення обертового трансформатора датчика кута; $K_{вп}$ - коефіцієнт посилення виконавчого приводу.

1.2 Аналіз функціонального виконання багатоплощинних систем стабілізації

Як показує аналіз літературних джерел, незважаючи на те, що системи стабілізації істотно розрізняються між собою по конструкції, виконуються вони по однотипних функціональних схемах для кожної із площин стабілізації об'єкта керування.

Основними елементами системи стабілізації є об'єкт керування та регулятор.

До складу остатнього, як правило, входять:

- датчик відхилення об'єкта керування;
- датчик швидкості відхилення об'єкта керування;
- підсилювально-перетворюючий пристрій;
- виконавчий привод;
- датчики збурень.

Функціональну схему трьохплощинного стабілізатора наведено на рис. 1.5.

Для кожної із площин стабілізатор являє собою замкнуту систему з регулюванням по відхиленню об'єкта керування від заданого напрямку.

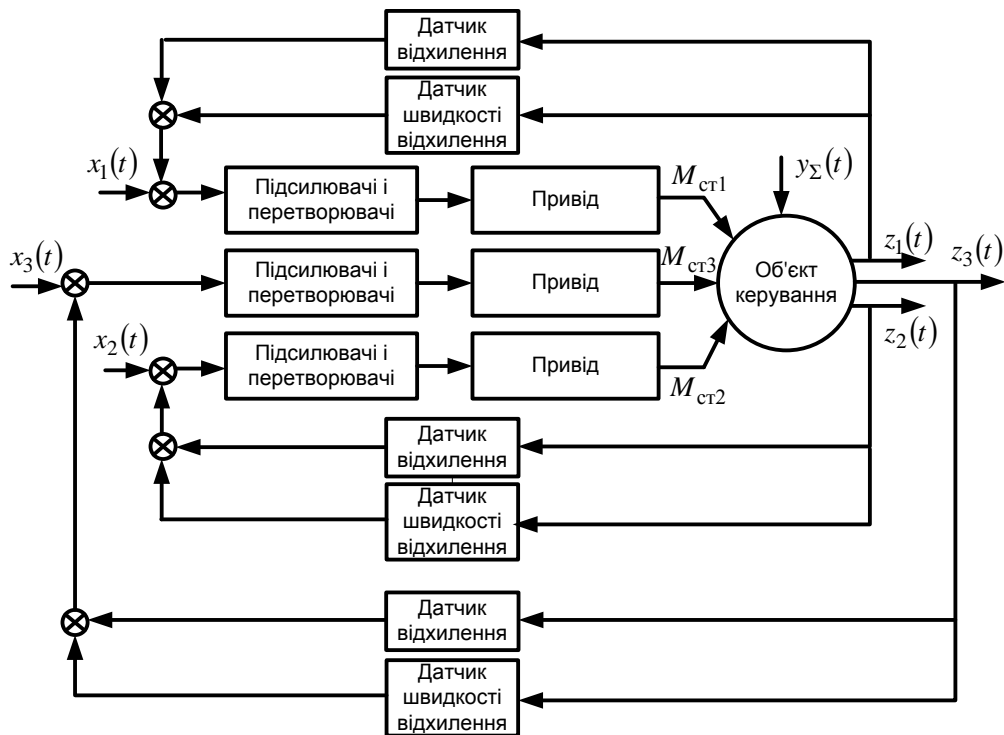


Рис. 1.5 Функціональна схема трьох площинного стабілізатора

Необхідний напрям об'єкту керування задається за допомогою гіроскопічного датчика кута - датчика відхилення, встановленого безпосередньо на об'єкті.

Якщо під дією моментів $y_{\Sigma}(t)$, що обурюють, об'єкт керування відхилиться від заданого напрямку, то датчик виміряє це відхилення й перетворить його в пропорційний електричний сигнал. Цей сигнал після посилення й перетворення в підсилювальне-перетворюючому пристрої надходить на вхід виконавчого привода системи. Останній сформує момент стабілізації $M_{ст.i}(t)$, що протидіє моментам, що обурюють $y_{\Sigma}(t)$, і зменшує неузгодженість об'єкта керування із заданим напрямком. Чим повніше момент стабілізації буде компенсувати момент, що обурює, тим точніше буде здійснюватися стабілізація об'єкта.

Датчик швидкості відхилення введений до складу системи для підвищення інтенсивності гасіння коливань об'єкта керування. Датчик швидкості, також як і датчик кута, встановлюється на об'єкті керування й вимірює швидкість його

відхилення від заданого напрямку, перетворюючи її в пропорційний електричний сигнал.

Сигнали датчиків відхилення й швидкості відхилення підсумовуються у контурі підсумовування. Сумарна напруга являє собою керуючий сигнал виконавчого привода.

Для компенсації впливу окремих найбільш інтенсивних зовнішніх збурень, у системах стабілізації можуть створюватися спеціальні канали регулювання по збуренню (на рисунку не показані). Датчик збурень вимірює найбільш істотну складову зовнішнього збурення $y_{\Sigma}(t)$, перетворить її в пропорційний електричний сигнал. Посилений сигнал надходить на вхід виконавчого привода у вигляді додаткового керуючого сигналу, під дією якого привод створює додаткову складову моменту стабілізації, що компенсує зовнішнє збурення. Точність стабілізації системи підвищується.

1.3 Дослідження принципів формування стабілізуючих моментів

У загальному випадку момент M_c , що стабілізує об'єкт керування при дії на нього зовнішніх збурень, формується по двох каналах: каналу датчика відхилення об'єкта керування щодо заданого напрямку, і каналу датчика швидкості відхилення об'єкта керування

$$\overline{M}_c = \overline{M}_G + \overline{M}_D \equiv k_G G_m + k_D D_m,$$

де $G = k_{\text{дв}} k_{\text{рег}}$ - жорсткість системи; $D = k_{\text{дшв}} k_{\text{рег}}$ - демпфірування системи; $k_{\text{дв}}$ - передатний коефіцієнт датчика відхилень об'єкта керування; $k_{\text{дшв}}$ - передатний коефіцієнт датчика швидкості відхилень об'єкта керування; $k_{\text{рег}}$ - передатний коефіцієнт регулятора.

На рисунку 1.6 представлені часові діаграми, що відповідають відключеному стану датчика швидкості відхилення.

Об'єкт керування під дією моментів $M_{y\Sigma}$, що обурюють, відхиляється від заданого напрямку - вихідна координата φ_0 об'єкта керування наростає в часі.

Відхилення, що з'явилося, вимірюється датчиком і перетворюється в пропорційний електричний сигнал $U_k \equiv \varphi_0$.

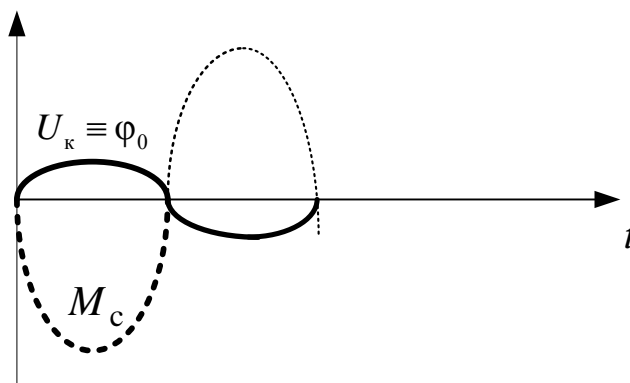


Рис. 1.6 Часова діаграма при відключеному датчику швидкості

Виконавчий привод формує стабілізуючий момент M_c , що перешкоджає відхиленню об'єкта керування. Останній зупиняється, а потім під дією M_c починає рух до вихідного положення - відхилення φ_0 зменшується. Отже, у міру наближення об'єкта керування до заданого положення, зменшується сигнал U_k датчика відхилень, а виходить, і момент стабілізації. Коли відхилення об'єкта керування стане нульовим $\varphi_0 = 0$, момент стабілізації звертається в нуль $M_c = 0$.

Однак об'єкт, що володіє певною масою, керування не може миттєво зупинитися. По інерції він проходить задане положення й відхиляється в протилежну сторону. Знову наростає момент стабілізації. Об'єкт керування зупиняється й під дією M_c вертається до заданого положення. Далі процес повторюється в часі - коливання об'єкта керування загасають дуже повільно. Збільшення сигналу датчика відхилень не приводить до поліпшення якості системи.

При подачі в систему сигналу $U_{ш}$ датчика швидкості відхилень він підсумується із сигналом U_k датчика відхилень (рис.1.7). Сумарний сигнал датчиків $U_{\Sigma} = U_k + U_{ш}$ забезпечує формування моменту стабілізації M_c .

У цьому випадку, що стабілізує момент M_c змінює свій знак до приходу об'єкта керування φ_0 в задане положення. Момент M_c стає гальмовим,

перешкоджаючи відхиленню об'єкту керування в протилежну сторону, коливання загасають досить ефективно.

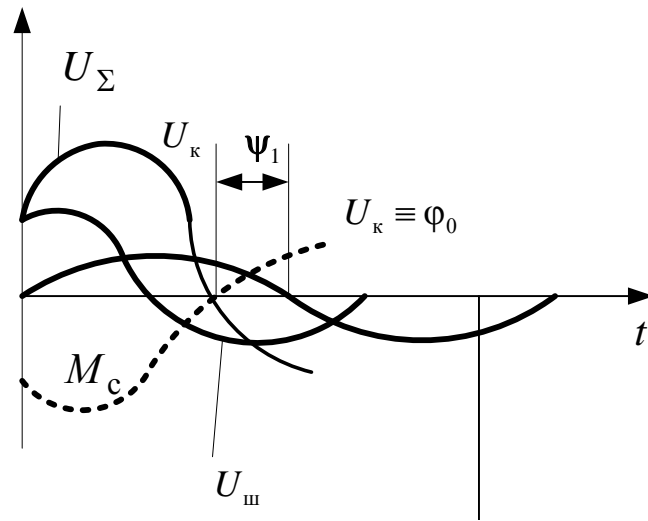


Рис. 1.7 Часова діаграма при наявності двох датчиків

Ефективність гасіння коливання об'єкта регулювання визначається фазовим зрушенням ψ моменту стабілізації щодо кутового відхилення $\varphi_0 \equiv U_\kappa$.

Чим більше фазове зрушення, тим ефективніше гасяться коливання в системі. У свою чергу, чим вище рівень сигналу U_ψ датчика швидкості відхилень стосовно сигналу U_κ датчика відхилень, тим більше ψ . Таким чином, датчик швидкості відхилень відіграє роль штучного демпфера.

Найбільш повне формування стабілізуючого моменту можна представити векторною діаграмою його складових $\bar{M}_c = \bar{M}_G + \bar{M}_D$.

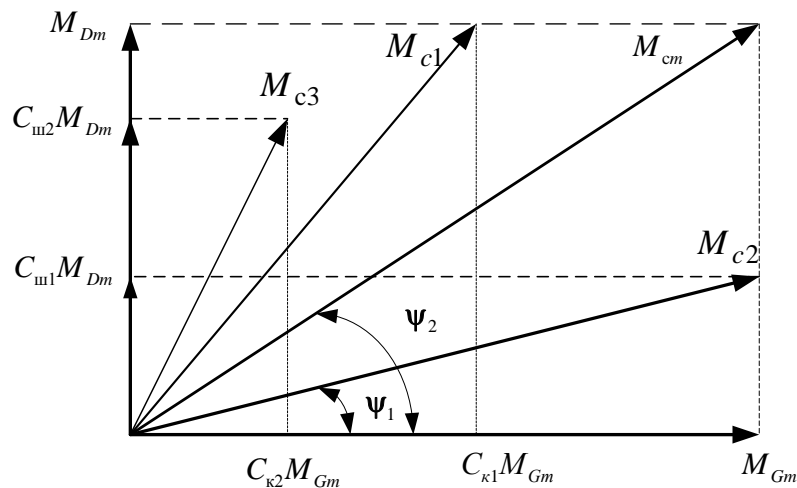


Рис. 1.8 Векторна діаграма формування моменту стабілізації

Аналіз діаграми показує, що в залежності від значень \bar{M}_G і \bar{M}_D складових моменту стабілізації, обумовлених сигналами датчиків відхилень і швидкості відхилень, амплітуда моменту стабілізації M_c може змінюватися від нуля до максимального значення $M_{c,m}$, а фазове зрушення ψ - від нуля до 90° .

Отже, вибираючи те або інше сполучення сигналів датчиків відхилень і швидкості відхилень, можна так змінювати значення амплітуди моменту, стабілізації й фазового зрушення, щоб була забезпечена необхідна якість і стійкість системи стабілізації.

1.4 Вимоги до систем настроювання

Узагальнюючи вищевикладене, відзначимо, що необхідна якість системи стабілізації може бути забезпечена шляхом варіювання її основних параметрів.

Вибір оптимального співвідношення між ними забезпечить необхідні стійкість і динаміку системи.

“Ідеальна” стабілізація можлива лише теоретично. Однак, це фізично нереалізоване й за умовою забезпечення стійкості неприйнятно.

У цьому зв'язку завдання систем настроювання основних параметрів систем стабілізації полягає у виборі такого сполучення експлуатаційних параметрів, при якому діючі на систему збурювання компенсувалися б стабілізуючим моментом в “середньому”, тобто так, щоб середні квадратичні значення погрешностей стабілізації не виходили за межі точності, що задається технічними умовами.

Елементи систем настроювання й діагностики повинні мати мінімальні габаритно-масові показники, компактно розміщатися при системах стабілізації, мати високу надійність і стабільністю характеристик.

Розміщення органів настроювання й діагностики повинне бути раціональним, а саме настроювання - просте і зручне.

1.5 Мета та завдання роботи

Контури підсумовування є функціонально необхідними елементами систем автоматичного керування (САК). Вони призначені для підсумовування сигналів, пропорційних відхиленням і швидкостям відхилення об'єкта управління.

Змінюючи за допомогою потенціометрів контуру підсумовування сигнали датчиків, можна змінювати момент стабілізації, тобто настроювати (регулювати) систему. При цьому необхідно розуміти чи позначиться зміна типу контуру підсумовування на рішенні основного завдання експлуатаційного регулювання САУ - формуванні стабілізуючого моменту, що найбільше повно компенсує зовнішні збурювання.

Враховуючи вищевикладене метою роботи є:

Теоретичні та експериментальні дослідження властивостей контурів налаштування для замкнутих систем автоматичного управління та розробка пропозицій щодо їх застосування.

При цьому були поставлені завдання:

- визначити базові компоненти систем стабілізації;
- дослідити принципи формування стабілізуючих моментів;
- визначити вимоги до систем настроювання;
- провести теоретичні дослідження контурів підсумовування;
- розробити математичну модель типової системи стабілізації;
- розробити стенд експериментальних досліджень контурів підсумовування та його програмне забезпечення;
- провести експериментальні дослідження контурів підсумовування;
- розробити пропозицій щодо застосування контурів підсумовування у замкнутих системах автоматичного керування.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТУРІВ ПІДСУМОВУВАННЯ

2.1 Формування моменту стабілізації за допомогою контурів підсумовування

Зміна експлуатаційної жорсткості й експлуатаційного демпфірування з метою забезпечення необхідної ефективності може бути покладена в основу експлуатаційних регулювань систем стабілізації об'єктів. Для зміни цих параметрів в системі автоматичного керування існують контури підсумовування. Але на практиці можливі декілька схемних рішень контурів, які можуть по різному впливати на створення моменту стабілізації. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження контурів підсумовування для визначення їх особливостей, та вибору оптимального для конкретної системи.

Контури підсумовування (КП) є функціонально необхідними елементами систем автоматичного керування (САК). Вони призначені для підсумовування сигналів, пропорційних відхиленням і швидкостям відхилення об'єкта керування.

На практиці КП виконуються як на резисторах, так і на підсумовуючих підсилювачах (рис. 2.1).

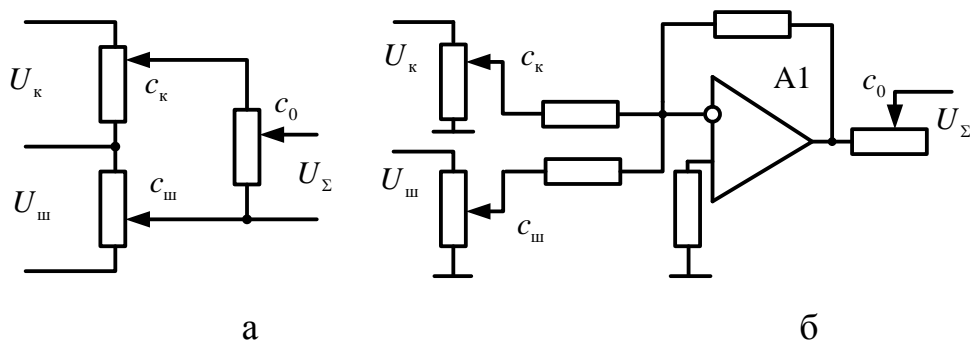


Рис. 2.1 Контури підсумовування:

а - на резисторах; б - на підсумовуючому підсилювачі

Структурна схема контуру представлена на рис. 2.2. Тут $0 < c_k < 1$, $0 < c_{\dot{\theta}} < 1$, $0 < c_0 < 1$ - передатні коефіцієнти потенціометрів, що залежать від положення їхніх рухливих контактів; U_k - сигнал, пропорційний, наприклад, кутовому відхиленню об'єкта керування; $U_{\dot{\theta}}$ - сигнал, пропорційний швидкості кутового відхилення об'єкта керування; U_{Σ} - сумарний сигнал.

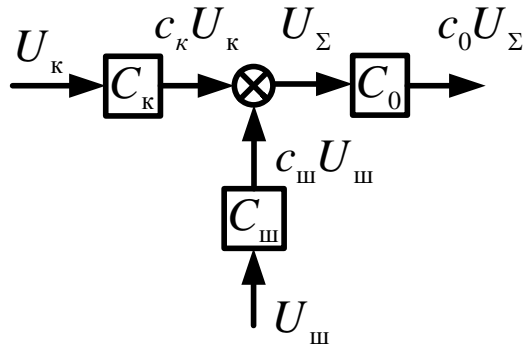


Рис. 2.2 Структурна схема контуру підсумовування

Розглянемо докладніше формування стабілізуючого моменту залежно від зміни регульованих параметрів системи. Найбільш наочне формування стабілізуючого моменту можна показати, вважаючи, що сумарний момент, що обурює, змінюється за гармонійним законом

$$M_{y\Sigma}(t) = M_{y\Sigma m} \sin \omega t .$$

У цьому випадку можливо для якої-небудь постійної частоти побудувати векторну діаграму моментів, показану на рис. 2.3.

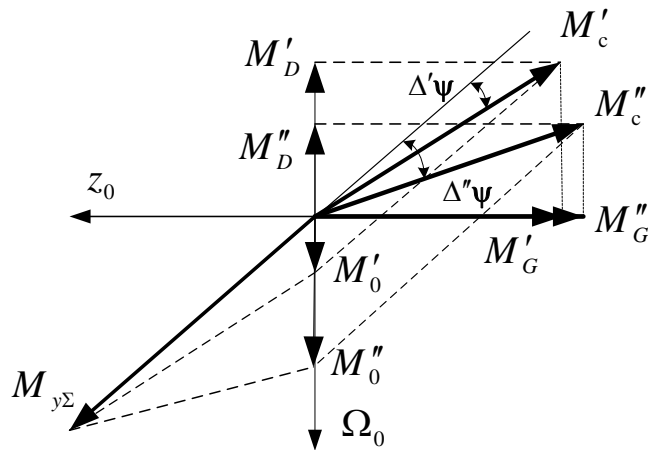


Рис. 2.3 Векторна діаграма моментів

На векторній діаграмі за початок відліку фазових кутів прийнятий напрямок вектора M_0 результуючого моменту, що діє на об'єкт керування. Якщо зневажити інерційністю об'єкта керування, то вектор його абсолютної кутової швидкості Ω_0 буде збігатися з напрямком вектора M_0 . Вісь переміщень z_0 об'єкта керування зміщена щодо вектора його абсолютної кутової швидкості на кут $-\frac{\pi}{2}$. Це

відповідає наявності в структурі системи ідеальної інтегруючої ланки. Вектор M_G збігається по фазі з лінією переміщень за умови, що інерційністю виконавчих пристроїв системи можна зневажити. Вектор M_D збігається по фазі з вектором абсолютної кутової швидкості Ω_0 . Тому що моменти M_G й M_D формуються в ланцюгах негативних зворотних зв'язків САК, то на векторній діаграмі їхньої фази змінені на 180^0 . Момент стабілізації M_c визначається векторною сумою моментів M_G і M_D .

На наведеній векторній діаграмі (рис.2.3) стабілізуючий момент M_c'' не повністю компенсує зовнішні збурювання $M_{y\Sigma}$. Це обумовлено тим, що амплітуди моментів M_c'' і $M_{y\Sigma}$ не рівні, а фазове зрушення між ними відрізняється від 180^0 . Внаслідок зазначених причин результуючий момент M_0'' відносно великий і відповідні йому відхилення об'єкта керування від заданого напрямку будуть значними.

Для зменшення помилок необхідно відрегулювати систему. Варто так змінити амплітуду й фазу стабілізуючого моменту, щоб забезпечувалася більше повна компенсація зовнішніх збурень. На рис. 2.3 показано, що, змінюючи значення передатних коефіцієнтів потенціометрів контуру підсумовування, можна зменшити складову стабілізуючого моменту M_G'' до значення, наприклад, M_G' , а складову M_D'' - збільшити до рівня M_D' . При такому регулюванні маємо $M_0' < M_0''$, тобто точність компенсації моменту, що обурює, зростає.

Виходячи з вищевикладеного, розглянемо можливості контурів підсумовування по зміні амплітуди й фази стабілізуючого моменту, тобто забезпеченню, в остаточному підсумку, оптимальності настроювань САК.

2.2 Дослідження контуру підсумовування $C_k - C_{\text{ш}}$

Контр підсумовування $c_k - c_{\text{ш}}$ представлений на рис. 2.4. З його допомогою регулюються сигнали датчика кута (ДК) – потенціометр c_k , і датчика швидкості (ДШ) – потенціометр $c_{\text{ш}}$. Коефіцієнт $c_0=1$ при цьому залишається постійним.

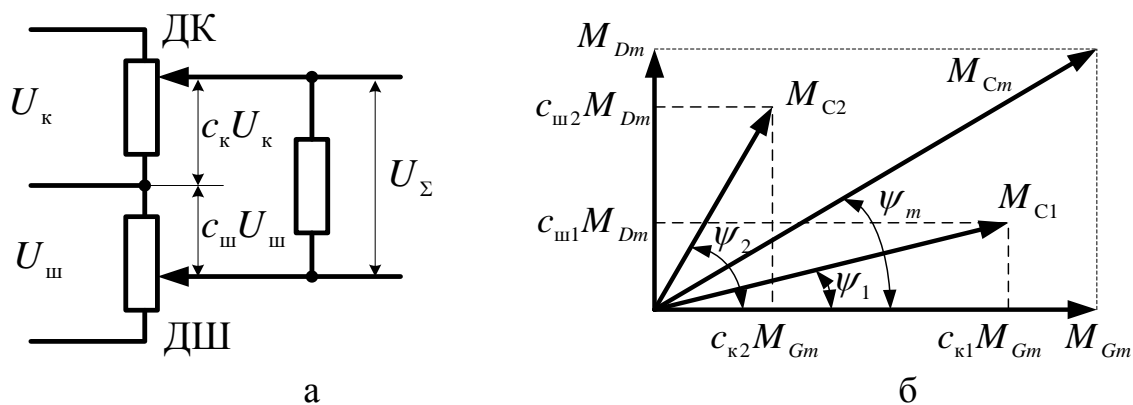


Рис. 2.4 Контур підсумовування c_k - $c_{ш}$:
а - схемне рішення; б - векторна діаграма

Переміщенням рухливих контактів потенціометрів $c_k, c_{ш}$ регулюються складові стабілізуючого моменту

$$M_G = c_k M_{Gm} \equiv c_k U_k \quad \text{і} \quad M_D = c_{ш} M_{Dm} \equiv c_{ш} U_{ш},$$

де M_{Gm} й M_{Dm} - модульні значення складових, обумовлені конструктивними жорсткістю G_m й демпфіруванням D_m системи відповідно.

Амплітуду M_c й фазу ψ стабілізуючого моменту знаходимо як

$$M_c = \sqrt{c_k^2 M_{Gm}^2 + c_{ш}^2 M_{Dm}^2};$$

$$\psi = \text{arctg} \frac{c_{ш} M_{Dm}}{c_k M_{Gm}}.$$

На підставі отриманих даних будується векторна діаграма контуру, що наведена на рис 2.4.б. Аналіз діаграми показує, що вектор \bar{M}_c стабілізуючого моменту залежно від значень регулювальних коефіцієнтів може займати будь-яке положення в паралелограмі $OM_{Dm}M_{Cm}M_{Dm}$. Його амплітуду можна змінювати від нуля (при $c_k=0, c_{ш}=0$) до максимального значення M_{Cm} (при $c_k=1, c_{ш}=1$), а фазовий кут ψ - від нуля (при $c_k=0, c_{ш}=0$) до 90° (при $c_k=0, c_{ш}=0$).

На рис. 2.5 наведені отримані автором часові діаграми розглянутого контуру. Аналіз діаграм підтверджує зроблені висновки.

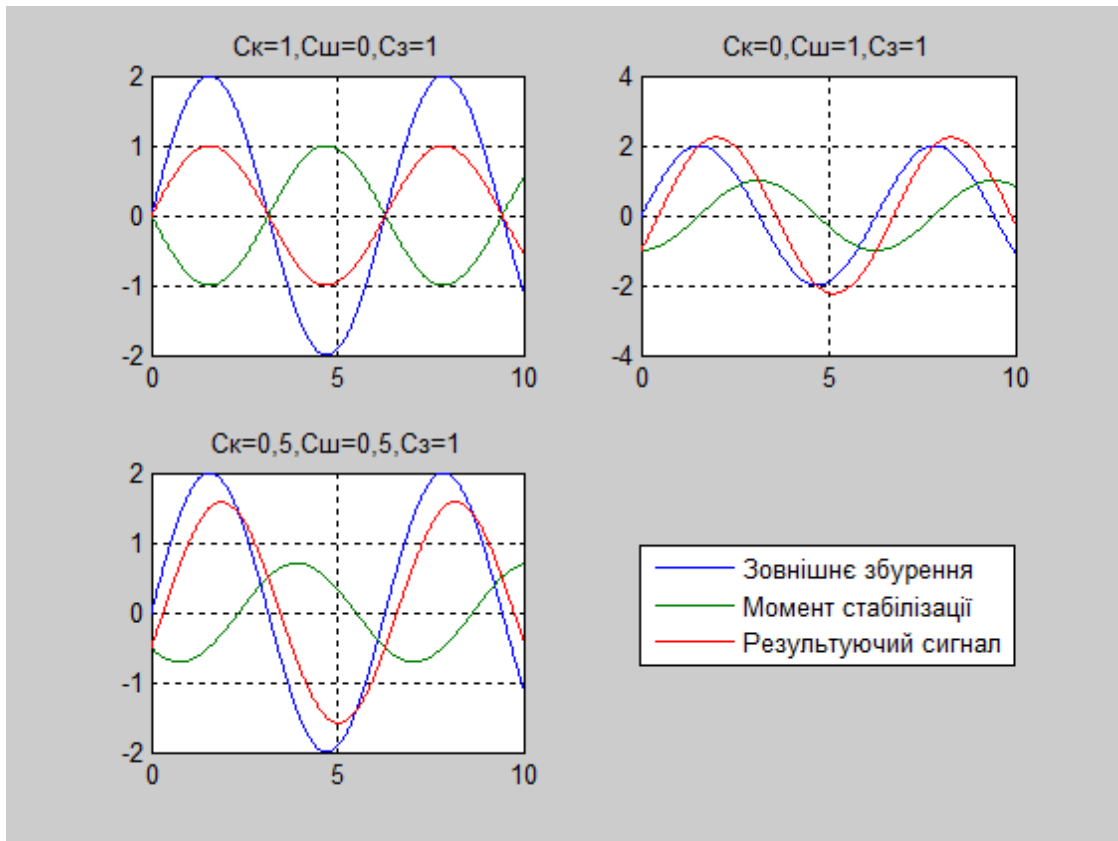


Рис. 2.5 Часові діаграми контуру $c_k - c_{ш}$

2.3 Дослідження контуру підсумовування $C_k - C_0$

Контр підсумовування $C_k - C_0$ (Рис. 2.6) забезпечує регулювання сигналу датчика кута (ДК) за рахунок зміни передатного коефіцієнта C_k й сумарного сигналу (ЗАГ) датчиків кута й швидкості за рахунок зміни передатного коефіцієнта C_0 .

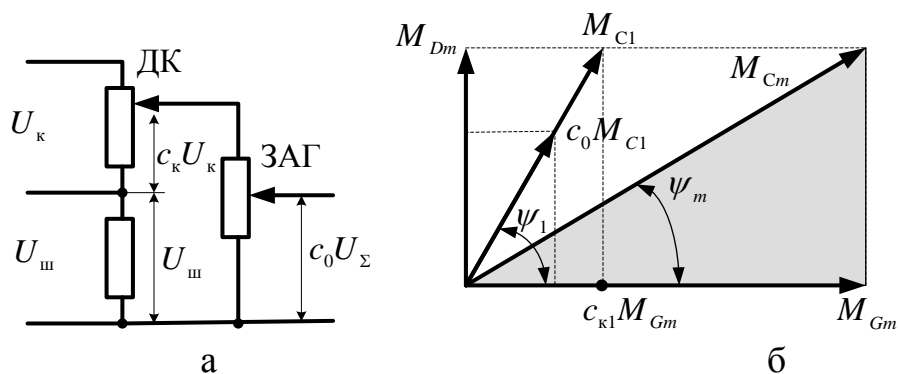


Рис. 2.6 Контур підсумовування $c_k - c_0$:

а - схемне рішення; б - векторна діаграма

Аналіз векторної діаграми показує, що даний контур дозволяє змінювати

амплітуду стабілізуючого моменту $M_c = c_0 \sqrt{c_k^2 M_{Gm}^2 + M_{Dm}^2}$ в діапазоні від $M_c = 0$ при $c_0 = 0$ до максимального значення M_{cm} при $c_k = 1, c_0 = 1$.

Фаза стабілізуючого моменту $\psi = \arctg \frac{M_{Dm}}{c_k M_{Gm}}$ змінюється від значення ψ_m при $c_k = 1$ до $\psi = 90^\circ$ при $c_k = 0$.

Таким чином, розглянутий контур забезпечує більше вузький діапазон зміни фази стабілізуючого моменту в порівнянні з контуром $c_k - c_{ш}$. Це показано на отриманих часових діаграмах рис. 2.7.

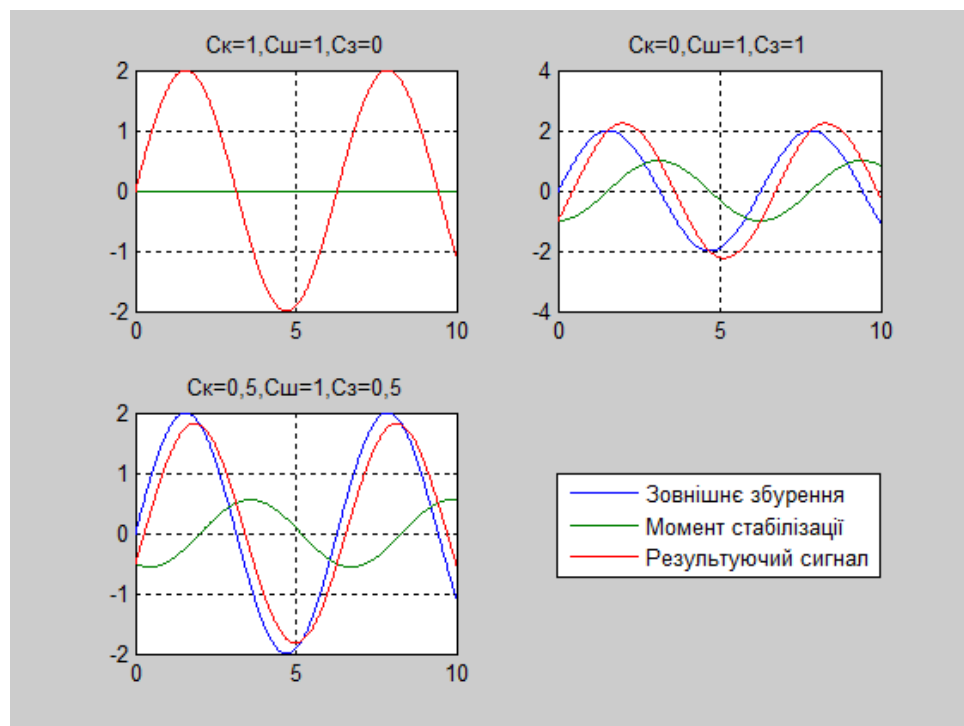


Рис. 2.7 Часові діаграми контуру $c_k - c_0$

2.4 Дослідження контуру підсумовування $C_{ш} - C_0$

Регулювання сигналу датчика швидкості (ДШ) і загального (ЗАГ) сигналу датчиків кута й швидкості дозволяє виконати контур, виконаний за схемою, наведеної на рис. 2.8а.

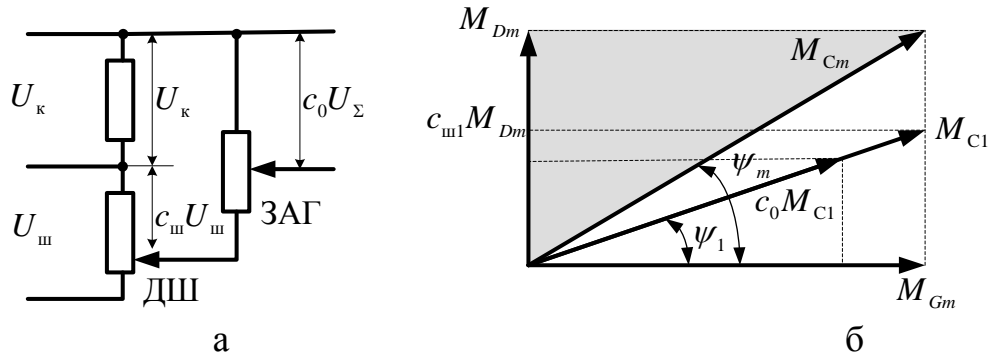


Рис. 2.8 Контур підсумовування $c_{ш} - c_0$:
а - схемне рішення; б - векторна діаграма

Застосування даного контуру дозволяє варіювати амплітудою стабілізуючого моменту $M_c = c_0 \sqrt{M_{Gm}^2 + c_{ш}^2 M_{Dm}^2}$ від нуля при $c_0 = 0$ до значення M_{Cm} при $c_{ш} = 1$, $c_0 = 1$. Діапазон регулювання фази $\psi = \arctg \frac{c_{ш} M_{Dm}}{M_{Gm}}$ стабілізуючого моменту дорівнює $0 - \psi_m$ при $c_{ш} = 0 - 1$ відповідно. Він досить обмежений, особливо при $M_{Dm} \ll M_{Gm}$. Часові діаграми для цього контуру при різних значеннях коефіцієнтів приведені на рис 2.9

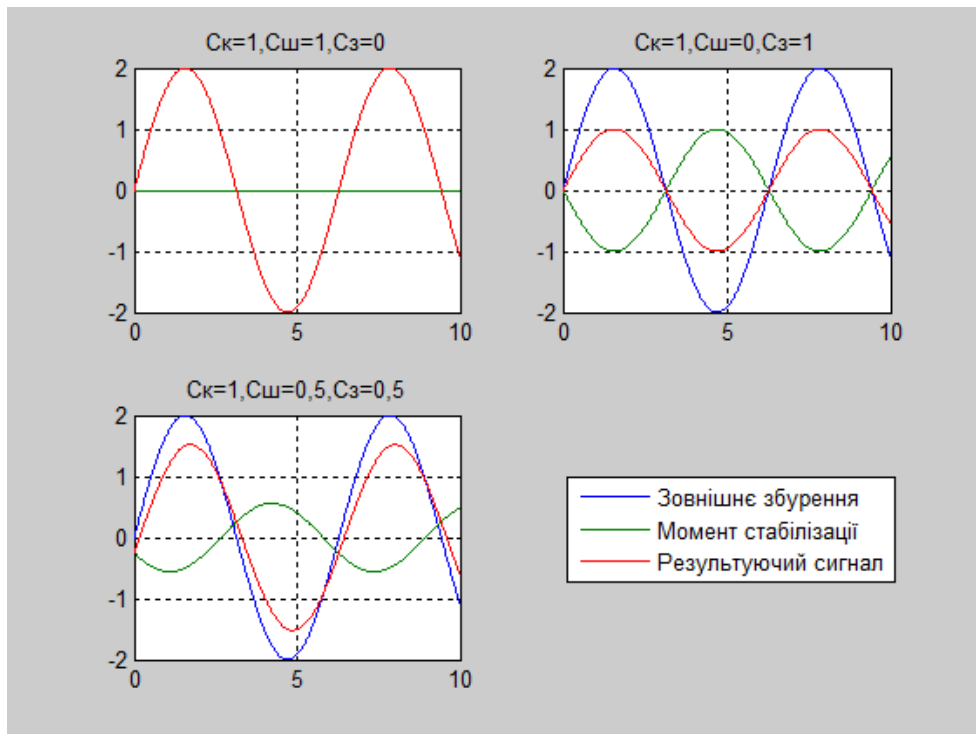


Рис. 2.9 Часові діаграми контуру $c_{ш} - c_0$

2.5 Дослідження контуру підсумовування C_0

Датчики кута й швидкості неминуче мають власні помилки. Заміна одного з датчиків інтегральною статичною схемою дозволяє підвищити точність САК в цілому. Наприклад, сигнал, пропорційний швидкості відхилення об'єкта керування, може бути отриманий диференціюванням сигналу датчика відхилення.

Підсумовуючи сигнал датчика кута U_k й отриманий диференціюванням сигнал $U_{ш}$, пропорційний швидкості, маємо класичний сумарний сигнал U_{Σ} формування стабілізуючого моменту. Схема контуру підсумовування наведена на рис 2.10.а. Його використання крім підвищення точності системи забезпечує можливість її регулювання за допомогою одного потенціометра c_0 .

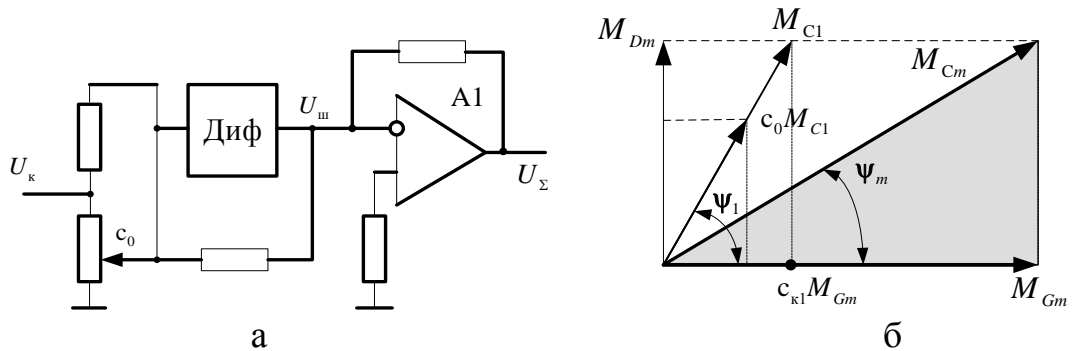


Рис. 2.10 Контур підсумовування C_0 :

а - схемне рішення; б - векторна діаграма

Знайдемо сигнал на виході контуру підсумовування

$$U_{\Sigma} = c_0 U_k + s(U_k + c_0 U_k) = c_0 U_k + (1 + c_0) U_{ш},$$

де $U_{ш} = s U_k$.

Отже, переміщенням потенціометра c_0 одночасно можна регулювати й амплітуду й фазу стабілізуючого моменту

$$M_c = \sqrt{c_0^2 M_{Gm}^2 + (1 + c_0)^2 M_{Dm}^2};$$

$$\psi = \arctg \frac{(1 + c_0) M_{Dm}}{c_0 M_{Gm}}.$$

Векторна діаграма контуру наведена на рис 2.10.б. Її аналіз показує, що контур c_0 дозволяє змінювати амплітуду стабілізуючого моменту від значення

$M_c = M_{Dm}$ при $c_0 = 0$ до значення $M_c = M_{Cm}$ при $c_0 = 1$. При цьому діапазон зміни фази складе $90^\circ - \psi_m$.

Слід зазначити, що по своїх характеристиках розглянутий контур багато в чому аналогічний контуру $c_k - c_0$. На рисунку 2.11 представлені векторні діаграми що підтверджують дані аналізу.

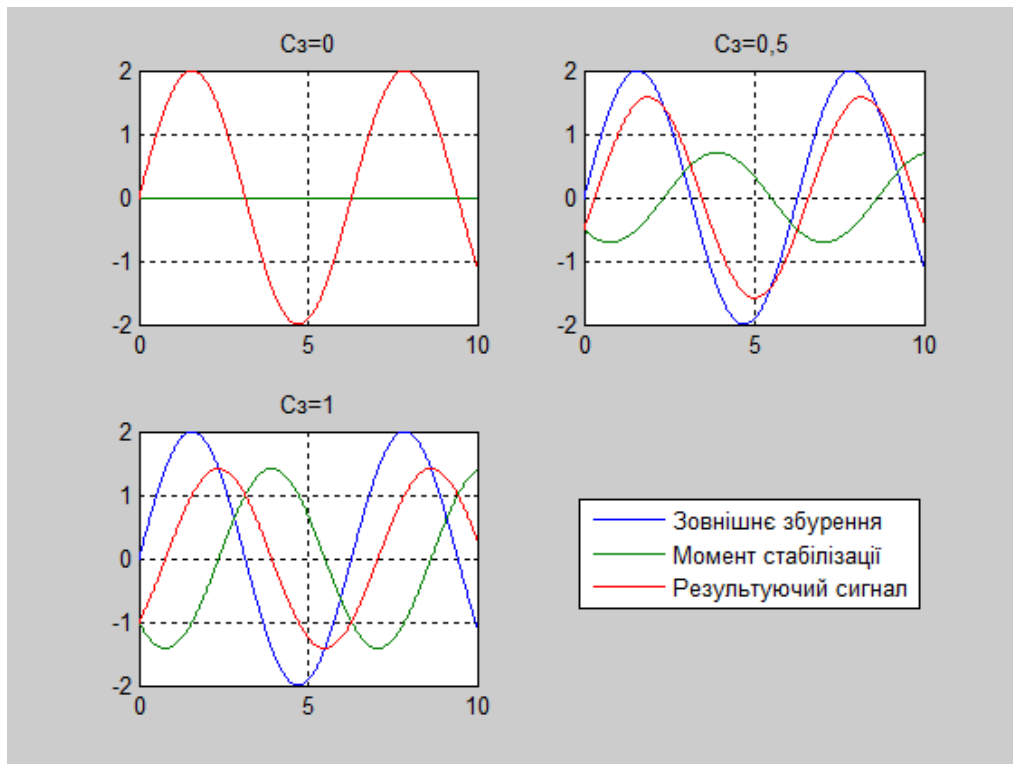


Рис. 2.11 Часові діаграми контуру c_0

Розглянуті контури підсумовування дозволяють так сформувати момент стабілізації, що помилка системи в середньому буде мінімальною.

Контур підсумовування $c_k - c_{ш}$ забезпечує найбільш широкий діапазон регулювання амплітуди й фази стабілізуючого моменту.

На практиці основне значення мають регулювання з більшими величинами фазових зрушень. Незважаючи на те, що контур $c_k - c_0$ забезпечує більше вузький діапазон зміни фази стабілізуючого моменту в порівнянні з контуром $c_k - c_{ш}$, він також використовується в системах стабілізації де регулюється фазові зрушення.

Контур $c_{ш} - c_0$ доцільно застосовувати в САУ з невеликою конструктивною G_m жорсткістю й підвищеним конструктивним демпфіруванням

D_m . Цей контур має обмеження діапазону регулювання фази стабілізуючого моменту, особливо при $M_{Dm} \ll M_{Gm}$.

Переваги контуру c_0 у підвищенні точності САУ. Також перевагою використання цього контуру є простота настройки системи.

Для підтвердження приведених вище даних, та для вироблення рекомендацій, щодо вибору оптимально контуру підсумовування для конкретної системи, необхідно провести експеримент. Це також дасть змогу вивчити характеристики впливу середовища на досліджуваний об'єкт, ідентифікувати статистичні й динамічні параметри об'єктів, оцінити ефективність функціонування об'єкта досліджень, перевірити його на відповідність заданим вимогам тощо.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ

3.1. Методика моделювання із застосуванням рівнянь Лагранжа другого роду

Модель руху об'єкту, представлена рівнянням Лагранжа другого роду, у загальному випадку має вигляд

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{\Sigma}}{\partial \Omega_{qi}} \right) - \frac{\partial T_{\Sigma}}{\partial q_i} = Q_i,$$

де T_{Σ} - сумарна кінетична енергія розглянутої динамічної системи; q_i , $\Omega_{qi} = dq_i/dt$ - узагальнена координата і її похідна; Q_i - узагальнені зовнішні впливи на динамічну систему по обраній координаті.

Таким чином, для одержання моделі необхідно визначити в першу чергу кінетичну енергію платформи.

Після проведення розрахунків та перетворень, які наведено у літературних джерелах, з урахуванням характеру кінематичних зав'язків об'єкту керування й рухомої основи, можуть бути визначені свої моделі. У загальному випадку, для трьох площинної стабілізації об'єкту керування маємо

$$\left. \begin{aligned} J_{\text{екв}}^x \frac{d\Omega_n^{\Phi}}{dt} &= J_{\text{дх}} \xi_{\text{дх}} i_{\text{нх}}^2 \frac{d\Omega_x}{dt} + M_{\text{fn}}^{\Phi} + M_{\text{qn}}^{\Phi} + M_{\text{jn.n}}^{\Phi} + M_{\text{cn}}^{\Phi} \\ J_{\text{екв}}^y \frac{d\Omega_n^{\Upsilon}}{dt} &= J_{\text{дy}} \xi_{\text{дy}} i_{\text{ny}}^2 \frac{d\Omega_y}{dt} + M_{\text{fn}}^{\Upsilon} + M_{\text{qn}}^{\Upsilon} + M_{\text{jn.n}}^{\Upsilon} + M_{\text{cn}}^{\Upsilon} \\ J_{\text{екв}}^z \frac{d\Omega_n^{\Psi}}{dt} &= J_{\text{дз}} \xi_{\text{дз}} i_{\text{nz}}^2 \frac{d\Omega_z}{dt} + M_{\text{fn}}^{\Psi} + M_{\text{qn}}^{\Psi} + M_{\text{jn.n}}^{\Psi} + M_{\text{cn}}^{\Psi} \end{aligned} \right\},$$

де $J_{\text{екв}}$ - головні моменти інерції об'єкту керування; Ω - абсолютна кутова швидкості об'єкту керування; M_{qn} - сумарний гравітаційний момент, обумовлений неврівноваженістю об'єкту керування; M_{fn} - сумарний момент, що обурює, від сил тертя в виконавчому приводі; M_{c} - стабілізуючий момент, що розвивається виконавчим приводом; M_{jn} - інерційний момент, обумовлений наявністю

неврівноваженості об'єкту керування; $J_{\xi_d} i_n^2 \frac{d\Omega}{dt}$ - наведена до осі об'єкту керування кінетична енергія виконавчого приводу з урахуванням інерційності обертових частин редуктора ξ_d і його передатного коефіцієнта i_n .

Математична модель є основою структурного аналізу об'єкта керування системи стабілізації.

Накладаючи обмеження на цю модель, згідно з вищевказаною методикою можуть бути отримані моделі власне стабілізованої основи.

3.2 Розробка моделей об'єктів керування

Розглянемо об'єкт керування, стабілізований щодо рухливої основи у вертикальній площині. Рівняння руху даного об'єкта, отримане на підставі вищевикладеної методики має вигляд:

$$J_o \frac{d\Omega_o}{dt} + f_o \Omega_{\text{фк}} = f_o \Omega_{\text{фк}} - M_c = M_{y_o} - M_c = M_o,$$

де $M_{y_o} = f_o \Omega_{\text{фк}}$ - момент, що обурює ; $M_o = M_{y_o} - M_c$ - результуючий момент, що діє на об'єкта керування.

Кут повороту об'єкта керування визначається як інтеграл від абсолютної кутової швидкості об'єкта керування

$$\varphi_o = \int \Omega_o dt .$$

Записуючи рівняння в операторній формі, одержимо систему рівнянь руху стабілізованого об'єкта керування у вертикальній площині

$$\left. \begin{aligned} (J_o s + f_o) \Omega_o &= M_o ; \\ M_o &= f_o \Omega_{\text{фк}} - M_c ; \\ \varphi_o &= \frac{1}{s} \Omega_o . \end{aligned} \right\} .$$

Ці рівняння можна бути представлені відповідними передатними функціями.

$$W_{o1}(s) = \frac{\Omega_o}{M_o} = \frac{k_o}{T_o s + 1}, \quad W_{o2}(s) = \frac{\varphi_o}{\Omega_o} = \frac{1}{s},$$

де $k_o = \frac{1}{f_o}$ - передатний коефіцієнт ; $T_o = \frac{J_o}{f_o}$ - постійна часу об'єкта керування.

З огляду на, що передатні функції $W_{o1}(s)$ й $W_{o2}(s)$ відбивають послідовність визначення регульованих величин, знайдемо повну передатну функцію об'єкта керування

$$W_o(s) = \frac{\Phi_o}{M_o} = W_{o1}(s)W_{o2}(s) = \frac{k_o}{(T_o s + 1)s}.$$

Відповідна структурна схема системи наведена на рис. 3.1.

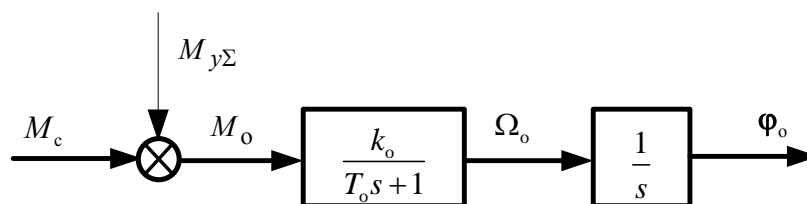


Рис.3.1 Структурна схема об'єкта керування

Таким чином, об'єкт керування можна представити як послідовне з'єднання інерційної ланки першого порядку, що перетворить результуючий момент M_o в абсолютну кутову швидкість Ω_o , і ідеального інтегруючої ланки, що перетворить цю швидкість у відповідний кут Φ_o . Передатний коефіцієнт k_o і постійна часу T_o повністю визначаються конструктивними параметрами об'єкта керування.

Якщо об'єкт керування стабілізований в горизонтальній площині, то рівняння його руху може бути знайдене у вигляді

$$J_\Sigma \frac{d\Omega}{dt} + f_\Sigma \Omega = f_\Sigma \Omega_{\psi k} + M_{н\Sigma} + M_{увп} - M_c = M_{y\Sigma} - M_c = M,$$

де $M_{y\Sigma} = f_\Sigma \Omega_{\psi k} + M_{н\Sigma} + M_{увп}$ - сумарний момент, що обурює; $M = M_{y\Sigma} - M_c$ - результуючий момент.

Диференціальне рівняння дозволяє знайти абсолютну кутову швидкість об'єкта керування в горизонтальній площині.

Система рівнянь, що описують рух об'єкта керування, в операторній формі

має вигляд

$$\left. \begin{aligned} (J_\Sigma s + f_\Sigma)\Omega &= M \\ M &= M_{y\Sigma} - M_c \\ \Psi &= \Omega/s \end{aligned} \right\}.$$

На підставі останньої системи рівнянь визначається передатна функція об'єкта керування

$$W(s) = \frac{\Psi_o}{M_o} = \frac{\Psi}{M_{y\Sigma} - M_c} = \frac{k}{(Ts + 1)s}$$

і будується її структурна схема:

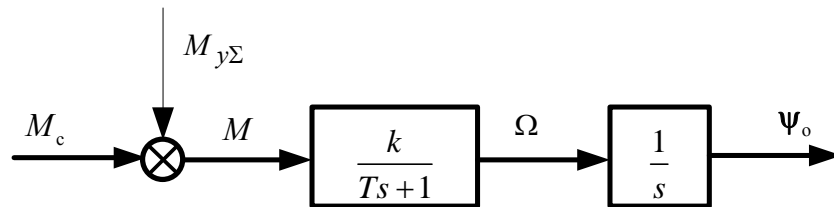


Рис.3.2 Структурна схема об'єкта керування в горизонтальній площині

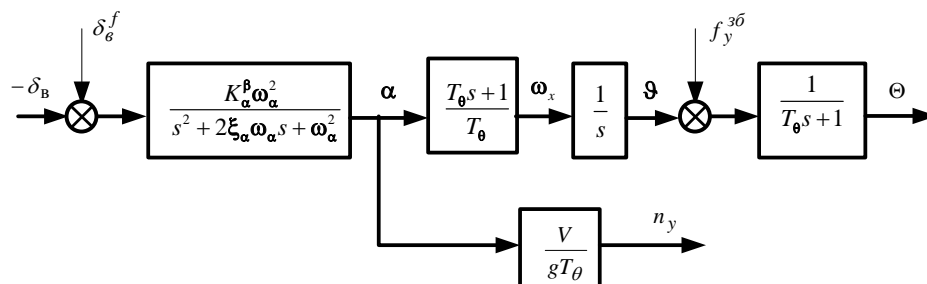
Передатний коефіцієнт $k = \frac{1}{f_\Sigma} = \frac{1}{f + f_d} = \frac{1}{f + f_d i^2}$ і постійна часу

$T = \frac{J_\Sigma}{f_\Sigma} = \frac{J + J\xi_p i^2}{f + f_d i^2}$ визначаються конструктивними параметрами об'єкта

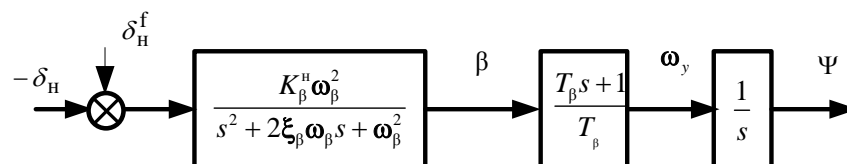
керування.

У випадку стабілізації властиво основи об'єкта керування, наприклад літака, його структурні схеми мають вигляд:

- для поздовжнього руху основи



- для бічного руху основи



З урахуванням взаємозв'язку кутів нахилу траєкторії Θ й тангажу ϑ $\alpha = \vartheta - \Theta$, $\dot{\vartheta} = \omega_z$, структурні схеми приводяться до виду, представленому на рисунку 3.3.

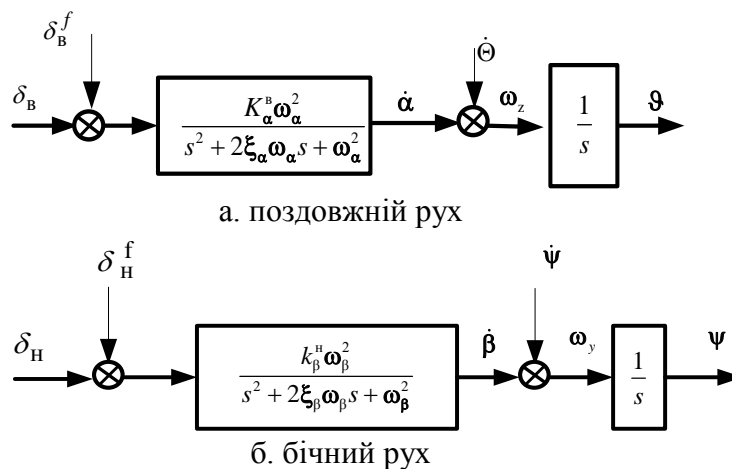


Рис. 3.3 Структурні схеми основи, що стабілізується

Аналіз структурних схем розглянутих об'єктів керування показує їхню повну аналогію, тобто вони в загальному випадку можуть бути представлені у вигляді інерційних динамічних ланок другого порядку. У цьому випадку при моделюванні систем стабілізації може бути використана структурна схема типового об'єкта керування, яку надано на рис. 3.4.

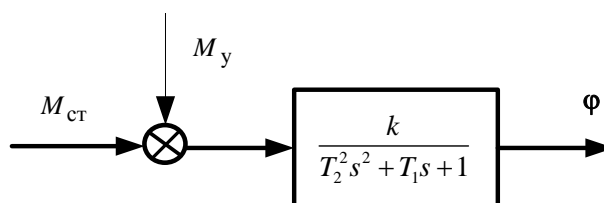


Рис. 3.4 структурна схема типового об'єкта керування

Для переходу до досліджуваних об'єктів керування досить у типову структурну схему, підставити параметри конкретної системи.

3.3 Розробка моделей функціональних елементів систем стабілізації

Системи стабілізації можуть складатися з різних по фізичній природі, конструкції й параметрам елементів. Однак процеси регулювання, що протікають у цих системах, описуються схожими диференціальними рівняннями. Внаслідок цього їх структурні схеми аналогічні, що дозволяє провести узагальнений структурний аналіз систем стабілізації й одержати типову структурну схему, єдину для всіх аналогічних систем.

Для одержання структурної схеми розглянемо передатні функції основних елементів типової системи стабілізації.

Гіроскопічні датчики кута й швидкості

Гіроскопічний датчик кута ДК, за допомогою якого задається напрямок об'єкта стабілізації φ_3 й вимірюється неузгодженість $\theta_o = \varphi_3 - \varphi_o$, при роботі в режимі стабілізації є практично без інерційною ланкою). Його передатна функція має вигляд

$$W_{\text{дк}} = \frac{U_y}{\theta_o} = \frac{u_y}{\varphi_3 - \varphi_o} = k_{\text{отк}},$$

де $k_{\text{отк}}$ - передатний коефіцієнт обертового трансформатора $OT_{\text{дк}}$ датчика кута.

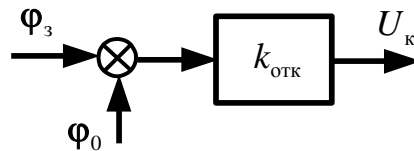


Рис. 3.5 Структурна схема датчика кута

Гіроскопічний датчик швидкості ДШ, що вимірює абсолютну кутову швидкість об'єкта, є інерційною ланкою другого порядку. Його передатна функція

$$W_{\text{дш}}(s) = \frac{u_{\text{дш}}}{\Omega_o} = \frac{k_{\text{отш}} \frac{H}{C_T}}{T_4^2 s^2 + T_3 s + 1},$$

де $T_4 = \sqrt{\frac{J_y}{C_T}}$ й $T_3 = \frac{f_y + f_d}{C_T}$ - постійні часу гіроскопічного датчика швидкості з демпфером.

Відповідно до отриманої передатної функції, структурна схема датчика швидкості може бути знайдена як

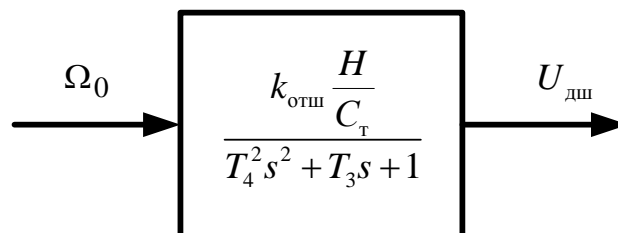


Рис. 3.6 Структурна схема датчика швидкості

Контур підсумовування й регулювань сигналів керування

Контур підсумовування КП призначений для підсумовування сигналів датчиків кута й швидкості. Контур підсумовування є вхідним контуром електронного підсилювача системи.

Величини передатних коефіцієнтів C_k , $C_{ш}$ і C_o потенціометрів контуру підсумовування залежать від положення їхніх движків і можуть мінятися від нуля до одиниці.

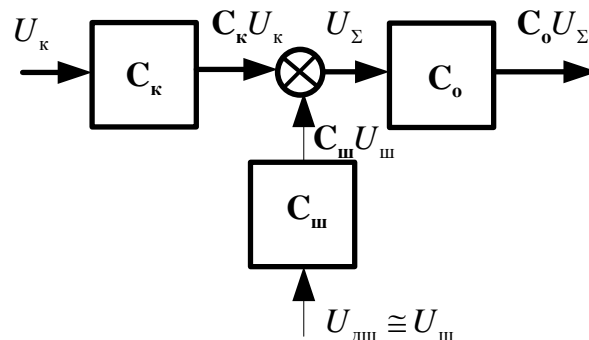


Рис. 3.7 Структурна схема контуру підсумовування

Електронний підсилювач

Електронні підсилювачі систем стабілізації призначені для посилення сигналів керування по амплітуді й потужності і їх фазочутливого випрямлення.

Звичайно до складу електронних підсилювачів входять:

- два-три каскади підсилювачів напруги ;
- фазочутливий каскад (фазочутливий підсилювач ФЧП);
- каскади підсилювача потужності.

Вихідний каскад електронного підсилювача, як правило, виконується за диференціальною схемою. Вихідним сигналом електронного підсилювача є різниця Δi струмів в обмотках попереднього підсилювача виконавчого привода системи. Електронний підсилювач практично безинерційний. Його передатний

коефіцієнт дорівнює $K_{еп} = \frac{\Delta i}{u_{.1}}$.

Виконавчі приводи систем стабілізації

Всі типи електромашинних і електрогідравлічних виконавчих приводів систем стабілізації аналогічні по своїх статичних характеристиках і динамічних

властивостях і мають схожі структурні схеми. У загальному випадку виконавчі приводи можуть бути представлені типовими динамічними ланками другого порядку

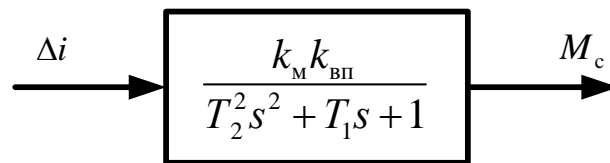


Рис. 3.8 Структурна схема типового виконавчого приводу

3.4 Розробка моделі системи стабілізації

Поєднуючи наведені вище передатні функції елементів відповідно до функціональної схеми, одержимо узагальнену схему типової системи стабілізації. У результаті перетворень схема може бути наведена до виду, представленому на рисунку 3.9.

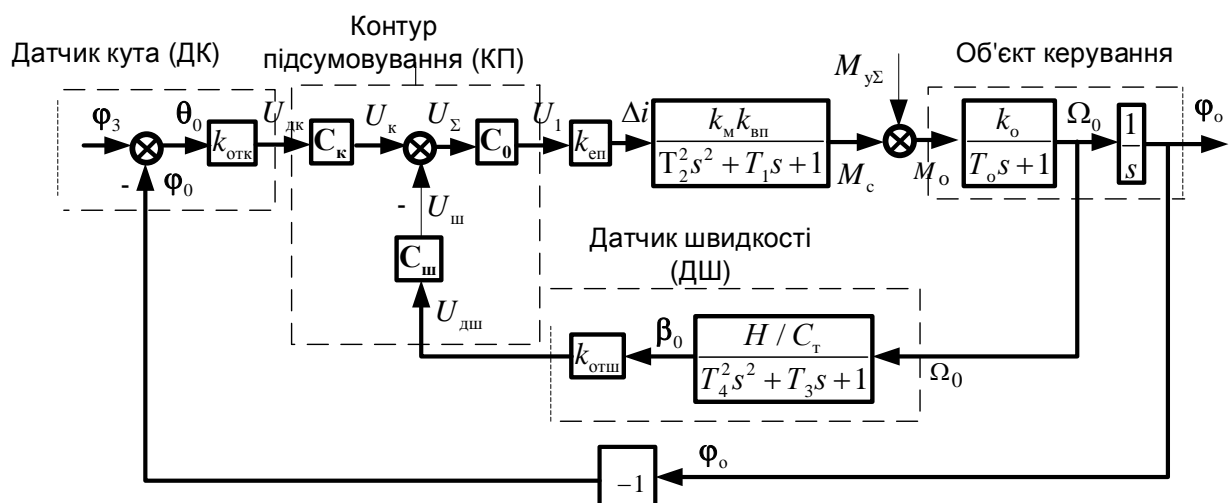


Рис. 3.9 Структурна схема системи стабілізації

Узагальнена структурна схема показує, що система стабілізації є позиційною системою автоматичного регулювання за кутом розузгодження об'єкта керування щодо заданого напрямку та має:

- контур зовнішнього жорсткого негативного зворотного зв'язку по кутові, обумовлений установкою гіроскопічного датчика кута на об'єкті стабілізації;
- контур гнучкого негативного зворотного зв'язку по кутовій швидкості, обумовлений наявністю в системі гіроскопічного датчика швидкості об'єкта керування.

Аналіз узагальненої структурної схеми стабілізатора дозволяє зробити якісну оцінку загальних властивостей розглянутих систем. Для використання отриманих загальних співвідношень при кількісних розрахунках для кожного конкретного випадку повинні бути визначені числові значення всіх передатних коефіцієнтів і постійних часу досліджуваної системи, а так само значення сумарного моменту, що $M_{y\Sigma}$ обурює, або його основних складових.

РОЗДІЛ 4

ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Вибір методу проведення експерименту

Залежно від повноти відтворення досліджуваного об'єкта й навколишнього середовища розрізняють наступні види наукового експерименту: натурний, напівнатурний і імітаційний.

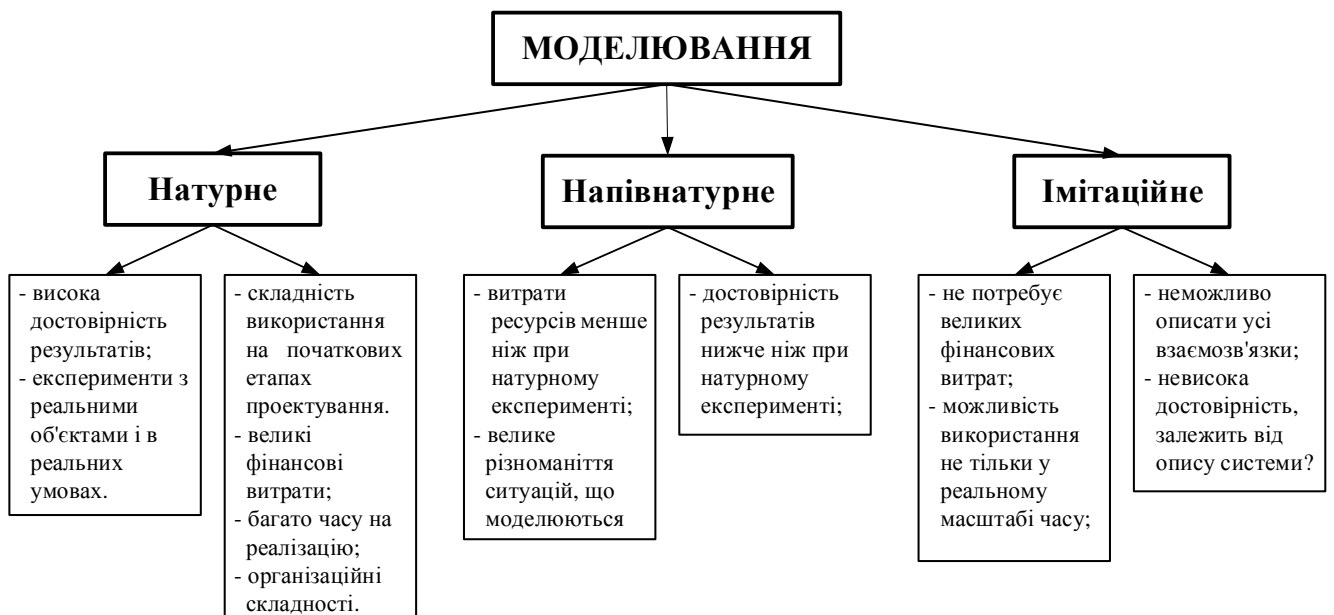


Рис. 4.1 Види моделювання

Мета натурального експерименту - наблизити наукові дослідження до практики природного функціонування досліджуваного об'єкта. При цьому повністю або частково знімаються питання моделювання середовища, імітації складної невизначеності, установлення системних взаємозв'язків і багато хто інші. Однак якісна підготовка й проведення повномасштабного натурального експерименту порію вимагає багатьох років кропіткої роботи й чималих засобів.

Природним спрощенням поставленого завдання є перехід до напівнатурного експерименту, у якому найбільш важлива для дослідника частина досліджуваних процесів відтворюється, а інша частина - імітується.

І, нарешті, третім (знизу) щаблем експериментальних робіт є імітаційне моделювання на ЕОМ. Даний підхід є самим доступним, самим недорогим і

самим комфортним. Однак необхідно не просто моделювати об'єкт дослідження й навколишнє середовище, але ще й переконливо обґрунтовувати ступінь подоби програмних моделей їхнім фізичним прототипам. Необхідно, щоб експерти повірили отриманим висновкам: адже програма дає тільки те, що в неї заклад її автор.

Натурний експеримент

Мета натурального експерименту - досліджувати синтезовану систему в умовах, максимально наближених до тих, у яких її передбачається застосовувати. Так, для військової системи в ролі такого експерименту можуть виступати військові маневри, для технічної - цикли випробувань і т.п. У зв'язку із цим найважливішою проблемою проведення експерименту є забезпечення достатнього ступеня адекватності експериментальних умов реаліям наступного застосування досліджуваного об'єкта.

Проблему адекватності можна сформулювати в термінах функціональних відображень. Із цією метою досліджувана система представляється у вигляді оператора, що перетворить функції із простору вихідних даних у деякий інший простір функцій або функціоналів, що задовольняють мети системи. Потрібно знайти операторний опис системи в іншому просторі, що дозволяє перетворити функції в оцінки функцій і функціоналів.

Незважаючи на зовнішню простоту описової процедури рішення проблеми адекватності її реалізація в більшості випадків зв'язана зі значними теоретичними й технічними труднощами, особливо при розгляді складних систем натурального експерименту.

Природно, що синтез системи є результатом цілеспрямованої поетапної діяльності, кінцева мета якої - якісна й кількісна оцінки ефективності реалізації поставленої перед системою мети. Тому необхідно спланувати процес натурального експерименту, вибрати необхідне (і доступне) устаткування, провести властиво експеримент, обробити й проаналізувати отримані результати.

Отримані в результаті експерименту дані підлягають обробці, що припускає вибір форми подання результатів, розробку алгоритмів оперативної, первинної, вторинної й повної обробки результатів, програмно-математичного забезпечення,

розробку моделі системи й т.п. Процедура аналізу результатів експериментів містить у собі вибір критеріїв оцінки результатів, розробку методів прогнозування технічного стану досліджуваного об'єкта, вибір критеріїв ухвалення рішення й форм подання результатів аналізу.

Природно, що організація науково-технічного забезпечення експерименту неможлива без використання досягнень математичних і фізико-технічних наук в області дослідження системи. Оскільки дослідження складних систем являють собою сукупність статистичних експериментів, то при рішенні проблем натурного експерименту значне місце займають наукові напрямки, пов'язані з математичною статистикою.

Наукові проблеми, які виникають при проведенні натурних експериментів, настільки різноманітні, що питання створення загальної теорії експерименту практично залишається відкритим.

У випадку, коли система занадто складна для цілісного вивчення, але має природну ієрархічну впорядкованість, з'являється можливість її поділу на ряд підсистем.

Однієї з найважливіших завдань натурного експерименту є встановлення припустимих меж зміни фізичних параметрів і оцінка впливу на них факторів, пов'язаних із зовнішніми умовами функціонування окремих складових. Виробляється оцінка взаємодії взаємозалежних елементів і підсистем, виявлення відмов, викликаних особливостями досліджуваної системи.

Імітаційне моделювання

Складні системи вкрай неохоче піддаються строгому аналізу. Багатомірність, взаємозв'язок, неоднозначність реакцій, неспостереженість... і безліч інших неприємностей підстерігають дослідника на кожному кроці. А натурний і навіть напівнатурний експеримент дорогий і довгий. Визначення імітаційного моделювання, як процесу формування моделей реальних об'єктів і постановки на них експериментальних досліджень. При цьому метою таких досліджень є різноманітні під задачі системного аналізу:

- опис поведінки системи;
- дослідження поведінки системи в умовах різних обмежень і збурювань;

- оцінка стратегій, що забезпечують функціонування даної системи;
- побудова гіпотез і теорій, що пояснюють те або інше поведження системи;
- ідентифікація структури системи й оцінка її параметрів;
- прогнозування стану системи і її поведження в майбутньому;
- аналіз застосовуваних критеріїв якості системи й т.п.

Напівнатурний експеримент

Напівнатурне моделювання - це моделювання з реальною апаратурою, при якому частина системи моделюється, а інша частина є реальною.

Застосування такого методу моделювання стає необхідним у тих випадках, коли не вдається описати роботу деяких елементів системи математично. Наприклад, при дослідженні радіолокаційних (РЛ) САК літальних апаратів в умовах перешкод процес прийому й передачі антеною відбитого сигналу важко піддається математичному опису. Тому доводиться РЛ і іншу апаратуру, що не піддається математичному опису, відтворювати в натурі, а інші ланки САК - математично на ЕОМ. Природно робота всієї замкнутої схеми моделювання повинна проходити у натуральному масштабі часу. Таке моделювання системи керування дозволяє аналізувати як всю систему в цілому, так і окремі її елементи, досліджувати впливу кінематики й динаміки елементів реальної апаратури на роботу САК, незважаючи на те, що їхній математичний опис відсутній.

У процесі напівнатурного моделювання вдало сполучаються достоїнства математичного й натурального моделювання й може бути досягнута оптимальна взаємодія між обчислювальними й натурними експериментами. У цей час методи напівнатурного моделювання ефективно застосовують при проектуванні різноманітних автоматичних керуючих систем.

У цей час практично у всіх областях знань спостерігається тенденція переносу центра ваги наукових досліджень із експериментальних робіт на імітаційне моделювання, що базується на використанні вискоєфективної комп'ютерної техніки. Причина цього явища зовсім очевидна - натурний експеримент украй дорогий і складний. Але й відмовлятися від нього повністю не можна, адже неможливо в комп'ютерній програмі передбачити вплив всіх

існуючих факторів і взаємозв'язків, тим більше, що багато хто з них просто не виявлені й не вивчені.

Варто помітити, що моделювання володіє не тільки економічною привабливістю. Дуже часто просто не вдається провести належний натурний експеримент, що реально відображає функціонування складної системи в цілому або окремих її підсистемах. У цих випадках при проведенні натурних досліджень доводиться створювати деяку імітаційну обстановку, що забезпечує повноту й вірогідність одержуваного результату шляхом залучення до досліджень методів моделювання. Однак це накладає певні вимоги на організаційну схему експериментальних досліджень, які в загальному випадку повинні проводитися в наступному порядку:

- розробка моделі систем натурного експерименту;
- складання програм і проведення моделювання для відпрацювання плану експериментів і їхньої оптимізації;
- проведення натурного експерименту в імітаційній обстановці;
- уточнення на основі експериментальних даних розробленої моделі й програм моделювання;
- супровідне моделювання для збільшення обсягу статистичних даних і прогнозування результатів натурних експериментів;
- розробка моделі системи натурного експерименту й складання програм моделювання з урахуванням реальних умов функціонування об'єкта;
- моделювання для оцінки ефективності функціонування об'єкта в реальних умовах.

Поза залежністю від виду моделювання й крім робіт, пов'язаних з постановкою завдання, вибором критеріїв оцінки й методів оптимізації, реалізації моделей у вигляді програм або схем моделювання, їхнього налагодження й проведення моделювання, найважливішим завданням є розробка моделей, що об'єктивно відбиває процеси, що підлягають вивченню.

Варто помітити, що декомпозиція завдання на натурну й частину, що моделюється, відбувається досить природно. Так, наприклад, при дослідженні процесу спостереження використовують реальну голівку самонаведення, а рух

цілі імітується керованим променем лазера. При цьому керування лазером, як і замикання всього контуру наведення, здійснюється через ЕОМ.

Моделювання як складова частина експериментальних досліджень широко застосовується не тільки при підготовці науково обґрунтованих пропозицій і формуванні вимог до створюваної системи, але й на етапі різних видів натурних експериментів, що визначають характеристики об'єктів, їх відпрацьованість і можливість переходу від даного етапу досліджень до наступному або службовців підставою для їхнього завершення.

Методами напівнатурного моделювання звичайно вирішується наступне основне коло завдань:

- обґрунтування вимог до створюваного об'єкта і його окремих частин;
- порівняльна оцінка ефективності існуючих зразків і їхніх частин, подібних розроблювальним;
- вибір раціональних рішень по побудові створюваного об'єкта, його систем і підсистем і перевірка відповідності отриманих характеристик заданим як на стадії проектної розробки, так і на стадії випробувань;
- відпрацьовування систем, підсистем, блоків і їхніх елементів, уточнення рішень і вимог до об'єктів у процесі їхнього створення;
- вибір і відпрацьовування алгоритмів функціонування об'єктів у реальних умовах застосування;
- попередня оцінка очікуваної ефективності створюваного об'єкта;
- обробка об'єкта в цілому перед проведенням натурних експериментів;
- обґрунтування програм і методів проведення різних видів натурних досліджень об'єкта, його систем, підсистем, блоків і елементів;
- рішення завдань, пов'язаних з ергономічним забезпеченням як функціонування об'єктів, так і їхніх випробувань;
- визначення характеристик, які не можуть бути знайдені (через можливі економічні, технічні, організаційні й інші види обмежень) у ході натурних випробувань, і одержання статистичних характеристик, необхідних для оцінки випробовуваного об'єкта;

- визначення відповідності характеристик об'єкта заданим вимогам і контрольній перевірці цих характеристик з урахуванням натурних випробувань;
- оцінка ефективності об'єкта у всьому діапазоні реальних умов його застосування й т.п.

З вищенаведеного випливає, що метод напівнатурного моделювання має багато переваг порівняно з іншими. Саме тому його доцільно використати для проведення подальших досліджень.

4.2 Структурна схема стенду дослідження контурів підсумовування

Для проведення експерименту був обраний метод напівнатурного моделювання. При застосуванні цього методу частина системи моделюється програмно, а частина апаратно.

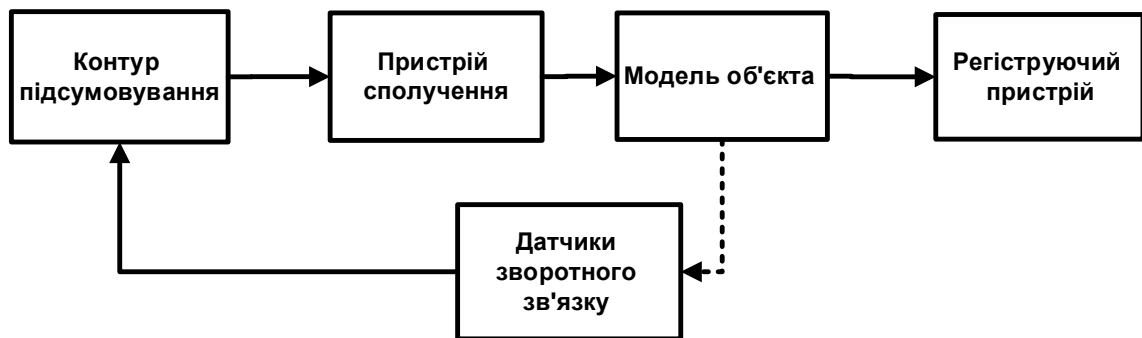


Рис. 4.2 Структурна схема стенду напівнатурного моделювання

Оскільки досліджуються контури підсумовування, а саме їх вплив на формування моменту стабілізації, то вони виконані апаратно. Об'єкт керування являє собою в основному складну систему, яку важко створити і досліджувати, але маючи його математичну модель можна реалізувати її за допомогою програмних засобів. Також доцільно використати реальні сигнали з датчиків кута і швидкості, що дозволить більш точно оцінити вплив контуру на формування моменту стабілізації. Таким чином можна виділити декілька блоків структурної схеми стенду:

- контур підсумовування;
- блок датчиків зворотнього зв'язку;
- модель об'єкта виконана програмно;
- пристрій, що дозволить з'єднати програмну і апаратну частину.

Структурну схему стенду представлено на рис 4.2.

Велику увагу потрібно приділити для пристрою сполучення, котрий повинен мати достатню кількість входів, для того, щоб виміряти усі необхідні параметри. Також володіти необхідною точністю і швидкістю.

4.2 Конструювання та програмне забезпечення стенду

Відповідно до запропонованої структурної схеми було розроблено та виготовлено стенд напівнатурного моделювання. Основні елементи стенду представлені на рис. 4.3.

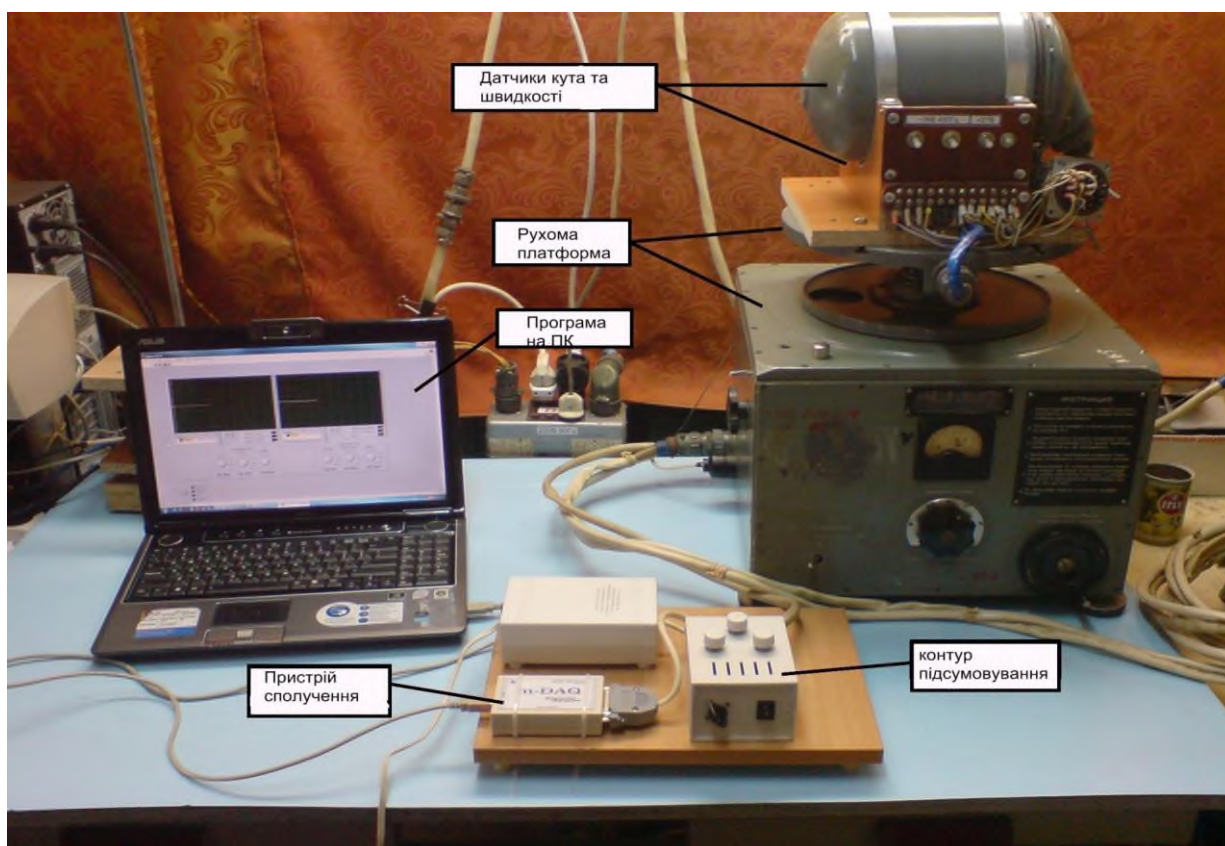


Рис. 4.3 Стенд напівнатурного моделювання

4.2.1 Контур підсумовування

Для розробки електричної принципової схеми цього блоку були використані схемні рішення наведені у розділу 2. Принципова електрична схема представлена на рис 4.4.

Для зміни рівня сигналів на вході контуру використані потенціометри R1, R2, R5. Пакетний перемикач дозволяє проводити вибір контуру для дослідження.

Диференціатор для контуру S_0 реалізований на інтегральному підсилювачі за типовою схемою.

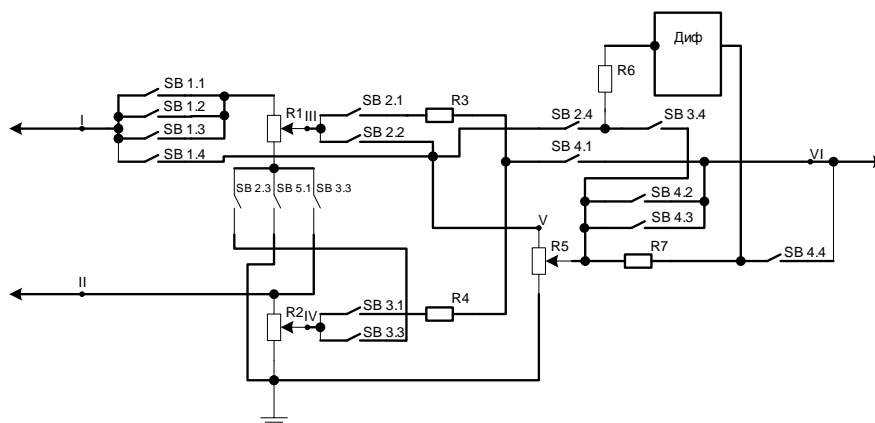


Рис. 4.4 Схема електрична принципова блоку контуру підсумовування

Сигнали, що поступають на вхід проходять крізь потенціометри, на яких і відбувається процес підсумовування сигналів. На вхідних і вихідних лініях є точки, з яких знімається інформація і через пристрій сполучення надходить до персонального комп'ютера. Використовуються шість таких точок, що дозволяє не тільки виміряти рівень сигналів і представити їх у графічному вигляді, а й розрахувати необхідні дані: коефіцієнти підсилювання кожного потенціометра, зсув фаз між моментом стабілізації і зовнішнім збуренням. Опір потенціометрів вибраний таким чином, щоб не вивести з ладу плату збору даних, у якої є певні обмеження напруги і струму у портах.

4.2.2 Блок датчиків зворотного зв'язку

В якості сигналів на вході контуру стенду напівнатурного моделювання використані реальні сигнали з датчиків кута, та кутової швидкості. Ці датчики встановлені на рухомій основі як показано на рис 4.5.



Рис. 4.5 Рухома платформа з датчиками зворотного зв'язку

В якості датчика кута використана центральна гіровертикаль, датчик кутової швидкості - ДУС.

Використання цих датчиків дозволило обійтися без фазочутливого випрямляча, оскільки сигнали на виході датчиків - напруга постійного струму, яка пропорційна куту відхилення, та швидкості відхилення.

Для живлення моторів гіроскопів потрібна трифазна напруга змінного струму 36В 400 Гц, що дещо ускладнює використання таких приладів. Для живлення потенціометрів датчиків використано стабілізоване джерело двох полярного живлення, напруга якого не перевищує максимальну для плати збору даних. Використання сигналів з реальних датчиків дозволяє більш точно оцінити, як сформується момент стабілізації, і як буде вести себе система в умовах наближених до реальних.

4.2.3 Блок сполучення стенду з моделлю

Для сполучення створеного стенду з моделлю, що реалізована програмно, використано плату збору даних від фірми ХОЛИТ Дейта Системс.



Рис. 4. 6 Плата збору даних

Характеристики цього модуля наведені в табл. 4.1.

Характеристики плати збору даних

Таблиця 4.1

Аналогові входи	
число каналів	8 однопровідних
діапазони вхідної напруги	± 10 В
розрядність АЦП	10 біт
вхідний опір	10 МОм
частота дискретизації	31 Гц..100 кГц
синхронізація	від внутрішнього таймера, зовнішня

аналогові виходи	
число каналів	2
діапазон вихідної напруги	0..10 В
струм навантаження	2 мА
вихідний опір	50 Ом
розрядність ЦАП	8 біт
час установаження	50 мс
дискретний В/В	
загальне число ліній В/В	10..16
тип логіки	ТТЛ
вихідний струм	5 мА
частота синхронного В/В	31 Гц..100 кГц
діапазон вимірюваних частот по рахунковому вході	10 Гц..4 МГц
ємність лічильника імпульсів	65535

Мікросистема збору даних m-DAQ, як комплекс апаратних і програмних засобів, забезпечує:

асинхронне й синхронне уведення даних з одного або декількох аналогових входів у масив, заданий користувачем;

асинхронний вивід даних на аналогові виходи;

асинхронне й синхронне уведення (виведення) даних з (на) ліній дискретного В/В А0..А7; асинхронне уведення (виведення) даних з (на) ліній дискретного В/В В0.. В7; побітову установку й читання ліній дискретного В/В портів А0..А7 і В0..В7; підрахунок імпульсів і вимір частоти імпульсного сигналу на вході В2 /CLK;

Як видно з представлених характеристик обраний модуль у повній мірі забезпечить виконання поставленої задачі по введенню шести аналогових сигналів у персональний комп'ютер.

4.2.4 Програмне забезпечення стенду

Для програмного забезпечення стенду вибране середовище LabVIEW.

Основні переваги використання графічної оболонки LabVIEW являються:

- відносна простота і доступність: програми на Lab VIEW представляють собою графічну схему-малюнок, що позбавляє розробника і користувача від необхідності вивчати класичні мови програмування;

- наочність: програмне середовище LabVIEW вміщує прості універсальні засоби візуалізації даних; по суті, засоби середовища LabVIEW представляють собою добре оснащену вимірювальними приладами лабораторію;
- найпростіші та наочні засоби налагодження: контроль роботи програм на LabVIEW проводиться з допомогою вмикання однієї кнопки; при цьому потужний відладчик виводить на панелі всі вхідні і вихідні данні для кожного елемента схеми;
- актуальність і перспективи: в наш час більшість програм, зв'язаних з лабораторними вимірами і експериментами створюються на LabVIEW, причому зазвичай не програмістами, а самими дослідниками.

Блок схему програми для стенду надано на рис. 4.7.



Рис 4.7 Блок схема програми стенду

Основні операції:

- ввід даних - використовується плата збору даних та функції для роботи з нею;
- виділення сигналів - дані надходять у вигляді двовимірного масиву;
- подача сигналів на математичну модель;
- підготовка до виводу - необхідно використати буфер, оскільки кількість точок прийнятих за один раз недостатня для коректного виводу зображення сигналів низької частоти;
- вивід результатів.

Основний код програми зображений на рисунку 4.8.

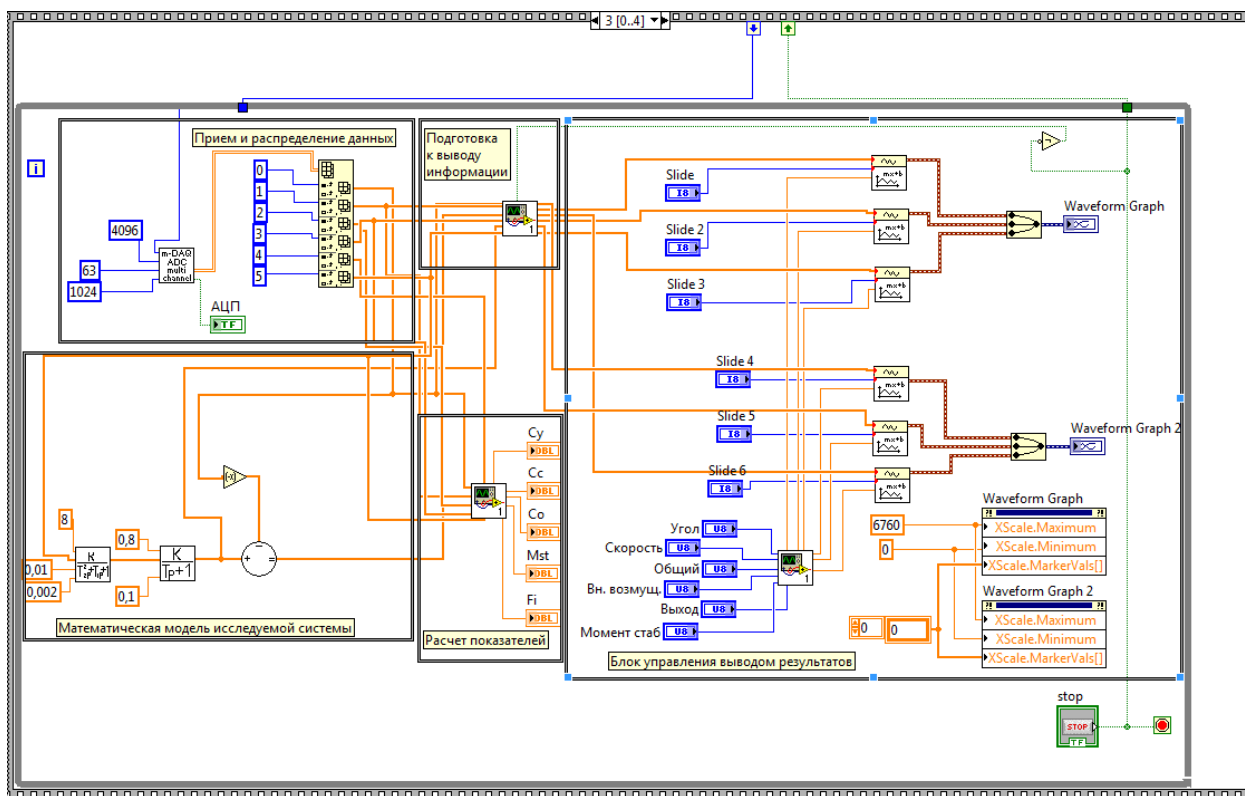


Рис. 4.8 Основний код програми стенду

Дані через плату збору даних, використовуючи готові функції для роботи з m-DAQ, поступають до персонального комп'ютера у вигляді масиву напруги.

Наступна операція - виділення підмасиву по кожному каналу даних. Отримані підмасиви поступають на математичну модель об'єкта. Код програми для реалізації ланок моделі представлений на рисунках 4.9 та 4.10 відповідно.

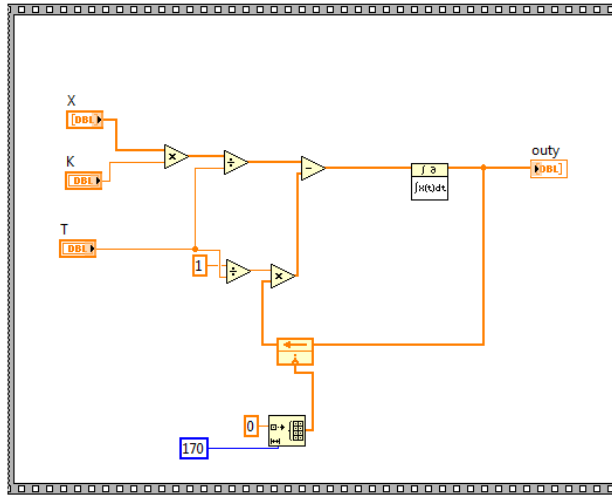


Рис. 4.9 Аперіодична ланка першого порядку

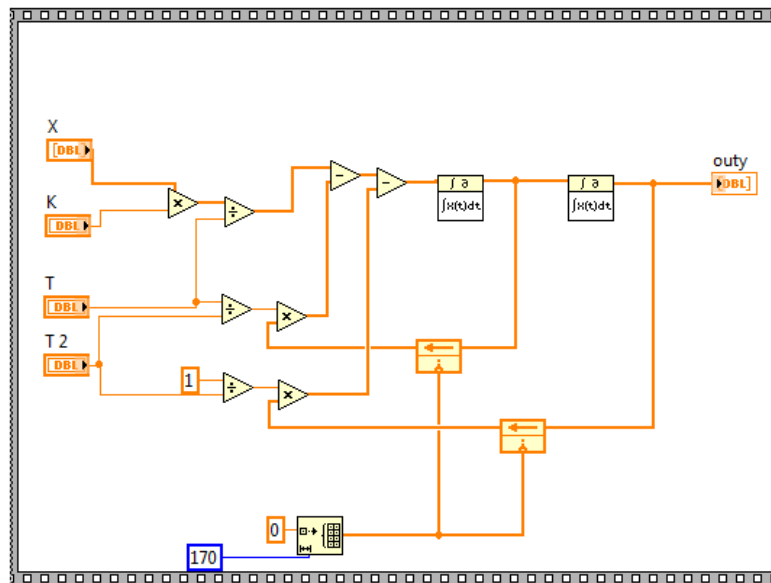


Рис. 4.10 Коливальна ланка

Після проходження сигналів крізь математичну модель вони поступають на буфер основне призначення якого підготувати масиви до виводу на екран. Принцип роботи такий, що кожний наступний підмасив збільшує основний масив, котрий поступає на екран осцилографа. Код буфера представлений на рис. 4.11.

Перша операція - визначення потрібного елемента для подальшого підсумовування (в даному коді це кожен п'ятий елемент підмасиву). Для цього використовується умова if. Друга умова необхідна для ініціалізації змінних, обнуління даних при досягненні певного розміру масиву і запису отриманих даних у файл. Для збереження масиву між зверненнями і коректного додавання нових елементів, використовуються зсувні регістри.

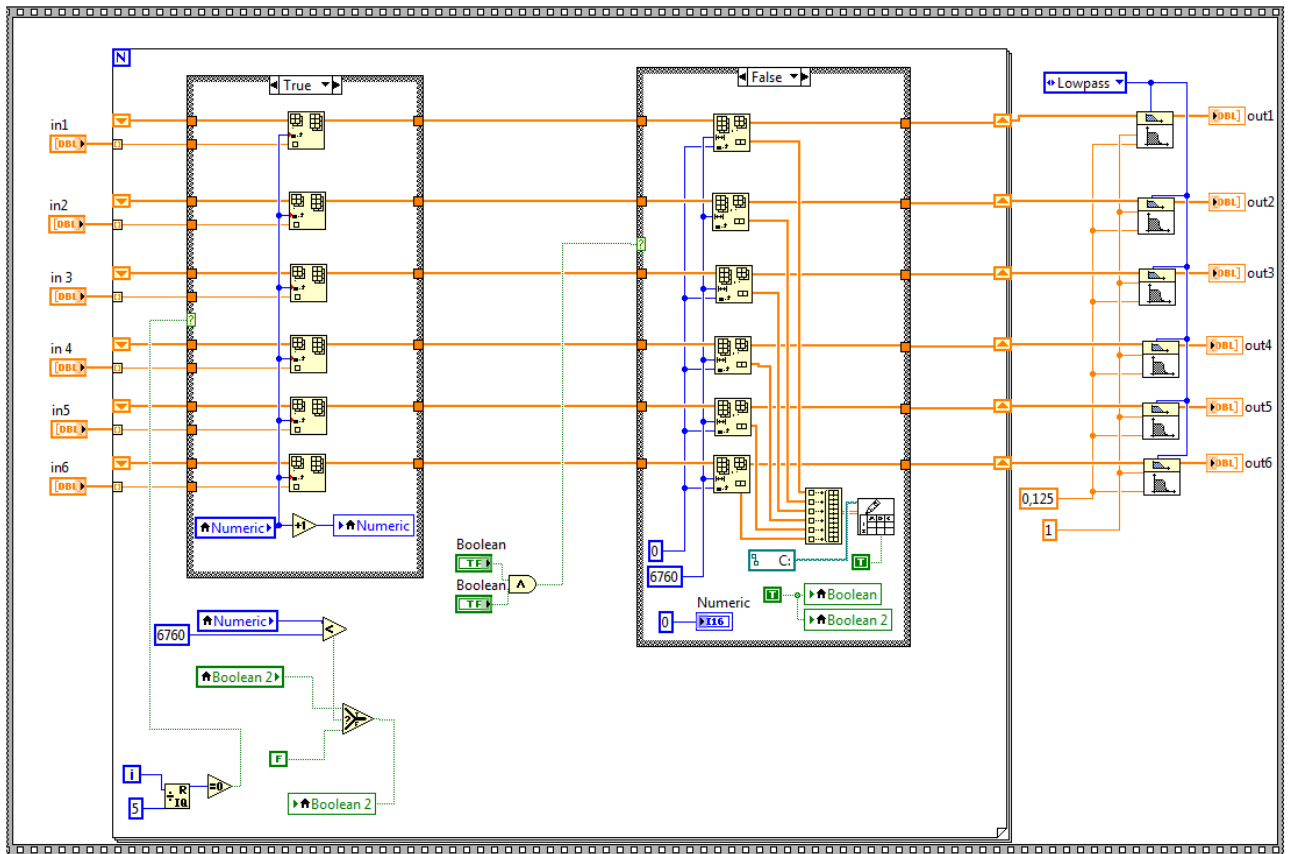


Рис. 4.11 Буфер даних

Блок фільтрів низької частоти необхідний, оскільки плата збору даних має високу швидкодію і чутливість, що призводить до появи високочастотних завад.

З буферу масиви надходять до модулю керування розгорткою по осі Y, на передній панелі є ручки, для регулювання підсилення по Y та зміни положення сигналу відносно нульової позначки. Лицева панель для стенду представлена на рис. 4.12.

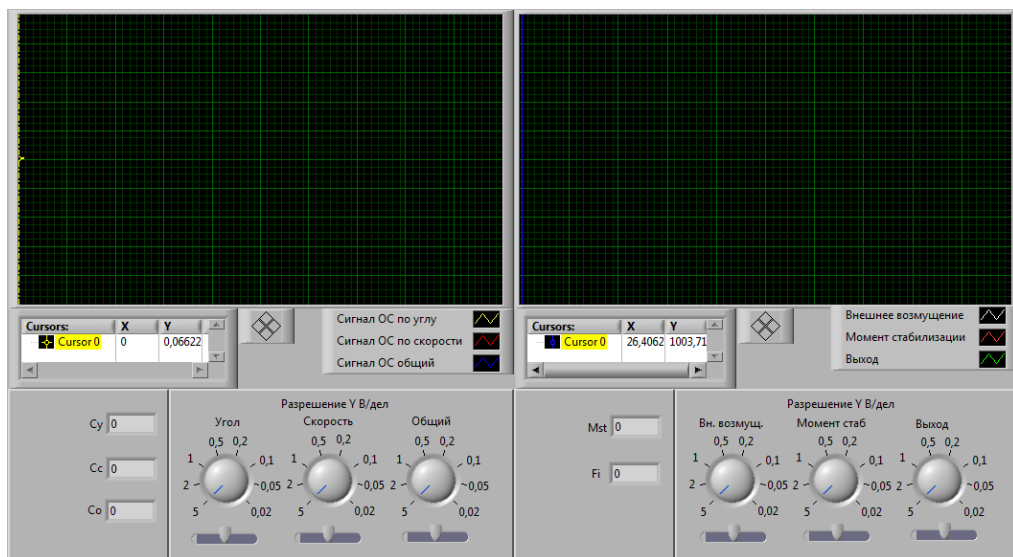


Рис. 4.12 Інтерфейс програми роботи зі стендом

На лівому осцилографі - інформація про сигнали після коефіцієнтів підсумовуючого контуру, що дає змогу бачити зміну сигналів при повороті ручок потенціометрів. На правому осцилографі - сигнали для аналізу:

- сигнал, що обурює;
- момент стабілізації;
- сигнал на виході системи.

Даний стенд і попередні результати дослідження, дають змогу зробити висновки, що використовуючи цей стенд можна проводити дослідження контурів підсумовування систем автоматичного керування. Також в подальшому є можливість за результатами експериментів запропонувати той чи інший контур в залежності від поставленої задачі по забезпеченню якості системи, та простоти експлуатаційних регулювань.

РОЗДІЛ 5

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Підготовка експерименту

Для проведення експериментів з використанням стенду напівнатурного моделювання контурів підсумовування САК необхідно підключити рухому платформу до джерела живлення. Для двигуна платформи потрібна напруга постійного струму 27В. Для живлення моторів гіроскопів датчика кута і кутової швидкості потрібна трифазна напруга змінного струму 36В 400Гц. Застосування цієї напруги ускладнює використання стенду, оскільки потрібні спеціальні генератори або перетворювачі для її створення. Потенціометри датчиків підключені до джерела стабілізованої двополярної напруги $\pm 9\text{В}$ яке підключене до мережі 220В 50Гц.

Перед початком експерименту необхідно ввімкнути напругу 36В 400Гц і дати час гіроскопам, для того щоб вони набрали потрібні оберти. Натисненням на кнопку аретир привести гіроскоп ЦГВ до горизонту. Після цього блок датчиків зворотного зв'язку готовий до роботи. Підключити модуль збору даних до персонального комп'ютера і запустити програму для роботи зі стендом. Задати необхідний нахил платформи та ввімкнути її на обертання або коливання.

Вибрати за допомогою перемикача тип контуру для дослідження.

Реєструвати на екранах осцилографа зміну сигналів при обертанні ручок потенціометрів.

Для проведення експерименту пов'язаного з експлуатаційним налагодженням системи можна використовувати методику оптимального шляху налагодження для кожного контуру, що наведена нижче.

5.2 Методичне забезпечення

Основними контрольованими параметрами систем будемо розглядати жорсткість і демпфірування. Методи їхнього визначення задаються в кожній галузі розроблювачем систем і викладаються в інструкціях для експлуатації.

Регулювання системи, що має у своєму складі контур підсумовування $C_k - C_{ш}$, може виконуватися двома способами. Їхня ілюстрація наведена на рис.5.1а. На рисунку показана область стійкості типової системи в координатах регульованих параметрів ($G - D$) - жорсткості й демпфіруванні. Усередині області виділена зона оптимальних регулювань. Траєкторія переміщення робочої крапки усередині області стійкості при першому способі регулювання показана суцільними лініями, при другому - пунктиром.

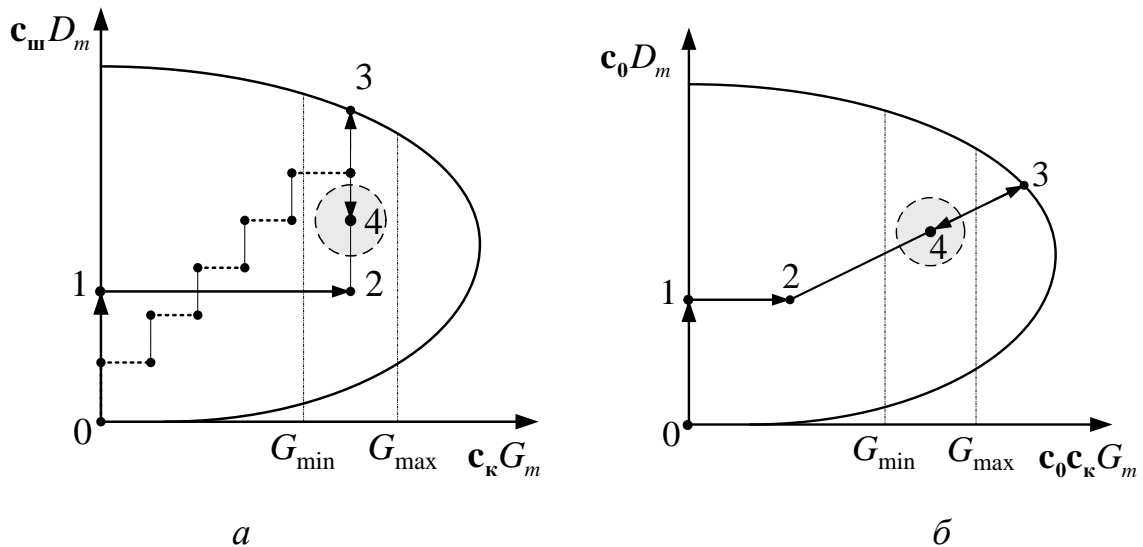


Рис. 5.1 Способи експлуатаційних регулювань:

а – контур $c_k - c_{ш}$; б – контур $c_k - c_0$

Відповідно до першого способу необхідно при включеній системі вивести регульовані потенціометри c_k ; $c_{ш}$ в нульові положення. Це буде відповідати нульовій робочій точці області стійкості. Потенціометром $c_{ш}$ встановлюється довільне значення демпфірування $D = c_{ш} D_m$ - точка 1 на рисунку. Переміщенням рухливого контакту потенціометра c_k необхідно домогтися значення твердості $G_{max} > c_k G_m > G_{min}$, що задовольняє вимогам технічних умов – точка 2 в області стійкості. Збільшуємо демпфірування системи за допомогою потенціометра $c_{ш}$ до виникнення незатухаючих високочастотних коливань об'єкта керування - система перебуває на границі стійкості – точка 3. Залишається перемістити рухливий контакт потенціометра $c_{ш}$ у зворотному напрямку до припинення вібрацій об'єкта керування. З певною ймовірністю маємо робочу точку 4 у зоні оптимальних

регулювань. При необхідності можливе коректування жорсткості й демпфірування.

Другий спосіб можна характеризувати як метод послідовних наближень. Потенціометрами c_k ; $c_{ш}$, виведеними в нульові положення, по черзі забезпечуємо невеликі збільшення демпфірування й жорсткості. Добиваємося виникнення в системі високочастотних незатухаючих коливань – точка 3 (рис.5.1а). Усуваємо вібрації, переміщаючи рухливий контакт потенціометра $c_{ш}$ у зворотному напрямку.

Спосіб настроювання САК з контуром підсумовування $c_k - c_0$ показаний на рис.5.1б. Вихідна операція – обнуління потенціометрів $c_k = 0$; $c_0 = 0$, що відповідає точці 0. За допомогою потенціометра c_0 встановлюється деяке довільне значення демпфірування – точка 1 в області стійкості. Збільшенням сигналу потенціометра c_k встановлюється така жорсткість – точка 2, при якій перехідні процеси відповідають вимогам технічних умов. Переміщенням рухливого контакту потенціометра c_0 змінюємо ступінь демпфірування, до виходу системи на верхню границю області стійкості – точка 3. Знімаємо вібрації в системі зменшенням сигналу потенціометра c_0 . Перевіряємо й коректуємо параметри системи.

Алгоритм експлуатаційних регулювань за допомогою контуру $c_{ш} - c_0$ й контуру c_0 ілюструє рис. 5.2.

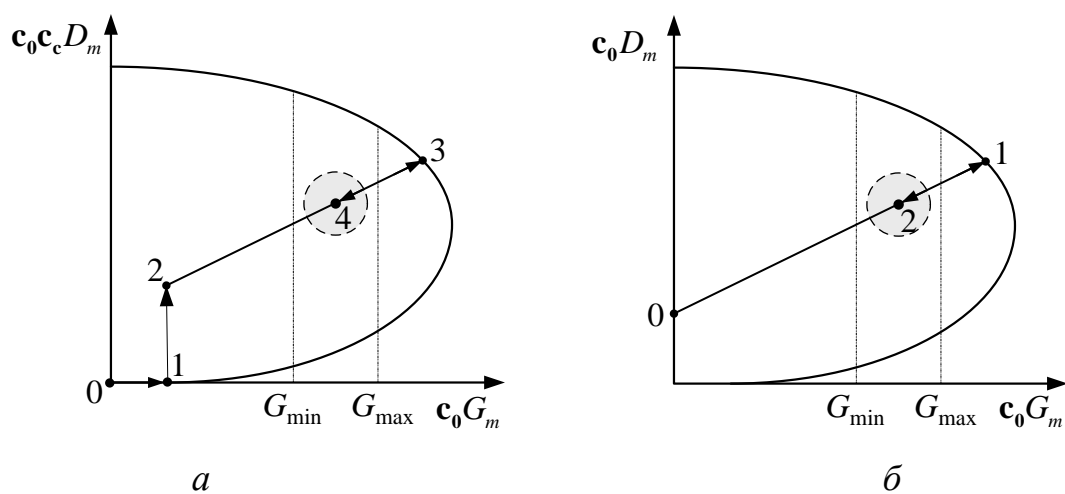


Рис. 5.2 Способи експлуатаційних регулювань:

а – контур $c_{ш} - c_0$; *б* – контур c_0

Для контуру $c_{ш} - c_0$ необхідно виконати наступну послідовність дій: потенціометри $c_{ш}, c_0$ встановлюються в нуль. При нульовому сигналі $c_{ш}$ переміщується контакт потенціометра c_0 до досягнення деякої жорсткості - точка 1; за допомогою потенціометра $c_{ш}$ збільшують демпфірування системи - точка 2; рівнем сигналу c_0 змінюють ступінь демпфірування до отримання високочастотних коливань - точка 3, система знаходиться на границі стійкості; зменшуючи за допомогою c_0 рівень сигналу позбавляються коливань. Отримана точка з деякою ймовірністю попаде в область оптимальних регулювань. Як правило для цього контуру регулювання виконують за допомогою c_0 уздовж лінії 2-3-4, а перші операції - технологічні і виконуються спеціалістами.

Регулювання для контуру c_0 найпростіше. Початкове демпфірування встановлюється спеціалістами, які підбирають відповідним чином елементи системи. Задача регулювань в такому випадку зводиться до зміни ступеня демпфірування до появи високочастотних коливань з наступним зменшенням коефіцієнту c_0 до зникання цих коливань.

5.3 Дослідження та аналіз отриманих даних

Використовуючи розроблений стенд були проведені експерименти з контурами підсумовування, для досліджуваної системи. Результати експериментів представлені на рис. 5.3 – 5.6 та в таблицях.

Для контуру $c_k - c_{ш}$ маємо.

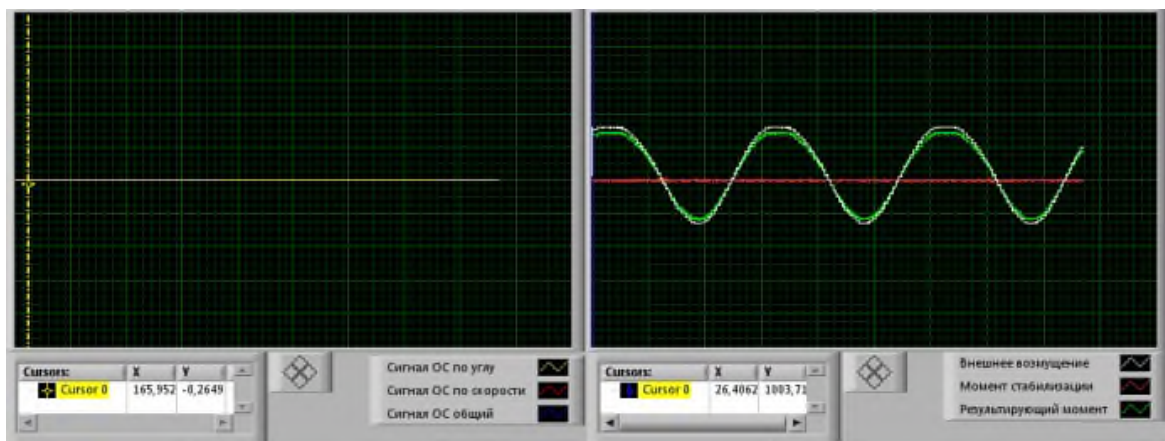


Рис. 5.3 Контур $c_k - c_{ш}$. Значення коефіцієнтів $c_k = c_{ш} = 0$.

Початковий випадок, коли коефіцієнти підсилення дорівнюють нулю. В цьому разі момент стабілізації не формується, оскільки сигнал з датчиків зворотнього зв'язку не проходить на регулятор. Це показано на рисунку 5.3. Коли коефіцієнти нульові система повторює форму сигналу, що її обурює.

На рисунку 5.4 показані процеси, що відбуваються, якщо в контур подати сигнал з датчика кута (тобто коефіцієнт підсилення в контурі по куту не дорівнює нулю). Утворюється стабілізуючий момент, який компенсує зовнішнє збурення, що видно з рисунку. Зсув фаз між моментом стабілізації і зовнішнім збуренням дорівнює 180 градусів, об'єкт керування має певну масу, саме тому коливання гасяться не ефективно.

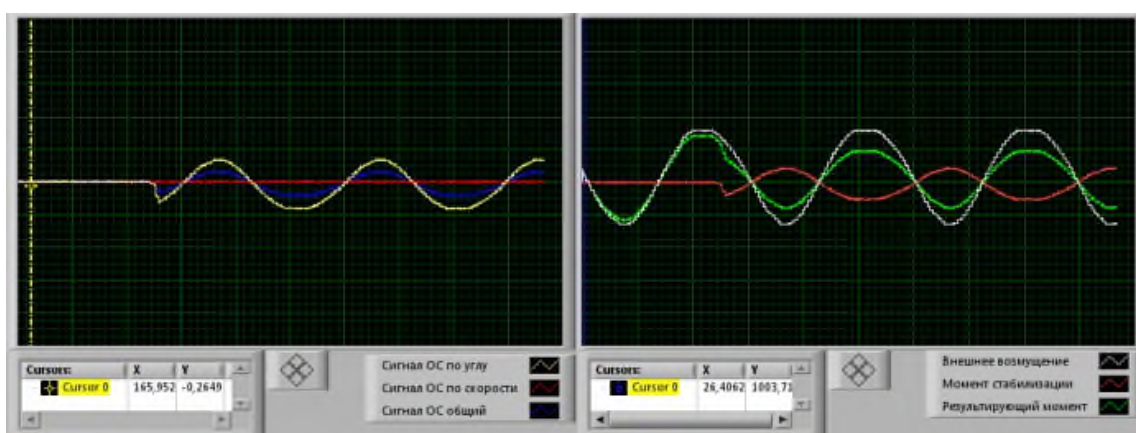


Рис. 5.4 Контур $c_k - c_{ш}$. Значення коефіцієнтів $c_k > 0, c_{ш} = 0$.

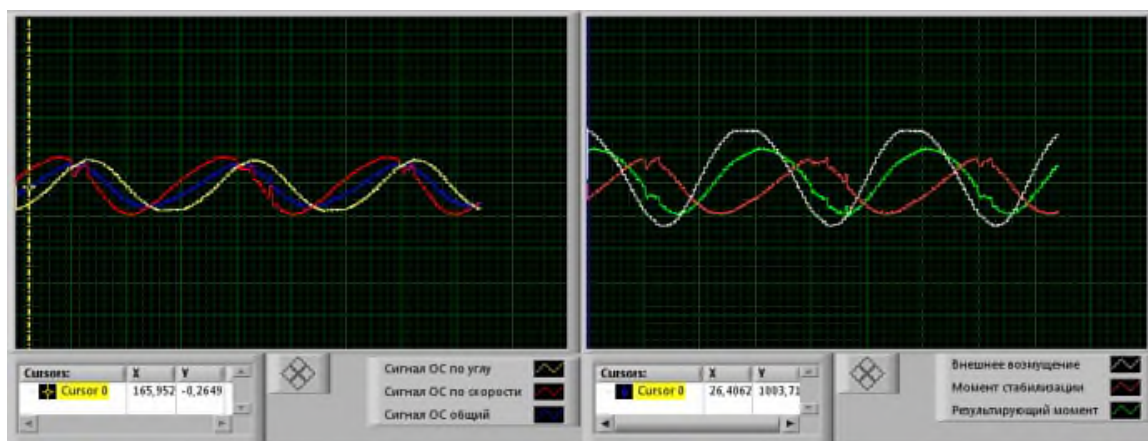


Рис. 5.5 Контур $c_k - c_{ш}$. Значення коефіцієнтів $c_k > 0, c_{ш} > 0$.

Рисунок 5.5 ілюструє результат для випадку, коли в контур підсумовування додається сигнал і з каналу кута і з каналу швидкості. З графіків видно, що сумарний сигнал, котрий з'являється на виході контуру має деякий зсув фаз і момент стабілізації також має зсув фаз. Це означає, що момент стабілізації стає гальмівним моментом раніше ніж об'єкт керування повернеться у задану точку.

Тобто в цьому разі коливання гасяться ефективніше, оскільки демпфірування починається раніше, ніж починається наступний період коливань системи.

При подальшому збільшенні рівня сигналу у каналі швидкості збільшується зсув фаз, що підтверджується результатами експерименту представленими на рисунку 5.6.

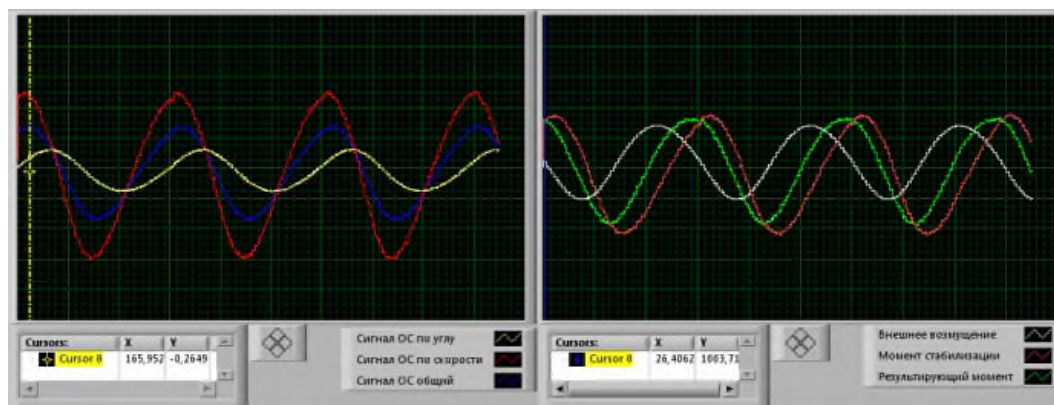


Рис 5.6 Контур $c_k - c_{ш}$. Значення коефіцієнтів $c_k > 0, c_{ш2} > c_{ш1}$.

Результати експерименту для контуру $c_k - c_{ш}$ представлені у таблицях. Аналіз показує, що отримані дані підтверджують результати теоретичних досліджень.

Значення амплітуди моменту стабілізації контуру $c_k - c_{ш}$ Таблица 5.1

$c_{ш} / c_k$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0.1	0,09	0,15	0,22	0,32	0,41	0,51	0,61	0,71	0,81	0,91	1,005
0.2	0,2	0,2225	0,28	0,362	0,45	0,54	0,63	0,73	0,82	0,92	1,02
0.3	0,3	0,32	0,36	0,42	0,5	0,58	0,67	0,76	0,85	0,95	1,04
0.4	0,4	0,4	0,45	0,5	0,57	0,64	0,72	0,81	0,89	0,98	1,08
0.5	0,5	0,51	0,54	0,58	0,64	0,71	0,78	0,86	0,94	1,03	1,117
0.6	0,6	0,61	0,63	0,67	0,72	0,78	0,85	0,92	1	1,08	1,17
0.7	0,7	0,71	0,73	0,76	0,81	0,86	0,92	0,99	1,06	1,139	1,22
0.8	0,8	0,81	0,82	0,85	0,89	0,94	1	1,062	1,13	1,2	1,28
0.9	0,9	0,905	0,92	0,95	0,98	1,03	1,08	1,14	1,2	1,27	1,35
1	0,9996	1	1,02	1,04	1,08	1,12	1,2	1,22	1,28	1,35	1,42

Як видно з таблиці амплітуда моменту стабілізації змінюється від нуля до певного максимального значення.

В таблиці 5.2 вказані дані по зсуву фаз у контурі $c_k - c_m$.

Зсув фаз у контурі $c_k - c_m$

Таблиця 5.2

$c_m \backslash c_k$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
0.1	0	45	61,88	73,13	73,13	78,75	78,75	78,75	84,38	84,38	84,38
0.2	0	28,13	45	56,25	61,88	67,5	73,13	73,13	73,13	78,75	78,75
0.3	0	16,88	33,75	45	50,63	56,25	61,88	67,5	67,5	73,13	73,13
0.4	0	16,88	28,13	39,38	45	50,63	56,25	61,88	61,88	67,5	67,5
0.5	0	11,25	22,5	28,13	39,38	45	50,63	56,25	56,25	61,88	61,88
0.6	0	11,25	16,88	28,13	33,75	39,38	45	50,63	50,63	56,25	56,25
0.7	0	11,25	16,88	22,5	28,13	33,75	39,38	45	50,63	50,63	56,25
0.8	0	5,63	16,88	22,5	28,13	33,75	39,38	39,38	45	50,63	50,63
0.9	0	5,625	11,25	16,88	22,5	28,13	33,75	39,38	39,38	45	45
1	0	5,63	11,25	16,88	22,5	28,13	28,13	33,75	39,38	39,38	45

Вищенаведені дані показують, що зсув фаз змінюється від 0 до 90 градусів.

Аналогічні дані були отримані і для інших схемних рішень контурів підсумовування. Вони відображені у таблицях 5.3 – 5.8 відповідно.

Значення амплітуди моменту стабілізації контуру $c_k - c_0$ Таблиця 5.3

$c_0 \backslash c_k$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0.1	0	0,1005	0,201	0,3015	0,402	0,502	0,603	0,703	0,804	0,904	1,005
0.2	0	0,102	0,204	0,306	0,408	0,51	0,612	0,714	0,816	0,918	1,02
0.3	0	0,104	0,209	0,313	0,418	0,522	0,63	0,73	0,84	0,94	1,04
0.4	0	0,108	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,75	0,86	0,97	1,08
0.5	0	0,1	0,22	0,34	0,45	0,56	0,676	0,786	0,896	1,01	1,12
0.6	0	0,12	0,23	0,35	0,47	0,58	0,7	0,82	0,93	1,045	1,17
0.7	0	0,12	0,24	0,37	0,49	0,61	0,73	0,85	0,98	1,1	1,22
0.8	0	0,13	0,26	0,38	0,5	0,64	0,77	0,9	1,02	1,15	1,28
0.9	0	0,13	0,27	0,4	0,54	0,67	0,81	0,94	1,08	1,21	1,35

1	0	0,14	0,28	0,42	0,57	0,71	0,85	0,99	1,13	1,27	1,4
---	---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Зсув фаз у контурі $c_k - c_0$

Таблиця 5.4

$c_k \backslash c_0$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.1	0	90	84,38	78,75	73,1	67,5	61,9	56,25	56,25	50,63	45

Значення амплітуди моменту стабілізації контуру $c_{ш} - c_0$ Таблиця 5.5

$c_z \backslash c_{ш}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0.1	0	0,1	0,2	0,301	0,402	0,502	0,603	0,703	0,804	0,904	1,005
0.2	0	0,102	0,204	0,306	0,408	0,51	0,6	0,7	0,82	0,92	1,02
0.3	0	0,104	0,209	0,3	0,42	0,52	0,63	0,73	0,84	0,94	1,04
0.4	0	0,108	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,75	0,86	0,97	1,08
0.5	0	0,108	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,75	0,86	0,97	1,08
0.6	0	0,12	0,23	0,35	0,5	0,58	0,7	0,82	0,93	1,05	1,17
0.7	0	0,12	0,24	0,37	0,49	0,61	0,73	0,85	0,98	1,1	1,22
0.8	0	0,13	0,26	0,38	0,	0,64	0,77	0,9	1,02	1,1561	1,28
0.9	0	0,13	0,27	0,4	0,54	0,67	0,81	0,94	1,08	1,21	1,35
1	0	0,14	0,28	0,42	0,57	0,71	0,85	0,99	1,13	1,27	1,41

Зсув фаз у контурі $c_{ш} - c_0$

Таблиця 5.6

$c_{ш} \backslash c_z$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.1	0	5,63	11,25	16,88	22,5	28,13	28,13	33,75	39,78	39,78	45

Значення амплітуди моменту стабілізації контуру c_0

Таблиця 5.7

c_z	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.1	0,4	0,41	0,45	0,5	0,57	0,64	0,72	0,81	0,89	0,98	1,08

Зсув фаз у контурі c_0

Таблиця 5.8

c_z	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
-------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

0..1	90	73,13	61,88	50,63	45	39,38	33,8	28,1	22,5	22,5	22,5
------	----	-------	-------	-------	----	-------	------	------	------	------	------

Результати для усіх схемних рішень, показали, що даний стенд можна використовувати для дослідження контурів підсумовування. Дані, отримані в результаті експерименту, співпали з аналізом формування моменту стабілізації проведеним у розділі 2 для кожного з контурів. Це дає змогу виробити рекомендації щодо вибору контурів підсумовування для систем автоматичного керування.

Експерименти показали, що контур підсумовування $c_k - c_m$ забезпечує найбільш широкий діапазон регулювання амплітуди й фази стабілізуючого моменту.

В системах де потрібні регулювання з великим фазовим зрушенням можна використовувати контур $c_k - c_0$. Але треба прийняти до уваги, що цей контур забезпечує більше вузький діапазон зміни фази стабілізуючого моменту в порівнянні з контуром $c_k - c_m$.

Контур $c_m - c_0$ доцільно застосовувати САУ з невеликою конструктивною G_m жорсткістю й підвищеним конструктивним демпфіруванням D_m . Цей контур має обмеження діапазону регулювання фази стабілізуючого моменту, особливо при $M_{Dm} \ll M_{Gm}$.

Контур c_0 , з точки зору простоти настройки, має переваги перед іншими розглянутими схемними рішеннями. Також його перевага у підвищенні точності САК.

ВИСНОВКИ

В роботі було розглянуто формування моменту стабілізації в системах автоматичного керування. Встановлено, що досягнення потрібної якості системи стабілізації може бути забезпечено варіюванням її експлуатаційних параметрів. Вибір оптимального співвідношення між ними забезпечить необхідну стійкість і динаміку системи. Основне завдання експлуатаційних регулювань замкнених систем автоматичного керування полягають у тому, щоб сформувати стабілізуючий момент, що найбільш повно компенсує всі зовнішні збурювання, що діють на об'єкт керування.

Досліджені основні типи контурів підсумовування. Проаналізований вплив кожного контуру на формування моменту стабілізації.

Для перевірки аналітичних даних був розроблений стенд напівнатурного дослідження контурів підсумовування. За результатами математичного аналізу, які були підтверджені експериментами, зроблені наступні висновки:

- за своїми характеристиками всі розглянуті контури дозволяють вибрати такі сполучення регульованих параметрів, при яких діючі на систему збурювання компенсуються стабілізуючим моментом «у середньому», тобто так, щоб середнє (середньоквадратичне або середньоамплітудне) значення помилки не виходило за межі заданої технічними умовами точності.

- контур підсумовування c_k - $c_{ш}$ забезпечує найбільш широкий діапазон регулювання амплітуди й фази стабілізуючого моменту.

- на практиці основне значення мають регулювання з більшими величинами фазових зрушень, тому затребуваність контуру підсумовування c_k - c_0 цілком очевидна, незважаючи на те, що він забезпечує більше вузький діапазон зміни фази стабілізуючого моменту в порівнянні з контуром c_k - $c_{ш}$.

- слід зазначити обмеження діапазону регулювання фази стабілізуючого моменту й контуром $c_{ш}$ - c_0 , особливо при $M_{Dm} \ll M_{Gm}$. Саме тому контур доцільно застосовувати в САУ з невеликою конструктивною G_m жорсткістю й підвищеним конструктивним демпфіруванням D_m .

- якщо взяти до уваги підвищення точності САУ при використанні контуру c_0 й простоту настроювання системи, то переваги даного контуру цілком очевидні

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аблесімов О.К, Синєглазов В.М. Теорія автоматичного керування: Лабораторний практикум. – К.: ТОВ " Астра Пол" 2007. - 118 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 759 с.
3. Аблесімов О.К. Александров Є.Є. Александрова І.Є. - Автоматичне керування рухомими об'єктами й технологічними процесами. - Харків: НТУ "ХПІ", 2008р
4. Синєглазов В.М., Філяшкін М.К. - Автоматизовані системи управління повітряних суден - Київ 2003р
5. Самарский А.А., Михайлов А.П. - Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры - 2-е изд. Физматлит 2001. - 320с.
6. Хартман К., Лецкий Э.К. - Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. - Издательство "МИР" Москва 1977. - 545с.
7. Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. - LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. - ДМК Пресс, 2007 - 400с.
8. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. - MATLAB 7 - СПб: БХВ-Петербург 2005. - 1104с.
9. Бусленко Н.П. - Моделирование слодных систем. - Москва "Наука" 1968. - 356с.
10. Суранов А.Я. LabVIEW 7: Справочник по функциям. - ДМК Москва 2005. - 512с.