

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Л. І. БУГРІМ, І. С. БІЛЮК

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
"Автоматика та автоматизація турбоагрегатів"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Електронне видання
комбінованого використання на DVD-ROM



МИКОЛАЇВ ♦ НУК ♦ 2015

УДК 681.5:621.438(076)
ББК 32.965:31.363.3я73
Б 90

Автори: Л. І. Бугрім, канд. техн. наук, доцент;
І. С. Білюк, канд. техн. наук, доцент

Рецензент І. О. Ратушняк, канд. техн. наук, доцент

Бугрім Л. І.

Б 90 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Автоматика та автоматизація турбоагрегатів" / Л. І. Бугрім, І. С. Білюк. – Миколаїв : НУК, 2015. – 70 с.

Викладено методику дослідження впливу закону роботи і параметрів налагодження автоматичних регуляторів на якість роботи систем автоматичного регулювання турбоагрегатів. Усі лабораторні роботи виконуються із застосуванням ПЕОМ та пакета програм MATLAB.

Призначено для студентів спеціальності 8-7.05060402 "Турбіни", 8-7.05120103 "Суднові енергетичні установки та устаткування".

УДК 681.5:621.438(076)
ББК 32.965:31.363.3я73

Навчальне видання

БУГРІМ Леонід Іванович
БІЛЮК Іван Сергійович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
"Автоматика та автоматизація турбоагрегатів"**

Комп'ютерне верстання *А. Д. Літвінова*
Коректор *М. О. Паненко*

© Бугрім Л. І., Білюк І. С., 2015
© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2015

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 4,1. Об'єм даних 2086 кб.
Тираж 15 прим. Вид. № 15. Зам. № 97.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1. Ознайомлення з пакетом програм MATLAB	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження характеристик типових динамічних ланок	12
Лабораторна робота № 3. Дослідження турбокомпресора одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання вала	20
Лабораторна робота № 4. Дослідження системи автоматичного регулювання частоти обертання вала одновальної ГТУ з регулятором, що працює за інтегральним законом (І-регулятором)	26
Лабораторна робота № 5. Дослідження впливу жорсткого зворотного зв'язку на якість роботи САР частоти обертання вала ГТУ	33
Лабораторна робота № 6. Дослідження впливу гнучкого зворотного зв'язку на якість роботи САР частоти обертання вала ГТУ (САР з пропорційно-інтегральним регулятором)	39
Лабораторна робота № 7. Дослідження САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом	45
Лабораторна робота № 8. Дослідження впливу на роботу САР турбогенератора додаткового сигналу по навантаженню на генератор	57
Рекомендована література	70

ВСТУП

Практично у всіх галузях народного господарства важко знайти місце, де б не використовувались автоматичні регулятори.

В останній час широке розповсюдження одержали системи автоматичного регулювання (САР), в яких використовуються обчислювальні машини, в тому числі і персональні комп'ютери (ПК). Сучасні ПК відкривають широкі можливості при вирішенні задач аналізу та синтезу САР.

Для виконання таких робіт необхідно оволодіти методами роботи на ПК і добре знати можливості, принцип дії та способи реалізації автоматичних регуляторів.

Крім цього, необхідно вміти одержувати динамічні характеристики САР, виконувати аналіз результатів і використовувати їх для одержання параметрів налагодження автоматичного регулятора, що забезпечують задану якість роботи САР.

Сприяння у вирішенні цих задач і призначені дані методичні вказівки.

Лабораторна робота № 1. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПАКЕТОМ ПРОГРАМ MATLAB

Мета роботи: набуття навичок роботи з пакетом програм MATLAB.

1. Зміст роботи

- 1) Вивчення інструкції до пакету програм MATLAB;
- 2) моделювання найпростішої системи автоматичного керування.

2. Загальні відомості про пакет програм MATLAB

MATLAB – це мова програмування високого рівня призначений для технічних розрахунків. Він містить обчислення, візуалізацію та програмування у простому для використання середовищі, де задачі та їх розв'язки представлено у загальній математичній формі.

Simulink, додаток програми MATLAB, – це інтерактивна система для моделювання динамічних систем. Вона являє собою середовище, кероване мишею, що дозволяє моделювати процес переміщення блоків на екрані та їх маніпуляцією. Simulink працює з лінійними, нелінійними, безперерв-

ними, дискретними, багатомірними системами. Simulink є достатньо самостійним інструментом MATLAB, при роботі з яким немає необхідності у знанні самого MATLAB та його інших додатків.

Для запуску Simulink необхідно попередньо запустити пакет MATLAB, основне вікно якої представлено на рис. 1.1. На цьому рисунку також показана підказка, що з'являється при наведенні миші на ярлик Simulink на панелі інструментів.

Після відкриття основного вікна MATLAB необхідно запустити Simulink, натиснувши кнопку на панелі інструментів командного вікна MATLAB (див. рис. 1.1).

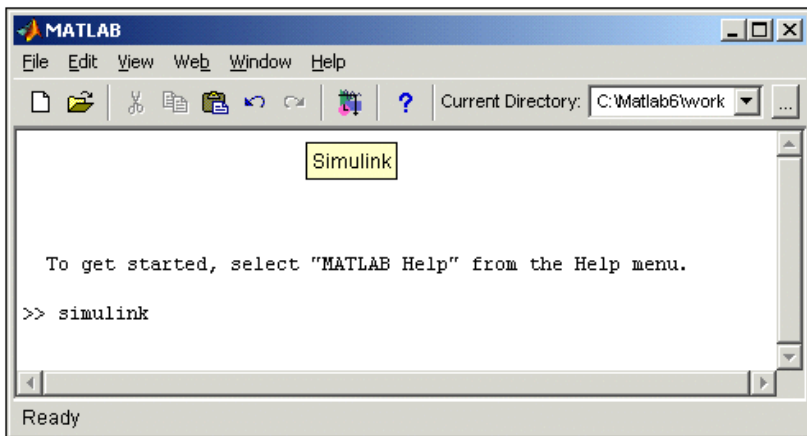


Рис. 1.1. Основне вікно програми MATLAB

Після запуску Simulink відкриється вікно оглядача розділів бібліотеки цього додатку, яке представлено на рис. 1.2.

На рис. 1.2 позначено: 1 – заголовок вікна з назвою програми; 2 – меню з командами File, Edit, View, Help; 3 – панель інструментів з ярликами команд, що найчастіше використовуються; 4 – вікно коментаря щодо обраного блоку; 5 – список розділів бібліотеки; 6 – вікно змісту розділу бібліотеки; 7 – підказка щодо дії, яка виконується.

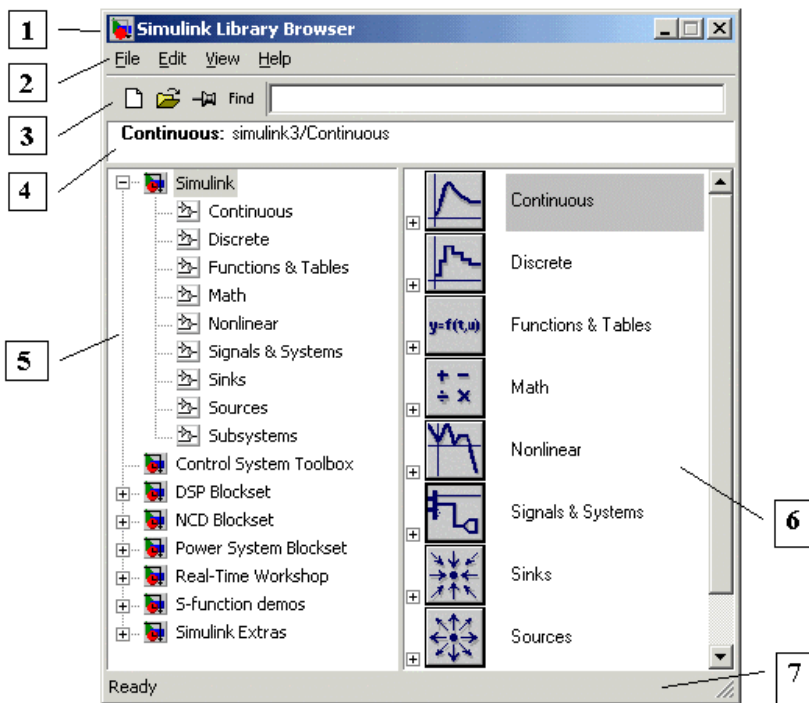


Рис. 1.2. Вікно оглядача розділів бібліотеки Simulink

Бібліотека Simulink містить наступні основні розділи: 1) Continuous – лінійні блоки; 2) Discrete – дискретні блоки; 3) Functions & Tables – функції та таблиці; 4) Math – блоки математичних операцій; 5) Nonlinear – нелінійні блоки; 6) Signals & Systems – сигнали та системи; 7) Sinks – пристрої, що реєструють; 8) Sources – джерела сигналів; 7) Subsystems – блоки підсистем.

Для створення моделі в середовищі Simulink необхідно виконати наступне:

1. Створити новий файл за допомогою команд File/New/Model на панелі інструментів. Створене вікно моделі показано рис. 1.3.

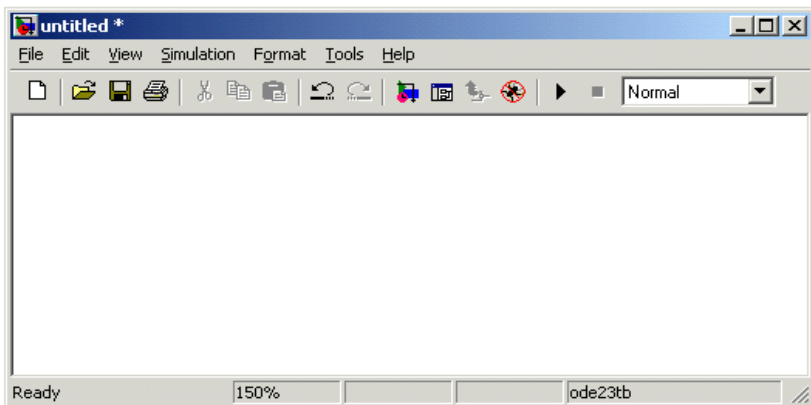


Рис. 1.3. Вікно пустої моделі Simulink

2. Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (див. рис. 1.2) та, вказавши курсором на необхідний блок, перетягнути його у вікно моделі тримаючи затисненою ліву клавішу "мишки". На рис. 1.4 показано вікно моделі, що містить блоки.

3. Змінити параметри блоків на необхідні. Для цього необхідно два рази клацнути "мишкою" на відповідному блоці, після чого відкриється вікно редагування блоку (див. рис. 1.5).

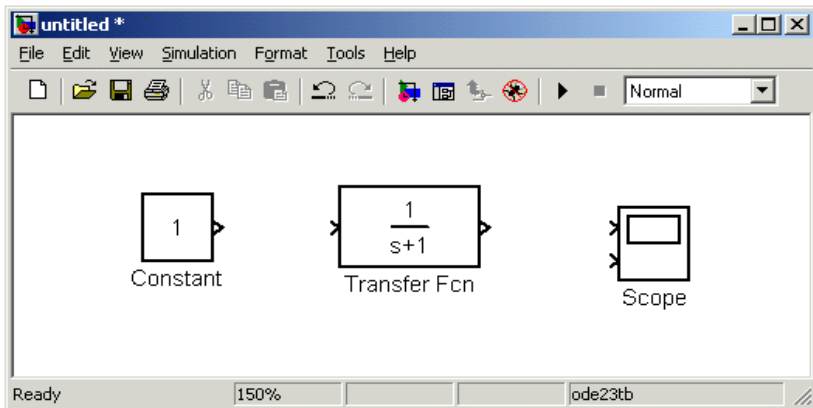


Рис. 1.4. Вікно моделі Simulink, що містить блоки

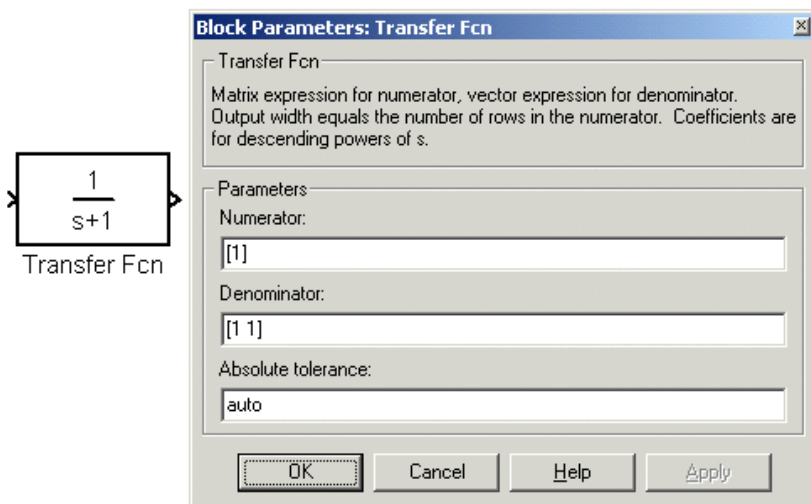


Рис. 1.5. Блок, що моделює передаточну функцію та вікно редагування параметрів цього блоку

4. Виконати з'єднання елементів схеми. Для цього необхідно вказати курсором на вихід блоку, натиснути та, не відпускаючи ліву клавішу "мишки", провести лінію до входу іншого блоку. Для створення точки розгалуження сигналу необхідно до з'єднувальної лінії підвести курсор, вказати ним вузол розгалуження сигналу, та, натиснувши праву клавішу "мишки", протягнути лінію. На рис. 1.6 представлена схема моделі зі з'єднаними блоками.

3. Порядок виконання роботи

- 1) Вивчити інструкцію до роботи з пакетом MATLAB;
- 2) виконати моделювання системи, структурна схема якої наведена на рис. 1.7 (зворотний зв'язок – від'ємний), $x_{\text{вх}}(s)$ задається викладачем. $W(s)$ обрати з табл. 1.1;

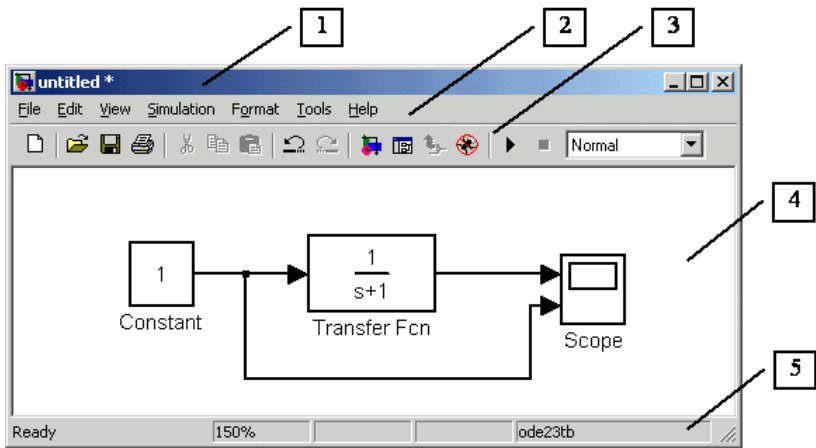


Рис. 1.6. Схема моделі зі з'єднаними блоками

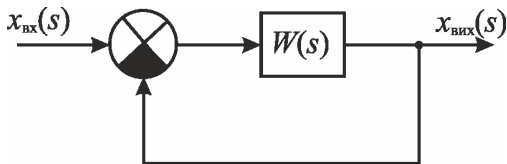


Рис. 1.7. Структурна схема системи

3) вийти з пакету MATLAB. Роботу закінчено.

Таблиця 1.1

Варіант	1	2	3	4	5
$W(s)$	5;	10;	15;	20;	25;
	$\frac{1}{5s}$;	$\frac{2}{5s}$;	$\frac{3}{5s}$;	$\frac{4}{5s}$;	$\frac{2}{3s}$;
	$\frac{1}{5s+1}$;	$\frac{2}{5s+1}$;	$\frac{3}{5s+1}$;	$\frac{4}{5s+1}$;	$\frac{2}{3s+1}$;
	$\frac{1}{5s^2+s+1}$	$\frac{2}{5s^2+s+1}$	$\frac{3}{5s^2+s+1}$	$\frac{4}{5s^2+s+1}$	$\frac{2}{3s^2+s+1}$

4. Обробка результатів. Оформлення звіту

- 1) Назва і ціль роботи;
- 2) структурна схема (рис. 1.7), імітаційні моделі, результати моделювання.

5. Контрольні питання

1. З якою метою застосовується пакет програм MATLAB?
2. Як здійснити запуск пакета програм MATLAB?
3. З якими видами блоків ви зустрічалися у пакеті MATLAB?
4. Перерахуйте основні та допоміжні меню пакета програм MATLAB.

Лабораторна робота № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВИХ ДИНАМІЧНИХ ЛАНОК

2.1. Мета роботи

Дослідження характеристик типових динамічних ланок у пакеті програм MATLAB

2.2. Зміст роботи

- 1) Вивчення теоретичних відомостей про типові динамічні ланки;
- 2) моделювання типових динамічних ланок.

2.3. Теоретичні відомості

Дослідження автоматичних систем спрощується при використанні прикладних математичних методів операційного числення. Це дає можливість перейти від диференційного рівняння до однозначно відповідного йому алгебраїчного рівняння. Такий перехід називають перетворенням по Лапласу.

Також в теорії САР використовують поняття передаточної функції та зображення по Лапласу. Розглянемо коротко загальні уявлення про перетворення по Лапласу.

Якщо є деяка функція $x(t)$ незалежної дійсної перемінної, наприклад, часу t , то перетворення по Лапласу, що виконуються над функцією $x(t)$ переводить її в функцію $x(s)$, згідно

співвідношенню:
$$x(s) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-sz} dt,$$

де s – довільна комплексна величина, яку позначають $s = z \pm i\omega$, де z та ω – матеріальні дійсні перемінні.

Таке перетворення скорочено позначають так: $x(s) = L\{x(t)\}$ і називають прямим перетворенням по Лапласу. Функція $x(t)$ називається оригіналом, а $x(s)$ – зображенням функції $x(t)$. Такий перехід виконується при нульових початкових умовах, тобто для $t = 0$ і використовується, в технічних задачах після подачі вхідних дій, а це якраз і має практичний інтерес при рішенні задач автоматичного регулювання.

В загальному випадку оригінал функції $x(t)$, знаходиться по зображенню шляхом зворотного перетворення Лапласа:

$$x(t) = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \int_{z-i\omega}^{z+i\omega} x(s) e^{sz} ds.$$

Операція зворотного перетворення позначається символом L^{-1} або $1/L$, тобто так:

$$x(t) = L^{-1}\{x(s)\}.$$

Передаточною функцією елемента (системи) називається відношення зображення по Лапласу вихідної координати до зображення по Лапласу вхідної координати при нульових початкових умовах. Якщо позначити передаточну функцію через $W(s)$, то можна записати:

$$W(s) = x_{\text{вих}}(s) / x_{\text{вх}}(s).$$

Динамічні режими роботи лінійних систем автоматичного керування досліджують за допомогою математичних моделей їх ланок. Системи і ланки зазвичай описують диференціальними рівняннями і, у загальному випадку, їх передавальні функції мають вигляд:

$$W(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}. \quad (2.1)$$

Будь-яку динамічну лінійну систему можна представити у вигляді сукупності типових динамічних ланок, кожна з яких, у свою чергу, досить повно характеризується формою диференціального рівняння, виглядом передавальної функції та перехідної функції.

Відрізняють наступні типові динамічні ланки:

- 1) пропорційна ланка ($W(s) = k$);
- 2) інтегрувальна ланка ($W(s) = \frac{k}{s}$);
- 3) диференціювальна ланка ($W(s) = ks$);
- 4) аперіодична ланка ($W(s) = \frac{k}{T_s s + 1}$);
- 5) коливальна ланка ($W(p) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi T_s s + 1}$);
- 6) ланка з запізненням ($W(p) = e^{-s\tau}$).

Для аналізу ланок використовують часові (перехідна та імпульсна) й частотні характеристики.

Реакція системи на одиничний ступінчатий вплив (див. рис. 2.1) при нульових початкових умовах називається перехідною функцією $h(t)$ системи; графік цієї функції називається перехідною характеристикою. За допомогою цієї характеристики можна судити про стійкість системи, її швидкодію.

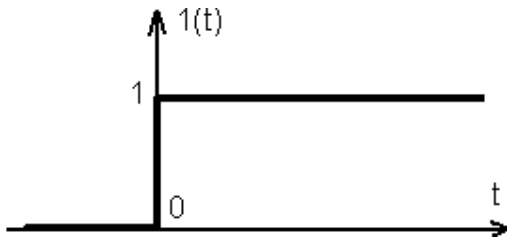


Рис. 2.1. Одиничний ступінчатий вплив

Реакція системи на одиничний імпульсний вплив при нульових початкових умовах називається імпульсною перехідною функцією $w(t)$ системи. Її називають також ваговою функцією. Графік цієї функції називається імпульсною перехідною характеристикою.

Частотні характеристики динамічних ланок визначаються при типовому впливі у вигляді гармонічної функції:

$$X(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi), \quad (2.2)$$

де A – амплітуда коливань; ω – кругова частота.

Якщо у передаточній функції (2.1) виконати заміну $s = j\omega$, то отримаємо частотну передаточну функцію системи керування:

$$W(j\omega) = \frac{b_0(j\omega)^m + b_1(j\omega)^{m-1} + \dots + b_m}{a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n}.$$

Частотна передаточна функція $W(j\omega)$ є комплексною функцією від змінної ω . Її можна представити у вигляді:

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)},$$

де $U(\omega) = \operatorname{Re}\{W(j\omega)\}$ та $V(\omega) = \operatorname{Im}\{W(j\omega)\}$ – відповідно дійсна та уявна частини передаточної функції $W(j\omega)$; $A(\omega) =$

$= |W(j\omega)|$ – модуль передаточної функції $W(j\omega)$ (амплітудна частотна функція), причому $A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$; $\varphi(\omega) = \text{Arg}\{W(j\omega)\}$ – аргумент передаточної функції $W(j\omega)$, який називають фазовою частотною функцією, причому $\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{V(\omega)}{U(\omega)}$.

Графік функції $A(\omega)$ називають амплітудною частотною характеристикою (АЧХ). Графік функції $\varphi(\omega)$ називається фазовою частотною характеристикою (ФЧХ).

Саму частотну передаточну функцію $W(j\omega)$ називають також амплітуднофазовою частотною функцією, а її графік на комплексній площині – амплітудно-фазовою частотною характеристикою (АФЧХ).

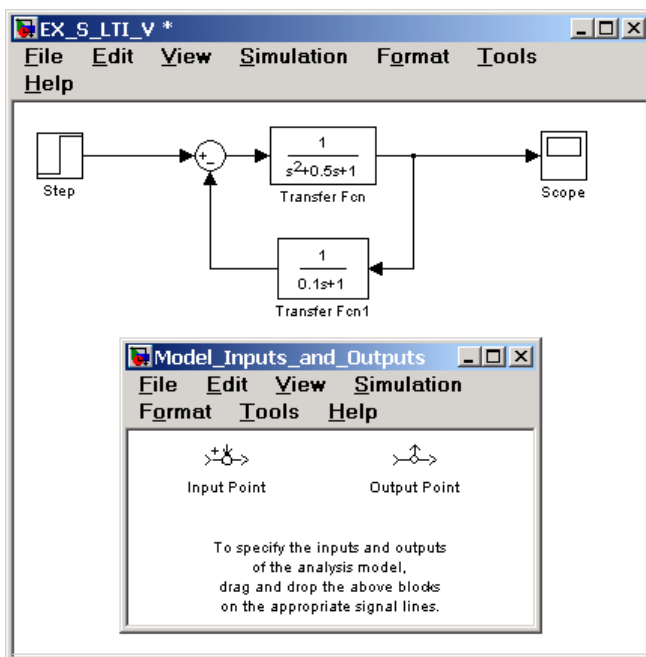
Окрім перелічених частотних характеристик, при аналізі та синтезі САК широко застосовуються також логарифмічні частотні характеристики (ЛЧХ): ЛАЧХ – логарифмічна амплітудна частотна характеристика; ЛФЧХ – логарифмічна фазова частотна характеристика. ЛЧХ – це ті самі частотні характеристики системи, але побудовані в іншій системі координат.

Побудова часових та частотних характеристик у пакеті програм MATLAB ведеться з використанням функцій додатку Control System Toolbox та інструмента Simulink LTI-Viewer.

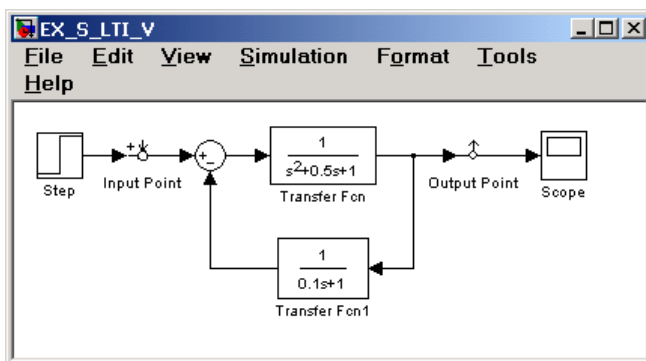
Для цього в схему для моделювання додаються вхідний та вихідний блоки Input Point та Output Point (рис. 2.2).

Далі в меню Tools пакета Simulink вибрати команду Linear Analysis. У результаті з'являється вікно утиліти LTIView та бібліотека блоків Control System.

У вікні утиліти LTIView в меню Simulink вибрати команду Get Linearized Model. У результаті у верхній частині вікна виводяться графіки характеристик системи (рис. 2.3).



a



б

Рис. 2.2. Модель, що досліджується з блоками Input Point та Output Point

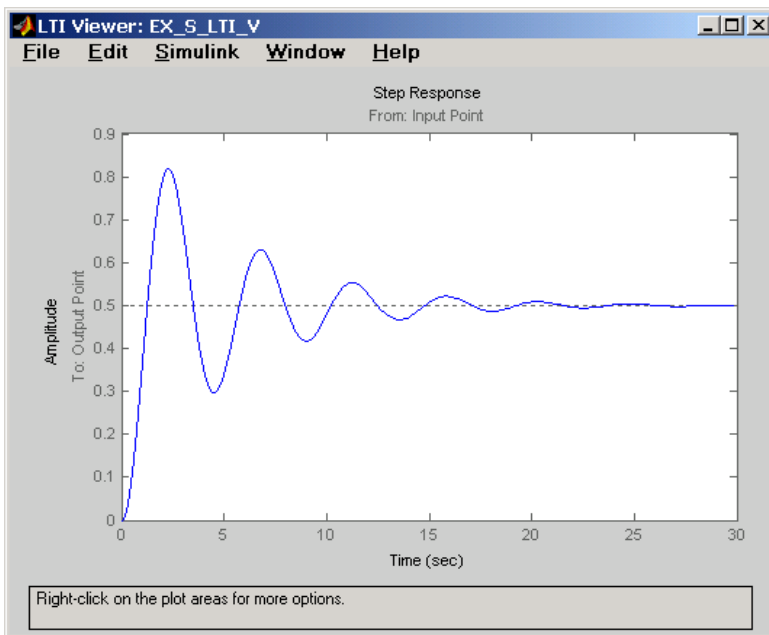


Рис. 2.3. Вікно утиліти LTIVIEW з перехідною характеристикою системи керування

За допомогою утиліти LTIVIEW можна побудувати наступні характеристики:

- 1) Step – перехідна характеристика;
- 2) Impulse – імпульсна характеристика;
- 3) Bode – логарифмічна амплітудна і фазова частотні характеристики;
- 4) Nyquist – амплітудно-фазова частотна характеристика (крива Найквіста);
- 5) Nichols – діаграма Нікольса.

2.4. Порядок виконання роботи

1. Запустити MATLAB.
2. Створити робоче вікно моделювання Simulink.

3. Створити структурні схеми для моделювання характеристик типових динамічних ланок: пропорційного, інтегруючого, аперіодичного, коливального. Параметри ланок задаються викладачем.

4. Побудувати перехідні характеристики ланок.

5. Побудувати частотні характеристики ланок: АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, ЛАЧХ.

2.5. Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.

2. Структурні схеми і характеристики ланок: перехідні, АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, ЛАЧХ.

3. Висновки.

2.6. Контрольні питання

1. Поняття типових динамічних ланок.

2. Перехідна характеристика динамічної ланки.

3. Передаточна функція ланки.

4. Типи частотних характеристик.

5. Поняття АЧХ ланки.

6. Поняття ФЧХ ланки.

7. Поняття АФЧХ ланки.

8. Поняття логарифмічних характеристик ланки.

9. Як одержати вирази для частотних характеристик, маючи передаточну функцію ланки?

Лабораторна робота № 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРА ОДНОВАЛЬНОЇ ГТУ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА

Мета роботи: вивчення практичних методів реалізації моделей об'єктів регулювання за допомогою системи MATLAB.

3.1. Теоретичні відомості

3.1.1. Об'єкти регулювання

Одним з визначень об'єкта регулювання є таке: це пристрій або сукупність пристроїв, де протікає регульований технологічний процес і такий пристрій потребує в спеціально організованих діях для досягнення поставленої мети управління.

Специфіка систем автоматичного регулювання визначається в основному властивостями і особливостями регульованого об'єкта.

При дослідженнях систем регулювання з метою визначення потрібних характеристик регулятора необхідно враховувати і властивості об'єкта регулювання.

У сучасній техніці часто виникає необхідність автоматичного управління об'єктами самої різної фізичної природи. До них можна віднести суднові енергетичні установки з двигунами внутрішнього згоряння, газовими і паровими турбінами;

котлоагрегати, атомні реактори, антени радіолокаційних станцій, об'єкти воєнної техніки, космічні апарати і інші об'єкти.

Таким чином, під регульованим об'єктом слід розуміти пристрій, технологічний процес, який закінчується виробленням відповідного виду енергії. Кількісні і якісні показники цієї енергії забезпечується за рахунок підтримання її визначаючих параметрів на заданому рівні, тобто за рахунок підтримання роботи установки на заданому режимі.

По виду динамічних характеристик більшість регульованих об'єктів можна розділити на дві групи: статичні і астатичні.

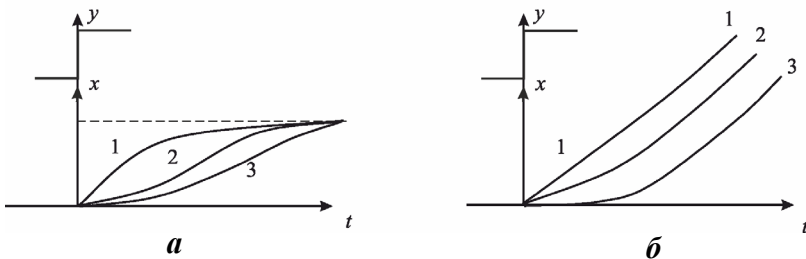


Рис. 3.1. Криві перехідного процесу статичного (а) і астатичного (б) регульованого об'єкта

Статичні об'єкти, які іще називають стійкими або такими, що мають самовирівнювання. В таких об'єктах регульована величина при подачі на вхід збурюючої або регулюючої дії змінюється на деяку величину і встановлюється нове значення регульованої величини без застосування автоматичного регулятора.

Астатичні об'єкти, нейтральні об'єкти або об'єкти без самовирівнювання. При подачі вхідної дії на виході астатичних об'єктів регульована величина постійно змінюється і з часом встановлюється постійна швидкість зміни регульованої величини.

Вид кривої перехідного процесу $x(t)$ при подачі на вхід стрибкоподібної зміни вхідної дії у малоінерційного (1), інер-

ційного (2) та об'єкта з чистим запізнюванням (3) приведено на рис. 1, *a* і *б* відповідно.

Зустрічаються також і нестійкі регульовані об'єкти, в яких при тих же умовах регульована величина змінюється зі зростаючою швидкістю.

3.2.2. Турбокомпресор одновальної ГТУ як об'єкт регулювання частоти обертання вала

Функціональну схему одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання вала наведено на рис. 3.2.

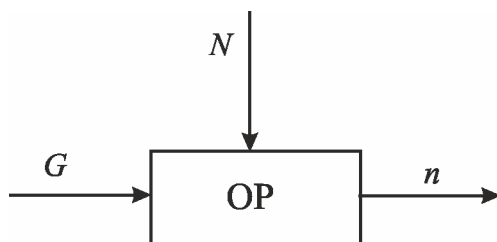


Рис. 3.2. Функціональна схема одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання вала

Рівняння одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання вала має вигляд:

$$T_o \frac{dn}{dt} + n = k_G G - k_N N; \quad (3.1)$$

де T_o – постійна часу об'єкта регулювання (ГТУ):

k_G, k_N – коефіцієнти передачі ГТУ по керуючому й збурюючому впливах; n, G, N – відносні відхилення від базових значень частоти обертання, витрати палива, потужності споживача.

Одержимо передаточні функції для рівняння (3.1) по кожному з впливів окремо.

Згідно таблиці 1 можна записати:

$$\begin{aligned}T_0 s n(s) + n(s) &= k_G G(s), \\ T_0 s n(s) + n(s) &= -k_N N(s).\end{aligned}$$

Виділимо вихідну величину $n(s)$ та винесемо її за дужки:

$$\begin{aligned}(Ts + 1)n(s) &= k_G G(s), \\ (Ts + 1)n(s) &= -k_N N(s).\end{aligned}$$

Звідки отримаємо передаточні функції ГТУ по керуючому $G(s)$ та збурюючому $N(s)$ впливах:

$$\begin{aligned}W_o^{G(s)} &= \frac{n(s)}{G(s)} = \frac{k_G}{T_0 s + 1}; \\ W_o^{N(s)} &= \frac{n(s)}{N(s)} = \frac{-k_N}{T_0 s + 1}.\end{aligned}$$

Схему набору моделі одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання вала у MATLAB наведено на рис. 3.3. Чисельні значення коефіцієнтів наведено у табл. 3.2.

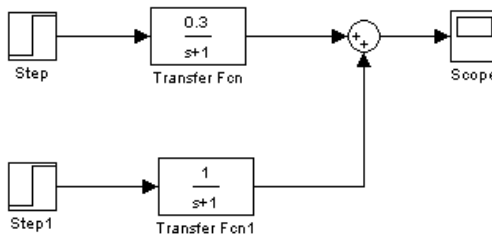


Рис. 3.3. Схему набору моделі одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання у MATLAB

3.2. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму MATLAB.

2. Одержати функціональну схему одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання вала згідно рівняння об'єкта.

3. Привести функціональну схему до машинного вигляду, використовуючи значення коефіцієнтів з табл. 3.2, відповідно до варіанта, зазначеного викладачем.

4. Провести моделювання одновальної ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертання на EOM у MATLAB.

5. У MATLAB одержати чотири перехідних функції об'єкта при подачі збудюючого впливу. Для цього необхідно на вхід каналу збудюючого впливу подати імпульс N , згідно табл. 3.2. При цьому на вхід каналу керуючого впливу подати імпульс G . Коефіцієнт передачі по керуючому впливу k_G отримується з табл. 3.2, відповідно до варіанта. Постійна часу об'єкта регулювання T_0 та значенням коефіцієнту передачі k_N по збудюючому впливу змінюються двічі, для всіх варіантів згідно табл. 3.2.

6. Для значень коефіцієнтів вказаних викладачем одержати перехідну функцію об'єкта по керуючій дії. Для цього на вхід каналу збудюючого впливу подати імпульс $N = 0$, а на вхід каналу керуючого впливу подати імпульс $G = 1$.

Таблиця 3.2

Коефіцієнти	Варіанти				
	1	2	3	4	5
N	-0,5	-1	-0,4	-0,3	-0,6
G	0	0	0	0	0
k_N	0,3;0,5	0,3;1	0,5;1	0,3;0,5	0,4;0,8
k_G	1	1	1	1	1
T_0	10; 40	20; 50	30; 60	40; 70	25; 50

3.3. Обробка результатів дослідження

1. За графіками визначити постійну часу об'єкта регулювання T_0 та коефіцієнти передачі по збурюючому та керуючому впливах.

2. Проаналізувати залежність зміни частоти обертання вала ГТУ від значень постійної часу об'єкта регулювання T_0 та коефіцієнтів передачі по збурюючому k_N та по керуючому k_G впливах.

3.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Рівняння й передаточні функції елементів об'єкта.
2. Функціональну схему об'єкта, схему набору моделі об'єкта у MATLAB.

3. Зняті криві перехідних процесів і результати їхньої обробки.

4. Висновки по роботі.

3.5. Питання для самоперевірки та захисту

1. Поняття об'єкта регулювання.
2. Розподіл об'єктів регулювання по виду динамічних характеристик.

3. Поняття динамічної характеристики. Види динамічних характеристик.

4. Фізичне розуміння постійної часу і коефіцієнта передачі в рівнянні об'єкта регулювання.

5. Залежність властивостей об'єкта від значення постійної часу.

6. Залежність властивостей об'єкта від значення коефіцієнта передачі.

7. Залежність властивостей ГТУ як об'єкта регулювання частоти обертів вала від режимів роботи.

8. Поняття про самовирівнювання і фактор стійкості.

Лабораторна робота № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ОДНОВАЛЬНОЇ ГТУ З РЕГУЛЯТОРОМ, ЩО ПРАЦЮЄ ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ ЗАКОНОМ (І-РЕГУЛЯТОРОМ)

Мета роботи: дослідження впливу параметрів налаштування регулятора на роботу системи автоматичного регулювання (САР).

4.1. Опис роботи САР

Система автоматичного регулювання частоти обертання вала одновальної ГТУ (рис. 4.1) включає об'єкт регулювання – турбокомпресор та автоматичний регулятор. До складу регулятора входять: чутливий елемент відцентрового датчика 1, золотниковий підсилювач 2, задаюча пружина 3, поршневий виконавчий механізм 4 і регулювальний орган 5. Задана частота обертання $n_{зд}$ встановлюється попереднім стиском пружини 3. Вхідними координатами САР є вплив, що задає $n_{зд}$ і вплив, що обурює N , який створюється навантаженням N , приєднаним до турбокомпресора. Вихідна координата – регульована величина n .

На сталому режимі зусилля, що розвиває пружина 3, урівнюється зусиллям з боку чутливого елемента 1, а виконавчий

При зміні частоти обертання зазначена вище рівновага порушується і регулятор змінює витрату палива, поки не буде відновлена задана частота обертання. Наприклад, при зменшенні n в результаті збільшення навантаження N на валу, зусилля з боку чутливого елемента зменшиться, золотник переміститься нагору, поршень виконавчого механізму зміститься вниз, прохідний переріз регулювального органа (клапана) і витрата палива збільшаться. По закінченні перехідного процесу буде встановлена витрата палива, що відповідає новому навантаженню, при якому частота обертання дорівнює заданій.

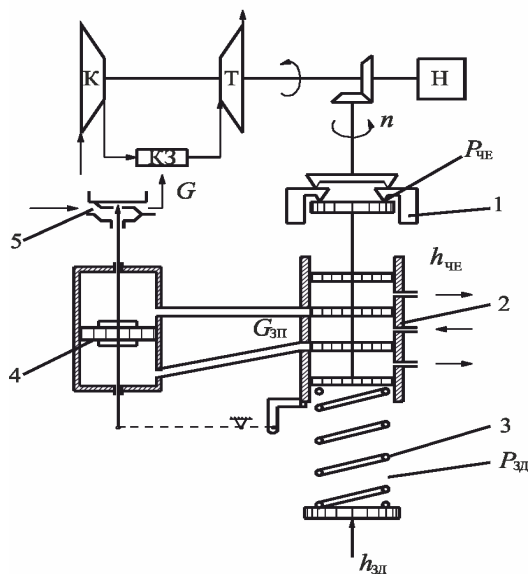


Рис. 4.1. Принципова схема САР частоти
обертання вала одновальної ГТУ

4.2. Математичний опис окремих елементів САР

Функціональна схема САР наведена на рис. 4.2.

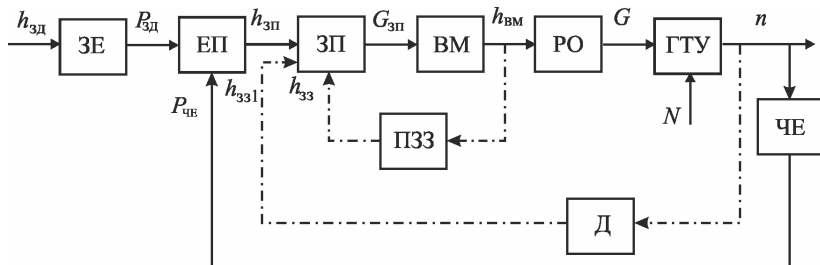


Рис. 4.2. Функціональна схема САР частоти обертання вала одновальної ГТУ

У схемі прийняті позначення: ЗЕ – задаючий елемент; ЕП – елемент порівняння; ЗП – золотниковий підсилювач; ВМ – виконавчий механізм; РО – регулюючий орган; ГТУ – газотурбінна установка; ЧЕ – чутливий елемент; ПЗЗ – пристрій зворотного зв'язку; Д – диференціатор.

Рівняння елементів системи, записані у відносних відхиленнях перемінних, мають вигляд:

– рівняння ГТУ як об'єкта регулювання

$$T_0 \frac{dn}{dt} + n = k_G G - k_N N;$$

– рівняння чутливого елемента відцентрового датчика

$$P_{че} = k_{че} n;$$

– рівняння золотникового підсилювача, елемента порівняння і задаючого елемента

$$G_{зп} = k_{зп} h_{зп}, h_{зп} = P_{зе} - P_{че}, P_{зе} = k_{зе} h_{зе};$$

– рівняння виконавчого механізму і регулювального органа

$$\frac{dh_{вм}}{dt} = k_{вм} G_{зп}, G = k_{ро} h_{вм};$$

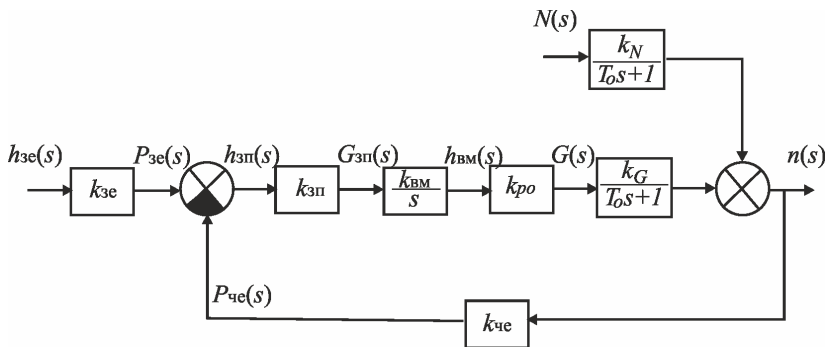


Рис.4.3. Структурна схема САР

У рівняннях прийняті позначення:

T_0 – стала часу об'єкта регулювання (ГТУ);

$k_G, k_N, k_{че}, k_{ze}, k_{zp}, k_{bm}, k_{po}$ – коефіцієнти передачі ГТУ по керуючому й збурюючому впливах, чутливого елемента, задаючого елемента, золотникового підсилювача, виконавчого механізму і регулювального органу;

$n, G, N, h_{ze}, h_{zp}, G_{zp}, P_{че}, P_{ze}$ – відносні відхилення від базових значень частоти обертання, витрати палива, потужності споживача, затягування пружини задаючого елемента, переміщення золотника підсилювача, витрат на виході золотникового підсилювача, зусиль, що розвивають чутливий і задаючий елементи.

Структурну схему САР наведено на рис. 4.3.

Чисельні значення коефіцієнтів рівнянь елементів САР і значення задаючої та збурюючої дій наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Коефіцієнти	Варіанти				
	1	2	3	4	5
T_0	10	15	20	25	30
N	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6
k_N	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

$P_{зе}$	0	0	0	0	0
k_G	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
k_{po}	2	2	2	2	2
$k_{че}$	1	1	1	1	1
$k_{зп}$	2	2	2	2	2
$k_{вм}$	0,1 0,5 1	0,1 0,5 1	0,1 0,5 1	0,1 0,5 1	0,1 0,5 1

Схему набору моделі САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за інтегральним законом у MATLAB наведено на рис. 4.4.

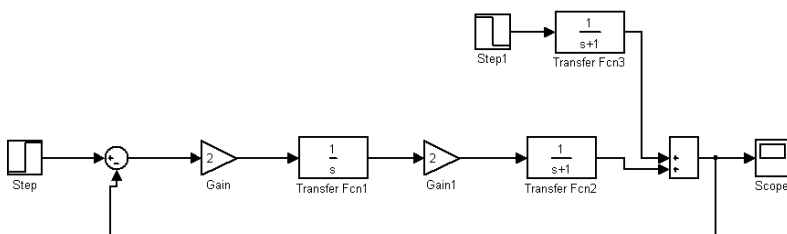


Рис. 4.4. Схема набору моделі САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за інтегральним законом у MATLAB

4.3. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму MATLAB.
2. Привести функціональну схему до машинного виду, використовуючи значення коефіцієнтів з табл. 4.1, відповідно до варіанта, зазначеного викладачем.
3. Провести моделювання САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за інтегральним законом на ЕОМ у MATLAB.

4. У MATLAB одержати перехідну функцію САР при подачі збурюючого впливу і зміні параметрів настроювання регулятора. Для цього необхідно на вхід каналу збурюючого впливу, подати імпульс N , згідно табл.4.1. При цьому на вхід каналу керуючого впливу $P_{зе}$ подати імпульс $P_{зе} = 0$. Після цього задаючись значеннями коефіцієнта передачі виконавчого механізму $k_{вм}$ згідно табл. 3, одержати та накреслити графіки перехідних функцій САР.

4.4. Обробка результатів дослідження

1. За графіками визначити наступні показники якості отриманих перехідних процесів: максимальне динамічне відхилення A ; час регулювання t_p ; відносне перерегулювання σ ; ступінь загасання коливань ψ .

2. Побудувати функціональні залежності показників якості від значень коефіцієнта передачі виконавчого механізму $k_{вм}$.

3. Проаналізувати результати п. 2 і визначити перехідні процеси з найкращими й найгіршими показниками якості.

4. Зробити висновки про вплив параметрів настроювання регулятора на показники якості САР.

4.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Принципову й функціональну схеми САР, схему набору моделі САР у MATLAB.

2. Рівняння й передаточні функції елементів САР.

3. Зняті криві перехідних процесів і результати їхньої обробки: залежності показників якості від змінюваних параметрів настроювання регулятора.

4. Висновки по роботі.

4.5 Питання для самоперевірки та захисту

1. Що таке автоматичний регулятор?

2. Основні елементи автоматичного регулятора.

3. Призначення елементів автоматичного регулятора.
4. Поняття системи автоматичного регулювання (САР).
5. Види САР по класифікації.
6. Закони роботи автоматичного регулятора.
7. Залежність властивостей САР від закону роботи регулятора.
8. Поняття про статичну характеристику.
9. Статична характеристика статичної та астатичної САР.
10. Устрій та принцип дії САР з І-регулятором.
11. Класифікація САР з І-регулятором.

Лабораторна робота № 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЖОРСТКОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ САР ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ГТУ

Мета роботи: вивчити вплив місцевих зворотних зв'язків на математичний опис і роботу САР.

5.1. Теоретичні відомості

При дослідженні впливу жорсткого зворотного зв'язку (ЗЗ) у якості початкової використаємо систему, принципова і функціональна схеми якої наведені на рис. 4.1 та 4.2. Охопимо негативним зворотним зв'язком виконавчий механізм (ВМ) і золотниковий підсилювач (ЗП). Для цього вихід ВМ подамо через пристрій ЗЗ на вхід ЗП. Конструктивно пристрій зворотного зв'язку показано пунктиром на рис. 4.1. На функціональній схемі (рис. 4.2) пунктиром показано, як включено пристрій ЗЗ. Структурно цей пристрій є підсилювальною ланкою та може бути описаний рівнянням

$$h_{33} = k_{33} h_{\text{ВМ}},$$

де k_{33} – коефіцієнт передачі пристрою (важеля) зворотного зв'язку; $h_{\text{ВМ}}$, h_{33} – відносні переміщення поршня ВМ і на виході ПЗЗ (гільзи золотникового підсилювача).

При включенні зворотного зв'язку рівняння золотникового підсилювача прийме вигляд

$$G_{зп} = k_{зп}(h_{зп} - h_{зз}).$$

Інші рівняння елементів САР не змінюється, їх варто використати з роботи № 4.

Робота САР у цілому не змінюється, але при введенні жорсткого зворотного зв'язку кожному положенню поршня виконавчого механізму відповідає нове положення гільзи золотникового підсилювача. Із цієї причини рівноважне положення золотника, а отже, і частота обертання будуть змінюватися при зміні навантаження на вала ГТУ.

Структурну схему САР наведено на рис. 5.1.

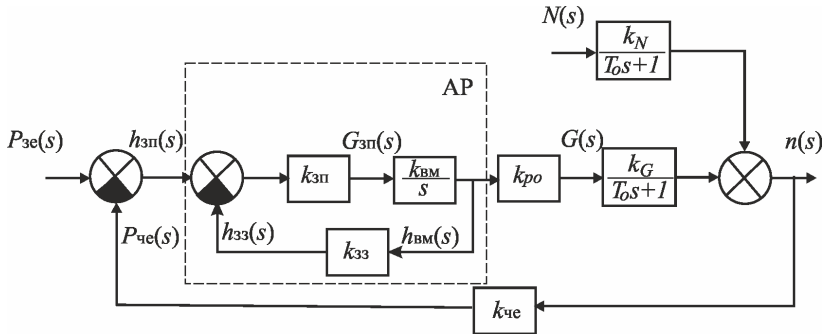


Рис. 5.1. Структурна схема САР

При включенні зворотного зв'язку передаточна функція автоматичного регулятора $W_{ар}(s)$ може бути одержана наступним чином:

$$W_{ар} = \frac{k_{зп} \cdot \frac{k_{БМ}}{s}}{1 + k_{зп} \cdot \frac{k_{БМ}}{s} \cdot k_{зз}} = \frac{k_{зп} \cdot \frac{k_{БМ}}{s}}{\frac{s + k_{зп} \cdot k_{БМ} \cdot k_{зз}}{s}} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{k_{3\Pi} \cdot k_{\text{BM}}}{k_{3\Pi} \cdot k_{\text{BM}} \cdot k_{33} \left(\frac{1}{k_{3\Pi} \cdot k_{\text{BM}} \cdot k_{33}} s + 1 \right)} = \\
&= \frac{1}{\frac{k_{33}}{T_{\text{ap}} s + 1}} = \frac{k_{\text{ap}}}{T_{\text{ap}} s + 1}, \tag{5.1}
\end{aligned}$$

де $k_{\text{ap}} = \frac{1}{k_{33}}$ – коефіцієнт передачі автоматичного регулятора;

$T_{\text{ap}} = \frac{1}{k_{3\Pi} \cdot k_{\text{BM}} \cdot k_{33}}$ – стала часу регулятора.

Регулятор, що має передаточну функцію виду (3.1) називають реальним пропорційним регулятором (П-регулятором). Чим менша стала часу T_{ap} , тим більше реальний регулятор приближається до ідеального з передаточною функцією $W_{\text{ap}} = k_{\text{ap}}$.

Схему набору моделі САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за пропорційним законом у MATLAB наведено на рис. 5.2.

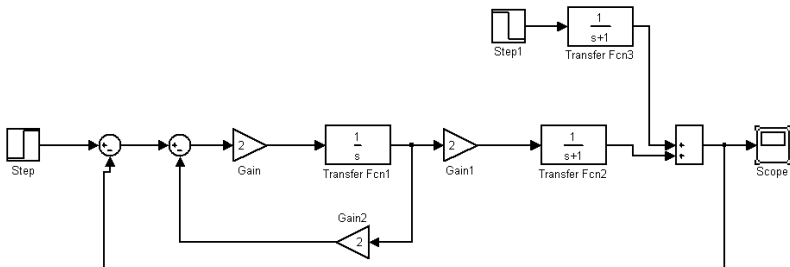


Рис. 5.2. Схема набору моделі САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за пропорційним законом у MATLAB

Чисельні значення коефіцієнтів зворотного зв'язку наведені в табл. 5.1. Значення всіх інших коефіцієнтів взяти з табл. 4.1. або по вказівці викладача.

5.2. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму MATLAB.
2. Згідно з результатами аналізу перехідних процесів, отриманих в лабораторній роботі № 4, визначити перехідний процес з найгіршими показниками якості.
3. Привести функціональну схему до машинного виду, використовуючи значення коефіцієнтів з табл. 4.1 та 5.1, відповідно до варіанта, визначеного згідно з п.2.
4. Провести моделювання САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за пропорційним законом на ЕОМ у MATLAB.
5. У MATLAB одержати перехідну функцію об'єкта при подачі збурюючого впливу і зміні параметрів настроювання регулятора. Для цього необхідно на вхід каналу збурюючого впливу, подати імпульс N , згідно табл.4.1. При цьому на вхід каналу керуючого впливу подати імпульс $P_{зе} = 0$. Після цього, задаючись значеннями коефіцієнта передачі жорсткого зворотного зв'язку $k_{зз}$ згідно табл. 5.1, одержати та накреслити графіки перехідних функцій САР.
6. Змінити значення імпульсу N на величину визначену викладачем. Після цього, задаючись значеннями коефіцієнта передачі жорсткого зворотного зв'язку $k_{зз}$ згідно табл. 5.1, одержати та накреслити графіки перехідних функцій САР при зміненому значенні N .

Таблиця 5.1

Коефіцієнти	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$k_{зз}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

5.3. Обробка результатів дослідження

1. За графіками отриманими згідно п. 5 порядку виконання роботи, визначити наступні показники якості отриманих перехідних процесів: максимальне динамічне відхилення A ; час регулювання t_p ; відносне перерегулювання σ ; ступінь загасання коливань ψ , статичну помилку δ .

2. Побудувати функціональні залежності показників якості від значень коефіцієнта передачі жорсткого зворотного зв'язку $k_{зз}$.

3. Проаналізувати результати п. 2 і визначити перехідні процеси з найкращими й найгіршими показниками якості.

4. Використовуючи графіки, отримані згідно п. 5–6 порядку виконання роботи, побудувати статичну характеристику САР для кожного значення $k_{зз}$.

5. Зробити висновки про вплив параметрів налаштування регулятора на показники якості САР.

5.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Принципову й функціональну схеми САР, схему набору моделі САР у MATLAB.

2. Рівняння й передаточні функції елементів САР.

3. Зняті криві перехідних процесів і результати їхньої обробки: залежності показників якості від змінюваних параметрів налаштування регулятора, статичну характеристику системи.

4. Висновки по роботі.

5.5. Питання для самоперевірки та захисту

1. Засоби реалізації П-закону регулювання.

2. Поняття ідеального та реального П-регулятора.

3. Устрій та принцип дії САР з П-регулятором.

4. Статична характеристика САР з П-регулятором.

5. Поняття нерівномірності регулювання.

6. Якість роботи САР. Показники якості.

7. Залежність нерівномірності САР від коефіцієнта передачі розімкненої-САР.

8. Склад П-регулятора та призначення елементів.

Лабораторна робота № 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГНУЧКОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ САР ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ГТУ (САР З ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНИМ РЕГУЛЯТОРОМ)

Мета роботи: 1. Дослідити вплив параметрів гнучкого зворотного зв'язку на якість роботи САР; 2. Ознайомитись з деякими засобами реалізації пропорційно-інтегрального регулятора (ПІ-регулятора).

6.1. Теоретичні відомості

Автоматичні регулятори, в яких використовується гнучкий зворотній зв'язок, реалізують пропорційно-інтегральний закон роботи (ПІ-закон).

Рівняння руху і передаточна функція ідеального ПІ-регулятора мають вигляд

$$y = k \left(x + \frac{1}{T_i} \int x dt \right);$$

$$W_{\text{ПІ}}(s) = k \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = k \frac{T_i s + 1}{T_i s}. \quad (6.1)$$

При стрибкоподібній зміні регульованої величини на виході ПІ-регулятора дія у змінюється в часі як показано на рис. 6.1,*а*, на виході реального регулятора на рис. 6.1,*б*.

Реалізація ПІ-регулятора шляхом включення зворотного зв'язку з виходу підсилювального пристрою-рис. 6.2,*а*) або з виходу виконавчого механізму рис. 6.2,*б*).

На структурній схемі 6.2,*а* підсилювач k_1 охоплено зворотнім зв'язком у вигляді аперіодичної ланки. На схемі 6.2,*б* підсилювач разом з виконавчим механізмом охоплено зворотнім зв'язком в вигляді реальної диференціюючої ланки.

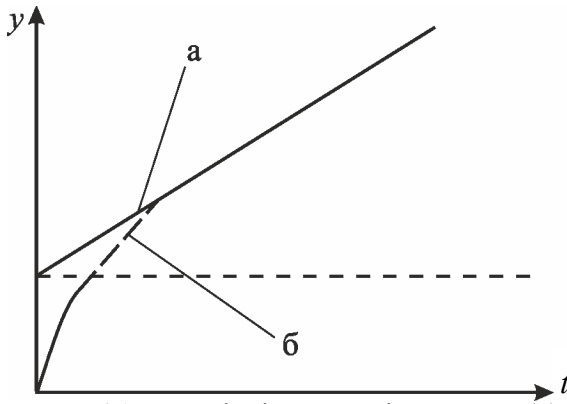


Рис. 6.1. Перехідні процеси ідеального (*а*) та реального (*б*) ПІ-регулятора

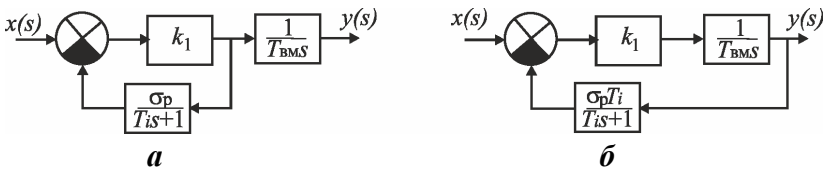


Рис. 6.2. Структурна схема реального ПІ-регулятора.

Передаточні функції регулятора, що приведені на структурних схемах, можуть бути знайдені так:

$$W(s) = \frac{k_1}{1 + \frac{k_1 \sigma_p}{T_i s + 1}} \cdot \frac{1}{T_{\text{вм}} s} = \frac{k_p (T_i s + 1)}{T_i s} \cdot \frac{1/k + 1}{\left(\frac{k T_i s}{k + 1} + 1 \right)}, \quad (6.2)$$

$$\text{де } k_p = \frac{T_i}{\sigma_p T_{\text{вм}}}; \quad k = \frac{1}{k_1 \sigma_p} = \frac{T_{\text{вм}} k_p}{T_i k_1}.$$

Якщо порівняти це вираження з передаточною функцією (6.1) ідеального ПІ-регулятора, то можна виявити, що в складі реального регулятора присутня так звана баластна ланка у вигляді аперіодичної ланки з постійною часу $\frac{k T_i}{k + 1}$ та з коефіцієнтом передачі $\frac{1}{k + 1}$.

Для структурної схеми на рис. 6.2,б одержано, що загальний вигляд передаточної функції такий же, але значення k_p дорівнює $k_p = \frac{1}{\sigma_p}$, тобто не залежить від постійної часу виконавчого механізму $T_{\text{вм}}$ і від постійної часу інтегрування T_i . Передаточні функції баластних ланок для обох випадків однакові.

При $k = 0$ регулятор стає ідеальним. Чим більше значення k тим сильніше відхилення характеристик розглянутої моделі від характеристик ідеального регулятора.

Область нормальної роботи визначається нерівностями:

$$\Delta M < 1 - M_{\text{бал}}; \quad \Delta \varphi < \varphi_{\text{бал}},$$

де ΔM та $\Delta \varphi$ – задані норми відхилення по модулю і фазі амплітудних і фазочастотних характеристик. Конструктивна

схема ПІ-регулятора, що реалізована згідно до структурної схеми на рис. 6.2,б приведена в лабораторній роботі 8.

Чисельні значення коефіцієнтів передаточних функцій CAP з ПІ-регулятором наведені в табл. 6.1.

При виконанні роботи за любым варіантом по вказівці викладача задаються значення всіх елементів, з тих що, були використані в лабораторних роботах 4,5. Значення параметрів гнучкого зворотного зв'язку σ_p та T_i змінюються згідно з табл. 6.1.

Схема набору CAP з гнучким зворотнім зв'язком, що працює за реальним пропорційно-інтегральним законом приведена на рис. 6.3.

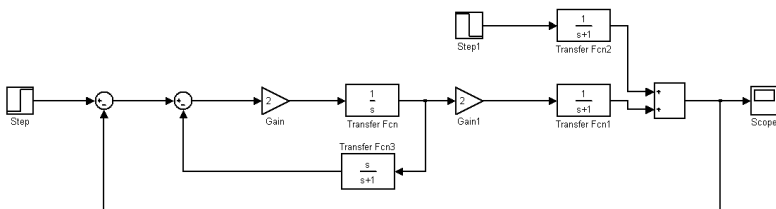


Рис. 6.3. Схема набору моделі CAP частоти обертання вала ГТУ, що працює за реальним ПІ законом регулювання в MATLAB

6.2. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму MATLAB.
2. Одержати функціональну схему CAP частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за пропорційно-інтегральним законом відповідно до рівняння її елементів і принципової схеми.
3. Привести функціональну схему до машинного виду, використовуючи значення коефіцієнтів з табл. 4.1 та табл. 6.1, відповідно до варіанту, визначеного викладачем.
4. Провести моделювання CAP частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за пропорційно-інтегральним законом на ЕОМ у MATLAB.

5. У MATLAB одержати перехідну функцію САР при подачі збурюючого впливу та зміні параметрів настроювання регулятора. Для цього необхідно на вхід каналу збурюючого впливу, подати імпульс N , згідно табл. 4.1. При цьому на вхід каналу керуючого впливу подати імпульс $P_{зе} = 0$. Після цього, задаючись значеннями параметрів гнучкого зворотного зв'язку k_p та T_i згідно табл. 6.1, одержати та намалювати графіки перехідних функцій САР.

Таблиця 6.1

Коефіцієнти	Варіанти				
	1	2	3	4	5
k_p	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15
T_i	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	1	2	3	4	5
	20	21	22	23	24

6.3. Обробка результатів дослідження

1. За графіками отриманими згідно п. 5 порядку виконання роботи, визначити показники якості отриманих перехідних процесів.

2. Побудувати функціональні залежності показників якості від параметрів гнучкого зворотного зв'язку k_p та T_i .

3. Проаналізувати результати п. 2 і визначити перехідні процеси з найкращими й найгіршими показниками якості.

4. Зробити висновки про вплив параметрів настроювання регулятора на показники якості САР.

6.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Принципову й функціональну схеми САР, схему набору моделі САР у MATLAB.

2. Рівняння й передаточні функції елементів САР.

3. Зняті криві перехідних процесів і результати їхньої обробки: залежності показників якості від змінюваних параметрів налаштування регулятора.

4. Висновки по роботі.

6.5. Питання для самоперевірки та захисту

1. Закони роботи промислових регуляторів.
2. Засоби реалізації ПІ закону роботи регулятора.
3. Умови приближення характеристик реального ПІ-регулятора до ідеального.
4. Принцип дії САР з гнучким зворотним зв'язком.
5. Залежність якості роботи САР від параметрів зворотного зв'язку.
6. Показники якості перехідного процесу.
7. Одержати закон роботи реального та ідеального ПІ-регулятора згідно до схеми на рис. 6.2.

Лабораторна робота № 7. ДОСЛІДЖЕННЯ САР ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ГТУ З РЕГУЛЯТОРОМ, ЩО ПРАЦЮЄ ЗА ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ЗАКОНОМ

Мета роботи: 1) Ознайомитись з деякими засобами реалізації пропорційно-інтегрально-диференційних (ПІД) регуляторів; 2) вивчити вплив додаткового сигналу за похідною від регульованої величини.

7.1. Теоретичні відомості для виконання роботи

ПІД-регулятори діють на регулюючий орган пропорційно відхиленню регульованої величини x , інтегралу цього відхилення, швидкості зміни регульованої величини і описується наступним рівнянням:

$$y = k \left(x + \frac{1}{T_i} \int x dt + T_d \frac{dx}{dt} \right). \quad (7.1)$$

Передаточна функція регулятора:

$$W(s) = k \frac{T_d T_i s^2 + T_i s + 1}{T_i s}. \quad (7.2)$$

При стрибкоподібній зміні регульованої величини ідеальний ПІД-регулятор в початковий момент часу чинить миттєву нескінченно велику дію на регулюючий орган; потім величина дії миттєво падає до значення, що визначається пропорційною частиною регулятора, після чого, як і в ПІ-регуляторі, поступово починає виявляти свій вплив астатична частина регулятора (рис. 7.1).

Параметрами налагодження регулятора являються коефіцієнт пропорційності регулятора k , постійна часу інтегрування T_i і постійна часу диференціювання T_d (або T_n – час упередження).

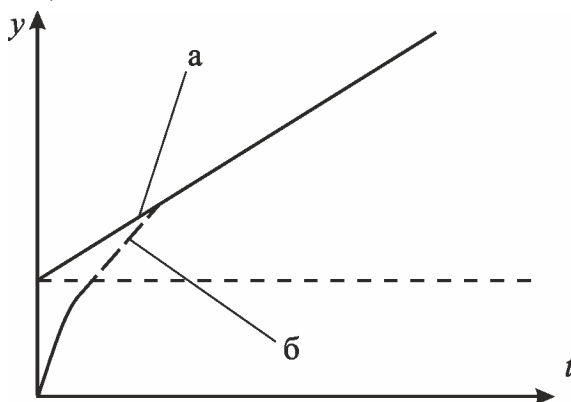


Рис. 7.1. Графік перехідного процесу ПІД-регулятора

Цей регулятор по можливостям налагодження являється більш універсальним в порівнянні з іншими регуляторами. З його допомогою можна реалізувати різні закони регулювання. Так, при $T_d = 0$ і нескінченно великій величині T_i одержуємо ПІ-регулятор.

При $T_d = 0$ і достатньо малих значеннях k та T_i , але таких щоб відношення k/T_i можна було реалізувати, одержимо І-регулятор.

При $T_d = 0$ і кінцевих значеннях k та T_i маємо ПІ-регулятор.

При нескінченно великій величині T_d і кінцевих значеннях k та T_i одержимо ПД-регулятор.

Закон регулювання ПІД-регулятора, подібно П- та І-регуляторам має інтегральну складову, тобто являється астатичним і не дає остаточної нерівномірності.

Перехідна характеристика ПІД-регулятора приведена на рис. 7.1, де x_0 – величина стрибкоподібної зміни відхилення регульованої величини.

Рівняння регуляторів, що створені з реальних елементів, звичайно суттєво відрізняються від ідеальних регуляторів. Розглянемо спочатку лінійну модель реального регулятора, тобто припустимо, що рівняння реального регулятора лінеаризовано, але відрізняється від рівняння стандартного ідеального регулятора.

Для аналізу відхилення характеристик ідеального і реального регуляторів зручно представити передаточну функцію реального регулятора у вигляді добутку передаточних функцій ідеального регулятора із стандартним законом регулювання $W_{\text{ід}}(s)$ і деякої баластної ланки $W_{\text{бал}}(s)$, тоді передаточна функція реального регулятора запишеться у вигляді

$$W_p(s) = W_{\text{ід}}(s) \cdot W_{\text{бал}}(s). \quad (7.3)$$

В (7.3) структура регулятора представлена у вигляді послідовного з'єднання ідеального регулятора і баластної ланки. Відхилення частотних характеристик регулятора визначається частотними характеристиками баластної ланки. Якщо $W_{\text{бал}}(s) = 1$, тобто модуль баластної ланки $M_{\text{бал}}(\omega) = 1$ і фаза баластної ланки $\varphi_{\text{бал}}(\omega) = 0$, то регулятор ідеальний. Чим

більше $W_{\text{бал}}(i\omega)$ відрізняється від одиниці, тим значніше відмінність властивостей якості регулювання в системах з ідеальним і реальним регуляторами. Допустимі норми відхилення по модулю $\pm 10\%$, по фазі $\pm 15\%$.

Звичайно для системи регулювання суттєвим є порівняно вузький діапазон частот, що визначається властивостями об'єкта регулювання.

З ПД-законами регулювання в основному реалізуються електричні та мікропроцесорні регулятори.

Досвід показує, що введення допоміжного імпульсу за похідною від відхилення регульованої величини не дає суттєвого покращення перехідного процесу регулювання для простих одноємнісних об'єктів, тому в багатьох випадках застосовують ПД-регулятори і менш складні І та П-регулятори.

Пряма реалізація ПД – закону регулювання, тобто пряме введення в регулятор додаткового імпульсу за похідною на практиці знайшло застосування здебільшого в мікропроцесорних і аналогових операційних системах, а в інших випадках складні закони регулювання одержують введенням особливого виду зворотного зв'язку.

Рівняння, що описує зміну регульованої величини для такого зв'язку на відміну від рівняння для ізодромного зв'язку являється рівнянням другого порядку.

$$T_2^2 x'' + T_1 x' + x = k y'. \quad (7.4)$$

Рівняння (7.4) при $T_2 = 0$ переходить в рівняння для гнучкого (ізодромного) зворотного зв'язку

$$T_i x' + x = T_i k y'.$$

Якщо $T_1 = T_i$, а $T_2^2 = T_i T_d$, то рівняння (7.4) можна переписати так:

$$T_i T_d x'' + T_i x' + \Delta x = T_i k y'. \quad (7.5)$$

Постійна часу $T_d = T_{\Pi}$ носить назву час упередження.

Такий зворотний зв'язок при реалізації ПІД-регулятора використовується, якщо він охоплює управляючий пристрій і виконавчий механізм (рис. 7.2).

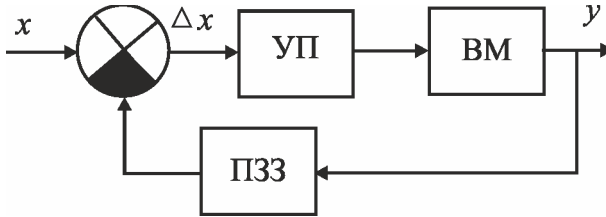


Рис. 7.2. Функціональна схема ПІД-регулятора, коли зворотний зв'язок охоплює управляючий пристрій і виконавчий механізм

Часто реалізують такий зворотний зв'язок як послідовне з'єднання двох ланок: аперіодичної першого порядку і реальної диференційної ланки (рис. 7.3).

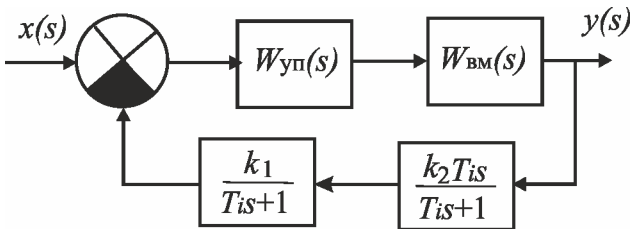


Рис. 7.3. Структурна схема ПІД-регулятора, при охопленні зворотним зв'язком управляючого пристрою і виконавчого механізму

Друга можливість одержання ПІД-регулятора, коли зворотним зв'язком охоплюють тільки управляючий пристрій (рис. 7.4,*а*). В цьому випадку зворотній зв'язок представляє собою аперіодичну ланку другого порядку або дві послідовно з'єднані аперіодичні ланки першого порядку (рис. 7.4,*б*).

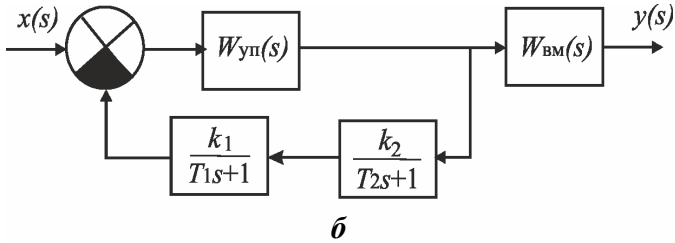
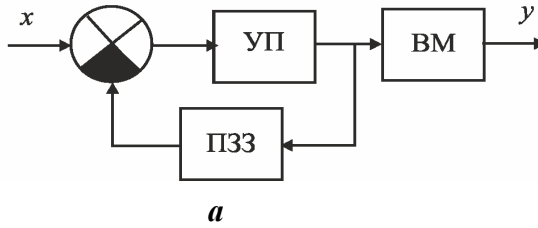


Рис. 7.4. Функціональна і структурна схеми ПІД-регулятора, коли зворотній зв'язок охоплює тільки управляючий пристрій

Передаточна функція ПІД-регулятора для схеми на рис. 7.3. може бути одержана так:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ПІД}}(s) &= \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{W_{\text{yp}}(s)W_{\text{бм}}(s)}{1 + W_{\text{yp}}(s)W_{\text{бм}}(s)W_{\text{зз}}(s)} = \\
 &= \frac{k_{\text{yp}} \cdot k_{\text{бм}} / s}{1 + \frac{k_{\text{yp}} \cdot (k_{\text{бм}} / s) \cdot k_1 \cdot T_i \cdot k_2 \cdot s}{(T_1 s + 1)(T_i s + 1)}} = \frac{k_{\text{yp}} k_{\text{бм}} / s}{\frac{(T_1 s + 1)(T_i s + 1) + k_{\text{yp}} k_{\text{бм}} k_i T_i k_2}{(T_1 s + 1)(T_i s + 1)}} = \\
 &= \frac{k_{\text{yp}} k_{\text{бм}} [T_1 T_i s^2 + (T_1 + T_i)s + 1]}{s [T_1 T_i s^2 + (T_1 + T_i)s + 1 + k_{\text{yp}} k_{\text{бм}} k_1 T_i k_2]} =
 \end{aligned}$$

$$= \frac{k_{\text{уп}}k_{\text{БМ}}[T_1T_is^2 + (T_1 + T_i)s + 1]}{s \left[k_{\text{БМ}}\Pi \left(\frac{T_1T_i}{k_{\text{БМ}}\Pi} s^2 + \frac{T_1 + T_i}{k_{\text{БМ}}\Pi} s + \frac{1}{k_{\text{БМ}}\Pi} + 1 \right) \right]},$$

де $\Pi = k_{\text{уп}}k_{\text{БМ}}k_1T_ik_2$.

Якщо числове значення коефіцієнту Π настільки велике, що вирази в дужках у знаменнику стають настільки малими, щоб ними можна було знехтувати, то передаточна функція автоматичного регулятора приблизно може бути записана так:

$$\begin{aligned} W_{\text{ПД}}(s) &\approx \frac{k_{\text{уп}}k_{\text{БМ}}[T_1T_is^2 + (T_1 + T_i)s + 1]}{sk_{\text{БМ}}\Pi} = \\ &= \frac{k_{\text{уп}}[T_1T_is^2 + (T_1 + T_i)s + 1]}{s\Pi} = \frac{k_{\text{уп}}[1 + (T_1 + T_i)s + T_1T_is^2]}{sk_{\text{уп}}k_1T_ik_2} = \\ &= \frac{[1 + (T_1 + T_i)s + T_1T_is^2]}{T_ik_1k_2s} = \frac{1 + (T_1 + T_i)s + T_1T_is^2}{as}, \end{aligned}$$

де $a = T_ik_1k_2$.

Рівняння автоматичного регулятора у такому випадку відповідають теоретичному ПД-закону регулювання та є такими:

$$\begin{aligned} y(s) &= \frac{1 + (T_1 + T_i)s + T_1T_is^2}{as} x(s); \\ y &= \frac{T_1 + T_i}{a} x + \frac{1}{a} \int x dt + \frac{T_1T_i}{a} \frac{dx}{dt}; \end{aligned}$$

$$y = k_{p1}x + k_{p2} \int x dt + k_{p3} \frac{dx}{dt},$$

$$\text{де } k_{p1} = \frac{T_1 + T_i}{a}, k_{p2} = \frac{1}{a}, k_{p3} = \frac{T_1 T_i}{a}.$$

Передаточна функція ПІД-регулятора для схеми на рис. 7.4,б:

$$W_{\text{ПІД}}(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k_{\text{уп}} \frac{k_{\text{БМ}}}{s}}{1 + k_{\text{уп}} \frac{k_1}{T_1 s + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 s + 1}} = \frac{\frac{k_{\text{уп}} k_{\text{БМ}}}{s} (T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) + k_{\text{уп}} k_1 k_2}.$$

Позначимо $k_{33} = k_1 k_2$, тоді:

$$\begin{aligned} W_{\text{ПІД}}(s) &= \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k_{\text{уп}} k_{\text{БМ}} [1 + (T_1 + T_2)s + T_1 T_2 s^2]}{s [1 + (T_1 + T_2)s + T_1 T_2 s^2 + k_{\text{уп}} k_{33}]} = \\ &= \frac{k_{\text{уп}} k_{\text{БМ}} [1 + (T_1 + T_2)s + T_1 T_2 s^2]}{s k_{\text{уп}} k_{33} \left[\frac{1}{k_{\text{уп}} k_{33}} + \frac{T_1 + T_2}{k_{\text{уп}} k_{33}} s + \frac{T_1 T_2}{k_{\text{уп}} k_{33}} s^2 + 1 \right]}. \end{aligned}$$

Якщо підібрати параметри так, щоб добуток $k_{\text{уп}} k_{33}$ був достатньо великим і таким, що вирази в дужках у знаменнику стають настільки малими, щоб ними можна було знехтувати, то будемо мати:

$$W_{\text{ПІД}}(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k_{\text{уп}} k_{\text{БМ}} [1 + (T_1 + T_2)s + T_1 T_2 s^2]}{s k_{\text{уп}} k_{33}} =$$

$$= \frac{k_{\text{BM}} [1 + (T_1 + T_2)s + T_1 T_2 s^2]}{s k_{33}} = \frac{k_{\text{BM}}}{k_{33}} \left[\frac{1}{s} + (T_1 + T_2) + T_1 T_2 s \right].$$

Рівняння автоматичного регулятора у такому випадку відповідають теоретичному ПД-закону регулювання та є такими:

$$y(s) = \left[\frac{k_{\text{BM}}}{k_{33}} \frac{1}{s} + \frac{(T_1 + T_2)k_{\text{BM}}}{k_{33}} + \frac{T_1 T_2 k_{\text{BM}}}{k_{33}} s \right] x(s) = \left(\check{k}_{p1} + \frac{\check{k}_{p2}}{s} + \check{k}_{p3} s \right) x(s);$$

$$y = \check{k}_{p1} x + \check{k}_{p2} \int x dt + \check{k}_{p3} \frac{dx}{dt},$$

$$\text{де } \check{k}_{p1} = \frac{(T_1 + T_2)k_{\text{BM}}}{k_{33}}, \check{k}_{p2} = \frac{k_{\text{BM}}}{k_{33}}, \check{k}_{p3} = \frac{T_1 T_2 k_{\text{BM}}}{k_{33}}.$$

Таким чином при належному підборі передаточних коефіцієнтів ми будемо мати ПД-регулювання.

У регуляторах, де використані елементи аналогових або дискретних обчислювальних машин ПД-регулятор можна реалізувати по схемі, наведеній на рис. 17.

У цьому випадку реалізація ПД-регулятора найбільше близька до ідеального регулятора.

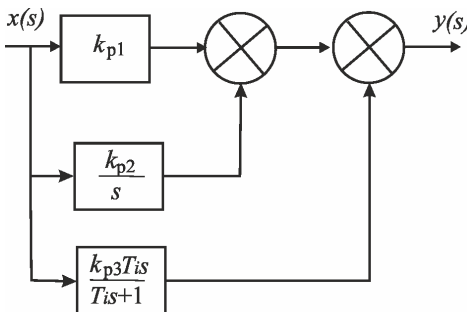


Рис. 7.5. Структурна схема регулятора, що реалізується з використанням обчислювальних машин або їхніх елементів

Структурна схема САР частоти обертів вала ГТУ при використанні ПІД-регулятора, що на рис. 7.5, в загальному вигляді представлена на рис. 7.6.

На рис. 7.6 позначено:

$k_{\text{пр}}$ – передаточна функція слідкуючого приводу і регулюючого органу, що змінюють за командами мікропроцесорного управляючого пристрою витрату палива; $k_{\text{д}}$ – передаточна функція датчика частоти обертів вала; $W_o^N(s)$, $W_o^G(s)$ – передаточні функції регульованого об'єкта.

Схема набору САР з регулятором, що працює за ПІД-законом у MATLAB приведена на рис. 7.7.

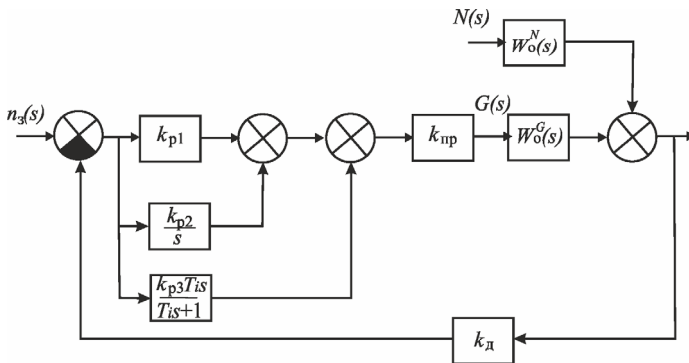


Рис.7.6. Структурна схема САР, при використанні елементів обчислювальних машин

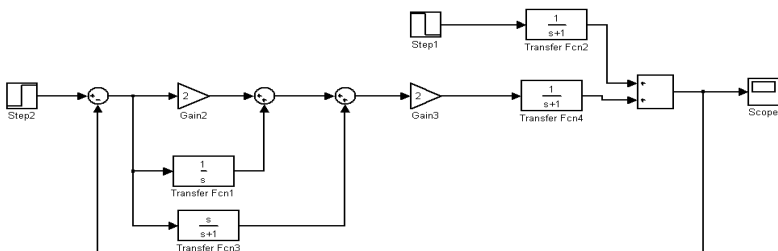


Рис. 7.7. Схема набору моделі САР частоти обертання вала ГТУ, що працює за ПІД-законом, в MATLAB

7.2. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму MATLAB.

2. Одержати функціональну схему САР частоти обертання вала ГТУ з регулятором, що працює за ПД-законом відповідно до рівняння її елементів і принципової схеми.

3. Привести функціональну схему до машинного виду, використовуючи значення коефіцієнтів з табл. 4.1, 7.1, відповідно до варіанту.

4. Провести моделювання САР частоти обертання ГТУ з регулятором, що працює за ПД-законом на ЕОМ у MATLAB.

5. У MATLAB одержати перехідну функцію об'єкта при подачі збурюючого впливу і зміні параметрів настроювання регулятора. Для цього необхідно на вхід каналу збурюючого впливу, подати імпульс N , згідно табл. 4.1. При цьому на вхід каналу керуючого впливу подати імпульс $P_{ze} = 0$. Після цього задаючись значеннями коефіцієнта передачі у блоці 12 (див. рис. 7.7) k_{12} згідно табл. 7.1, одержати та намалювати графіки перехідних функцій САР. Значення коефіцієнта з блоку 13 k_{13} прийняти згідно табл. 7.1. Значення коефіцієнта з блоку 13 T_{13} прийняти рівним коефіцієнту T_0 згідно табл. 4.1.

Таблиця 7.1

Коефіцієнти	Варіанти				
	1	2	3	4	5
k_{p2}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
k_{p3}	5	5	5	5	5
	1	2	10	3	8

7.3. Обробка результатів дослідження

1. За графіками, отриманими згідно п. 5 порядку виконання роботи, визначити наступні показники якості отриманих перехідних процесів: максимальне динамічне відхилення A_1 ;

час регулювання t_p ; відносно перерегулювання σ ; ступінь загасання коливань ψ .

2. Побудувати функціональні залежності показників якості від значень коефіцієнтів передачі k_{12} та k_{13} .

3. Проаналізувати результати п.2 і визначити перехідні процеси з найкращими й найгіршими показниками якості.

4. Зробити висновки про вплив параметрів настроювання регулятора на показники якості САР.

7.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Принципову й функціональну схеми САР, схему набору моделі САР у MATLAB.

2. Рівняння й передаточні функції елементів САР.

3. Зняті криві перехідних процесів і результати їхньої обробки: залежності показників якості від змінюваних параметрів настроювання регулятора.

4. Висновки по роботі.

7.5. Питання для самоперевірки та захисту

1. Особливості роботи автоматичного регулятора з ПД- законом роботи.

2. Засоби реалізації ПД – закону регулювання.

3. Відмінності реального та ідеального засобу реалізації ПД- закону регулювання.

4. Поняття зворотного зв'язку. Вплив виду зворотного зв'язку на закон роботи регулятора.

5. Залежність якості перехідного процесу регулювання від закону роботи регулятора.

6. Показники якості перехідного процесу регулювання.

Лабораторна робота № 8. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА РОБОТУ САР ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДОДАТКОВОГО СИГНАЛУ ПО НАВАНТАЖЕННЮ НА ГЕНЕРАТОР

Мета роботи: дослідження впливу на роботу САР частоти обертання вала ГТУ наявності та параметрів додаткового сигналу по навантаженню, яке діє на ГТУ.

8.1 Опис роботи САР

Принципову схему САР частоти обертання вала ГТГ наведено на рис. 8.1.

Система автоматичного регулювання частоти обертання одновальної ГТУ описана в лабораторній роботі № 4. В цій роботі приводяться доповнення, що впливають на дію жорсткого зворотного зв'язку 12 (рис. 8.1) та сигналу по навантаженню з виходу електромагнітного приводу ЕП.

Система включає об'єкт регулювання – турбокомпресор, автоматичний регулятор з жорстким або гнучким зворотнім зв'язком та допоміжний сигнал за величиною навантаження. Згідно з класифікацією така система називається комбінованою.

Наявність зворотного зв'язку при двосторонньо діючому виконавчому механізмі робить САР статичною або астатичною в залежності від ступеня відкриття дроселя 16, САР що

працює за відхиленням, а при включенні допоміжного сигналу за величиною навантаження – комбінованою.

Комбіновані системи використовують як один із засобів реалізації інваріантної системи. Такі системи більш складні, але дозволяють суттєво покращити якість перехідного процесу регулювання.

Згідно з іншими ознаками в класифікації, приведена система є електрогідравлічною, багатоконтурною, безперервною, лінеаризованою, а також, як уже згадувалося вище, працює за принципом відхилення з додатковим сигналом по збуджуючій дії з боку навантаження, яке створює електричний генератор ЕГ, тобто є комбінованою.

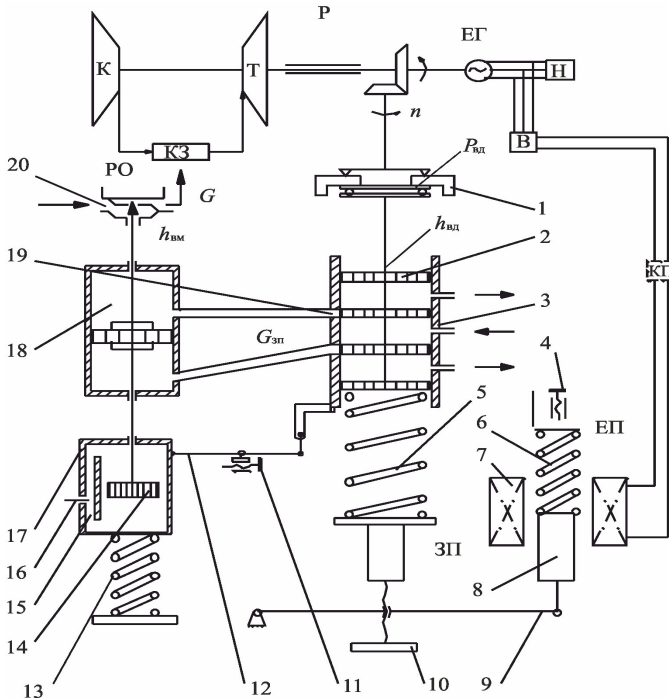


Рис. 8.1. Принципова схема САР частоти обертання турбогенератора з додатковим сигналом по навантаженню

До складу регулятора входять: вимірюючий пристрій – відцентровий датчик обертів вала ГТУ 1, золотниковий підсилювач, до складу якого входять плунжер – золотник 2 і гільза золотника 3, поршневий двосторонній виконавчий механізм 18, регулюючий орган – дросельний клапан 20, пристрій від'ємного зворотного зв'язку 11–17, важіль зворотного зв'язку 12, випрямляч В, електромагнітний привід ЕП, що включає котушку 7, плунжер 8, важільну передачу 9, задаючий пристрій, що складається із задаючої пружини 5 і пристрою – гвинт-гайка 10 для зміни стискування пружини 5.

Пристрій зворотного зв'язку – пристрій ізодрому, включає в себе важіль 12, пружину 13, поршень 14, обвідний (байпасний) канал 15, дросельний клапан 16, пристрій для зміни коефіцієнта передачі зворотного зв'язку 11.

Об'єкт регулювання включає компресор К, камеру згоряння КЗ, турбіну Т. Турбіна приводить в дію електричний генератор ЕГ, вироблена енергія підводиться до навантаження Н (до користувачів енергії).

Задана частота обертання $n_{зд}$ встановлюється попереднім стискуванням пружини 5 за допомогою пристрою 10 (гвинт-гайка в даному випадку). Вхідними координатами являються задаюча дія $n_{зд}$, збурююча дія N , що створюється навантаженням Н, яке включено в мережу електрогенератора ЕГ. Генератор приводиться в дію турбокомпресором.

На усталеному режимі зусилля, що здійснює пружина 5 врівноважується зусиллям з боку відцентрового датчика 1, а виконавчий механізм 18 і регулюючий орган 20 підтримують витрату палива G , що подається в камеру згоряння КЗ, постійною.

При зміні частоти обертання n ця рівновага порушується і регулятор змінює витрату палива доти не буде встановлено задану частоту обертання. Наприклад, при зменшенні n

в результаті зростання навантаження H , зусилля, що розвиває відцентровий датчик також зменшиться, золотник 2 під дією пружини 5 переміститься вгору. Отвори 19 в гільзі золотника 3 відкриються таким чином, що верхня порожнина поршня виконавчого механізму 18 з'єднається з магістраллю високого тиску робочої рідини, а нижня – з магістраллю низького тиску, і поршень під дією різниці тисків зміститься вниз, прохідний отвір регулюючого органу 20 і витрата палива G зростуть. По закінченню перехідного процесу регулювання буде встановлено витрату палива таку, що відповідає новому навантаженню, при якому частота обертання рівна заданій (в астатичній системі).

Розглянемо вплив на роботу системи зворотного зв'язку та додаткового сигналу за збурюючою дією.

Дія зворотного зв'язку поліпшує якість роботи системи і залежить від параметрів налагодження. Пристрій зворотного зв'язку має два параметри налагодження – коефіцієнт передачі k_{33} та час ізодрому T_i , які можна змінювати гвинтовою парою 11 та величиною відкриття дроселя 16 відповідно.

Якщо дросель 16 знаходиться в закритому положенні і вважати, що потоків рідини не має, а рідина не стискувана, то поршень 14 і циліндр 17 будуть переміщуватись як одне ціле, то це буде випадок застосування жорсткого зворотного зв'язку. Тобто реалізується П-закон.

При повністю відкритому дроселі 16 і коли пружина 13 має таку жорсткість, що втримує циліндр 17 на місці, а поршень 14 переміщується вільно і переміщує робочу рідину із однієї порожнини в іншу через обвідний канал 15 і дросель 16. В цьому випадку гільза 3 золотникового підсилювача залишається нерухомою і зворотний зв'язок відсутній, як це було при І-законі роботи регулятора.

В третьому випадку, коли дросель 16 відкритий частково, на перехідних режимах будуть рухатись і поршень 14 і циліндр 17. Буде і взаємний рух поршня відносно циліндра, а в усталеному режимі, коли поршень виконавчого механізму 18 займе положення відповідне навантаженню, циліндр 17 і гільза 3 кожного разу за допомогою пружини 13 будуть займати одне й теж саме положення в статиці, як це було при І-законі роботи регулятора, що дає змогу реалізувати астатичну систему. Як ми бачимо – в перехідному режимі зворотній зв'язок діє і реалізується пропорційний закон, а в усталеному – не діє і реалізується інтегральний закон. Таким чином ми маємо ПІ-закон, що дає змогу одержати високу якість перехідного процесу регулювання без залишкового відхилення. Конкретні установлені значення параметрів k_{zz} і T_i залежать від властивостей об'єкта регулювання і заданих вимог до якості перехідного процесу регулювання.

Пристрій для подачі додаткового сигналу (ПДС) за збурюючою дією (навантаженню) включає електромагнітний привід ЕП, до якого входять задаючий гвинт 4 з пружиною 6, котушка 7, плунжер 8 і важільна передача 9. Збурююча дія – навантаження, що створюється на валу турбокомпресора оцінюється за величиною потужності. Так як напруга постійна, то за величиною струму I , що через випрямляч В підводиться до котушки 7 електромагнітного приводу ЕП, плунжер 8 приводиться в дію і, через важільну передачу 9, змінює натяг задаючої пружини 5. Величина дії ЕП може бути змінена настроєчним пристроєм – гвинтом 4 і пружиною 6.

При зростанні струму в навантаженні частота обертів вала ГТГ зменшується, а сила дії електромагнітного приводу ЕП зростає, плунжер 8 втягується в котушку 7 на більшу відстань і через важільну передачу більше здавлює пружину 5, золотник 2 підіймається вгору і дає команду виконавчому механізму

му 18 відкривати регулюючий орган 20 і збільшувати витрату палива G , а отже і частоту обертів вала n . В результаті чого можливий такий випадок, що n при зміні навантаження не буде змінюватись в статиці і менше змінюватись в динаміці. В такому випадку і при роботі САР з пропорційним регулятором не буде остаточного відхилення регульованої величини n , тобто буде з допомогою комбінованої системи реалізовано астатичну систему. Щоб цього досягти необхідно вірно розрахувати і встановити параметри пристрою додаткового сигналу ПДС (рис. 21). Для цього використовують корегуючий пристрій КП, який на структурній схемі (рис. 22) позначено через $W_K(s)$ – це передаточна функція ПДС – корегуючого пристрою. Для цього необхідно мати математичний опис і передаточні функції всіх елементів системи.

8.2. Математичний опис окремих елементів САР

Функціональна схема САР приведена на рис. 8.2.

Рівняння елементів системи, що записані в відносних відхиленнях мають вигляд:

– рівняння ГТГ, як об'єкта регулювання

$$T_0 \frac{dn}{dt} + n = k_G G - k_N N;$$

– рівняння відцентрового датчика

$$P_{\phi\phi} = k_n n;$$

– рівняння золотникового підсилювача, елемента порівняння, задаючого пристрою і регулюючого органу:

$$G_{3п} = k_{3п} h_{3п}; h_{3п} = P_{зд} - P_{вд}; P_{зд} = k_{зд} h_{зд}; G = k_{ро} h_{вм};$$

– рівняння виконавчого механізму:

$$\frac{dh_{вм}}{dt} = k_{вм} G_{3п}.$$

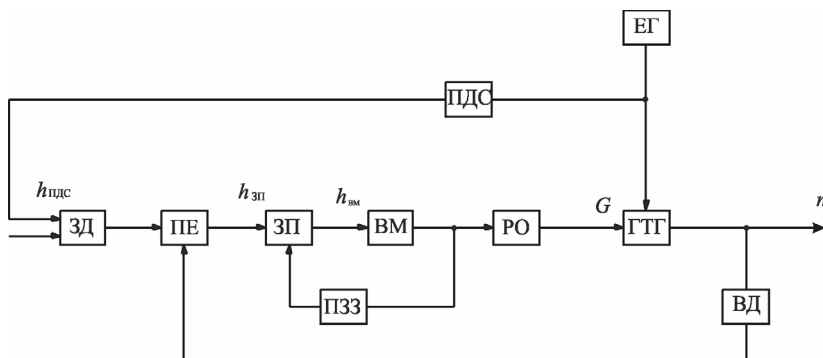


Рис. 8.2. Функціональна схема САР частоти обертання вала турбогенератора з додатковим сигналом по навантаженню:
ЗД – задатчик, ПЕ – порівнювальний елемент; ЗП – золотниковий підсилювач; ВМ – виконавчий механізм; ПЗЗ – пристрій зворотного зв'язку; РО – регулюючий орган; ПДС – пристрій додаткового сигналу;
ВД – відцентровий датчик; ГТГ – газотурбогенератор;
ЕГ – електрогенератор

Рівняння пристрою зворотного зв'язку, в залежності від положення дроселя 16, може бути таким:

а) дросель повністю відкрито: $h_{33} = 0$;

б) дросель повністю закрито: $h^{33} = k_{33} h_{\text{ВМ}}$;

в) дросель частково відкрито: $T_i \frac{dh_{33}}{dt} + h_{33} = T_i k_{33} \frac{dh_{\text{ВМ}}}{dt}$.

В рівняннях прийняті позначення:

T_0 – постійна часу об'єкта регулювання (ГТГ);

$k_G, k_N, k_n, k_{\text{ЗД}}, k_{\text{ЗП}}, k_{\text{РО}}, k_{\text{ВМ}}, k_{33}$ – коефіцієнти передачі ГТГ за управляючою та збурюючою діями, відцентрового датчика, задатчика, золотникового підсилювача, регулюючого органу, виконавчого механізму, пристрою зворотного зв'язку;

T_i – час ізодрому (постійна часу пристрою зворотного зв'язку);

$n, G, N, h_{\text{ЗД}}, h_{\text{ЗП}}, h_{\text{ВТ}}, h_{33}, G_{\text{ЗП}}, P_{\text{ВД}}, P_{\text{ЗД}}$ – відносні відхилення від базових значень частоти обертання вала, витрати палива,

На основі структурної схеми (рис. 8.3) одержимо переда-
точну функцію коригуючого пристрою в загальному вигляді.
Для цього запишемо передаточну функцію замкненої САР по
каналу збурюючої дії:

$$W_3^N(s) = \frac{n(s)}{N(s)} = \frac{W_K(s) \frac{W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)}{1 + W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)W_{33}(s)} \cdot W_{\text{po}}(s)W_0^G(s) + W_0^N(s)}{1 + \frac{W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)}{1 + W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)W_{33}(s)} \cdot W_{\text{po}}(s)W_0^G(s)W_{\text{вд}}(s)}.$$

Для того, щоб САР була інваріантною по каналу збурю-
ючої дії N , потрібно виконання умови:

$$W_K(s) \frac{W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)}{1 + W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)W_{33}(s)} W_{\text{po}}(s)W_0^G(s) + W_0^N(s) = 0,$$

звідки передаточна функція коригуючого пристрою рівна:

$$W_K = - \frac{W_0^N(s)(1 + W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)W_{33}(s))}{W_{3\Pi}(s)W_{\text{BM}}(s)W_{\text{po}}(s)W_0^G(s)}. \quad (8.1)$$

Для випадку, коли дросель пристрою зворотного зв'язку
16 повністю закрито, тобто реалізується жорсткий місцевий
зворотній зв'язок, передаточні функції елементів, що входять
в вираз (8.1), з урахуванням рівняння елементів, мають вигляд:

$$W_0^N(s) = \frac{k_N}{T_0s + 1}; \quad W_{3\Pi}(s) = k_{3\Pi}; \quad W_{\text{BM}}(s) = \frac{k_{\text{BM}}}{s};$$

$$W_{33}(s) = k_{33}; \quad W_0^G(s) = \frac{k_G}{T_0s + 1}; \quad W_{\text{po}}(s) = k_{\text{po}}. \quad (8.2)$$

Вираз (8.1) з врахуванням (8.2) запишеться так:

$$\begin{aligned}
 W_K(s) &= \frac{-\frac{k_N}{T_0 s + 1} \left(1 + \frac{k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{33}}{s} \right)}{\frac{k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{\text{PO}} k_G}{s(T_0 s + 1)}} = \frac{-k_N (s + k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{33})}{\frac{s}{k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{\text{PO}} k_G}} = \\
 &= \frac{-k_N k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{33} \left(\frac{1}{k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{33}} s + 1 \right)}{k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{\text{PO}} k_G}.
 \end{aligned}$$

За умови, що $\frac{1}{k_{3\Pi} k_{\text{BM}} k_{33}} \approx 0$, отримаємо:

$$W_K(s) = -\frac{k_N k_{33}}{k_{\text{PO}} k_G}. \quad (8.3)$$

Враховуючи те, що пристрій доповнюючого сигналу конструктивно є електромагнітним приводом з важільною передачею на виході, то структурно його можна представити підсилювальною ланкою з передаточною функцією:

$$W_K(s) = k_K. \quad (8.4)$$

Коефіцієнт передачі коригуючого пристрою відповідно до (8.3) дорівнює:

$$k_K = -\frac{k_N k_{33}}{k_{\text{PO}} \cdot k_G}. \quad (8.5)$$

Коли потрібно мати коригувачий пристрій з більш складним законом роботи, його можна отримати з допомогою додатково включених елементів.

В загальному випадку, коли при корекції систем автоматичного управління необхідно визначити який пристрій потрібний і як його включити, звертаються до спеціального розділу теорії "Синтез САР".

Для виконання лабораторної роботи, потрібно підрахувати k_k , набрати згідно до рис.23 структурну схему на ЕОМ і одержати перехідний процес регулювання для значення k_k одержаного по (8.5) і для значень більшого та меншого від отриманого k_k в два рази. Чисельні значення коефіцієнтів рівнянь елементів регулятора і об'єкта приведені в табл. 4.1 та 8.1.

Схему набору моделі САР частоти обертання вала ГТУ при наявності додаткового сигналу по навантаженню у MATLAB наведено на рис.8.4.

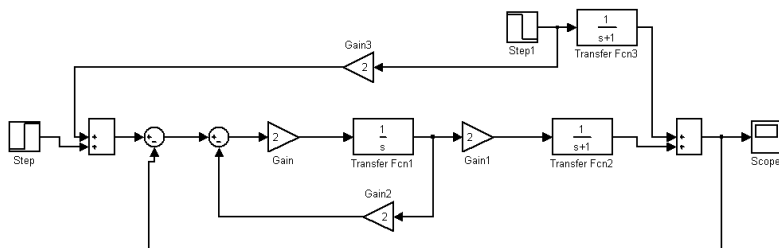


Рис. 8.4. Схема набору моделі САР частоти обертання вала ГТУ при наявності додаткового сигналу по навантаженню у MATLAB

8.4. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму MATLAB.
2. Одержати функціональну схему САР частоти обертання вала ГТУ при наявності додаткового сигналу по навантаженню відповідно до рівняння її елементів і принципової схеми.

3. Привести функціональну схему до машинного виду, використовуючи значення коефіцієнтів з табл. 4.1 та 8.1, відповідно до варіанта, визначеного викладачем.

Таблиця 8.1

Коефіцієнти	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$k_{\text{вм}}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$k_{\text{зз}}$	0,1	0,3	0,5	0,7	1

4. Провести моделювання САР частоти обертання ГТУ з регулятором, що працює за пропорційним законом на ЕОМ у MATLAB.

5. У MATLAB одержати перехідну функцію САР при подачі збурюючого впливу і зміні параметрів настроювання регулятора. Для цього необхідно на вхід каналу збурюючого впливу, подати імпульс N , згідно табл.4.1. При цьому на вхід каналу керуючого впливу подати імпульс $P_{\text{зе}} = 0$. Після цього, задаючись значеннями коефіцієнта передачі додаткового сигналу по навантаженню $k_{\text{к}}$, одержати та накреслити графіки перехідних функцій САР.

6. Підрахувати значення коефіцієнта передачі додаткового сигналу по навантаженню $k_{\text{к}}$ по формулі (8.5). Для отриманого $k_{\text{к}}$, одержати та накреслити графік перехідної функції САР.

7. Збільшити значення коефіцієнта $k_{\text{к}}$, отримане в п.6 в 2 рази. Для отриманого $k_{\text{к}}$, одержати та накреслити графік перехідної функції САР.

8. Зменшити значення коефіцієнта $k_{\text{к}}$, отримане в п.6 в 2 рази. Для отриманого $k_{\text{к}}$, одержати та накреслити графік перехідної функції САР.

8.5. Обробка результатів дослідження

1. За графіками отриманими згідно п.5 – 8 порядку виконання роботи, визначити показники якості в залежності від виду перехідного процесу регулювання.

2. Побудувати функціональні залежності показників якості від значень коефіцієнта передачі додаткового сигналу по навантаженню k_k .

3. Проаналізувати результати п.2 і визначити перехідні процеси з найкращими й найгіршими показниками якості.

4. Зробити висновки про вплив параметрів настроювання регулятора та додаткового сигналу на показники якості САР.

8.6. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Принципову й функціональну схеми САР, схему набору моделі САР у MATLAB.

2. Рівняння й передаточні функції елементів САР.

3. Зняті криві перехідних процесів і результати їхньої обробки: залежності показників якості від змінюваних параметрів настроювання регулятора, статичну характеристику системи.

4. Висновки по роботі.

8.7. Питання для самоперевірки та захисту

1. Поняття про інваріантність. Умови інваріантності.

2. Устрій та принцип дії комбінованої САР.

3. Якість перехідного процесу регулювання. Показники якості.

4. Залежність якості перехідного процесу регулювання від додаткового сигналу по збурюючій дії.

5. Устрій та принцип дії САР з додатковим сигналом по збурюючій дії.

6. Класифікація САР з додатковим сигналом по збурюючій дії.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Бесекерский, В. А.** Теория систем автоматического управления [Текст] / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – СПб. : Профессия, 2003 – 752 с.
2. **Бугрим, Л. И.** Системы автоматического управления судовыми ГТУ [Текст] : учебное пособие / Л. И. Бугрим. – Николаев : НКИ, 1988. – 54 с.
3. **Дьяконов, В. П.** Simulink 5/6/7 [Текст] : самоучитель / В. П. Дьяконов. – М. : ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.
4. **Исаков, Л. И.** Комплексная автоматизация судовых дизельных и газотурбинных установок [Текст] : учебник / Л. И. Исаков, Л. И. Кутын. – Л. : Судостроение, 1984. – 368 с.
5. **Ланчуковский, В. И.** Автоматизированные системы управления судовыми дизельными и газотурбинными установками [Текст] : учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. / В. И. Ланчуковский, А. В. Козьминых. – М. : Транспорт, 1990. – 335 с.
6. **Нелепин, Р. А.** Автоматизация судовых энергетических установок [Текст] / Р. А. Нелепин. – Л. : Судостроение, 1975. – 534 с.
7. **Попович, М. Г.** Теорія автоматичного керування [Текст] / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.