

СПЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**

**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ПУЛІЮЯ**

**Кафедра конструювання
верстатів, інструментів
та машин**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО
ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №2 З КУРСУ**

***ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ***

**Дослідження перехідних процесів в типових
динамічних ланках на прикладі інтегруючої та
аперіодичної ланок першого порядку**

Тернопіль – 2016

Методичні вказівки розроблені у відповідності з навчальними планами для напрямку:

6.050503 - Машинобудування

Методичні вказівки розробили:

к.т.н., доц. Р.А. Склярів

к.т.н., доц. А.В. Гагалюк

Рецензент: Савків В.Б. к.т.н., доц. каф. автоматизації технологічних процесів і виробництв

Методичні вказівки розглянуті та затверджені на засіданні кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин.

Протокол № _____ від _____ 200__ р.

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні методичної комісії факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Протокол № _____ від _____ 200__ р.

Тема: Дослідження перехідних процесів в типових динамічних ланках на прикладі інтегруючої та аперіодичної ланок першого порядку

Мета:

- провести дослідження перехідного процесу в ідеально-інтегруючій ланці та аперіодичній першого порядку;

Завдання:

- ознайомитися з поняттям «перехідний процес»;
- ознайомитися з типами регулярних сигналів;
- ознайомитися з поняттям стійкості системи;
- скласти звіт про виконану роботу.

Обладнання, пристосування, наочне приладдя:

- ❖ ПК з встановленим програмним забезпеченням (програма Vissim ver. 5.0)

Теоретичні основи та загальні відомості

Аналіз САК зручно виконувати по еквівалентних структурних схемах, які складаються з типових динамічних ланок, які характеризуються певною передавальною функцією. Власне, передавальна функція є співвідношенням зображень Лапласа вихідного та вхідного сигналів елемента (системи) при нульових початкових умовах. Знаючи правила перетворення структурних схем, визначають еквівалентну передавальну функцію системи й рівняння динаміки системи. При дослідженні динамічних ланок і системи використовують регулярні сигнали:

$1(t)$ – одиничний ступінчастий вплив;

$\delta(t)$ – одиничний імпульс;

$a \cdot t$ – лінійно наростаючий сигнал;

$\frac{a \cdot t^2}{2}$ – сигнал з постійним прискоренням

$A \cdot \sin(\omega \cdot t)$ – синусоїдальний сигнал.

Як системи, так і ланки можуть бути стійкими (статичними), нейтральними (астатичними) і нестійкими. Під стійкістю розуміють здатність САК або ланки повертатися у попередній або близький до попереднього стан рівноваги після прикладання й зняття впливу.

Під типовою динамічною ланкою в ТАУ розуміється частина САК, яка описується в динаміці алгебраїчним або диференціальним рівняннями, але не вище 2-го порядку. **Саме вид рівняння й визначає назву ланки.** При подаванні регулярних сигналів на вхід типової ланки й можна визначити її реакцію на даний вид сигналу.

Реакція на одиничний ступінчастий сигнал $1(t)$ називається **перехідною характеристикою $h(t)$** ;

реакція на $\delta(t)$ – функція ваги або **імпульсна перехідна характеристика $\omega(t)$** .

$\omega(t) = h'(t)$, тому що $\delta(t) = 1'(t)$.

$h(t)$ і $\omega(t)$ є тимчасовими характеристиками ланки.

При подачі на вхід ланки гармонійного сигналу $A \cdot \sin(\omega t + \varphi) =$

$Ae^{j(\omega t + \varphi)}$ або $A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$, на його виході після завершення перехідного процесу також спостерігаються коливання.

Частотні властивості ланки визначаються **комплексним коефіцієнтом передачі** (1):

$$W(j\omega) = \frac{A_{\text{вих}} \cdot e^{j\varphi_1}}{A_{\text{вх}} \cdot e^{j\varphi_2}} = K_M \cdot e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (1)$$

який є співвідношенням комплексних амплітуд вихідного сигналу до вхідного при подаванні на вхід гармонійного сигналу. При зміні частоти вхідного сигналу від 0 до ∞ можна дослідити спектр вхідного й вихідного сигналів, тобто отримати АФЧХ (амплітудно – фазо – частотну характеристику) – траєкторію руху кінця вектора комплексного коефіцієнта передачі $W(j\omega)$, при зміні частоти від 0 до ∞ . АФЧХ відображає співвідношення амплітуд і фаз сигналів на виході й вході.

При нульових початкових умовах рівняння ланки в зображеннях записується у вигляді:

$$Y(p)[a_2p^2 + a_1p + a_0] = X(p)[b_2p^2 + b_1p + b_0] \quad (2)$$

де

$Y(p), X(p)$ – зображення Лапласа вихідної та вхідної величин;

$p = \alpha + j\omega$ – комплексна змінна (оператор Лапласа).

Запишемо передавальну функцію, відповідно до рівняння (2):

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_2p^2 + b_1p + b_0}{a_2p^2 + a_1p + a_0}, \quad (3)$$

де

$b_2p^2 + b_1p + b_0$ – вхідний поліном;

$a_2p^2 + a_1p + a_0$ – вихідний поліном.

Зазвичай всі члени рівняння динаміки (2) прийнято поділити на вільний член – коефіцієнт a_0 , тоді рівняння записують у такий спосіб:

$$(T_1T_2p^2 + T_2p^2 + 1)Y(p) = (T_3T_4p^2 + T_3p + 1)kX(p), \quad (4)$$

де

$k = \frac{b_0}{a_0}$ – коефіцієнт підсилення, розмірність якого залежить від Y та X ;

T_1, T_2, T_3, T_4 – постійні коефіцієнти, які мають розмірність часу;

$$T_1 = \frac{a_2}{a_1}; \quad T_2 = \frac{a_1}{a_0}; \quad T_3 = \frac{b_2}{b_1}; \quad T_4 = \frac{b_1}{b_0}$$

Лінійні динамічні ланки класифікують за видом рівнянь динаміки: на найпростіші (безінерційні, ідеально-дифференціюючі, ідеально-інтегруючі), ланки 1-го та 2-го порядків.

Реакція ланки на будь-який вхідний сигнал визначається по його відомій передавальній функції через зворотне перетворення Лапласа:

$$Y(t) = L^{-1}[W(p) \cdot X(p)]$$

або розв'язавши диференціальне рівняння при відомих початкових умовах і вхідному сигналі. Якщо вхідний сигнал $1(t)$, тобто:

$$X(t) = 1(t), X(p) = \frac{1}{p}$$

то визначається перехідна функція типових ланок $h(t)$:

$$h(t) = y(t) = L^{-1} \left[\frac{W(p)}{p} \right] = L^{-1} \left[\frac{1}{p} \cdot \frac{F_1(p)}{F_2(p)} \right]$$

де

$F_1(p), F_2(p)$ – вхідний і вихідний поліноми.

Він знаходиться по таблицях, або по теоремі розкладання Хевісайда:

$$h(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k)}{p_k \cdot \dot{F}_2(p_k)} \cdot e^{p_k t} \quad (5)$$

де

(p_k) – k – тий корінь полінома знаменника $F_2(p)$;

n – кількість коренів (ступінь полінома $F_2(p)$);

$$\dot{F}_2(p_k) = \frac{dF_2(p)}{dp}; \quad p = p_k$$

Зображення гармонійних сигналів по Лапласу:

$$L[\sin(\omega t)] = \frac{\omega}{p^2 + \omega^2};$$

$$L[\cos(\omega t)] = \frac{p}{p^2 + \omega^2};$$

Таким чином, через зворотне перетворення Лапласа можна визначити реакцію ланки на будь-який вхідний сигнал.

Ланки 1-го й 2-го порядків можна сформувати на основі блоку «інтегратор» (ідеально-інтегруючої ланки), вводячи зворотні зв'язки.

Тому при дослідженні перехідних процесів типових ланок необхідно добре представляти реакцію ідеально-інтегруючої ланки на різні типи впливів.

Рівняння динаміки інтегруючої ланки має виглядає:

$$Y(t) = k_u \int_0^t x(t)dt \text{ або } \frac{dy}{dt} = k_u \cdot x; k_u = \frac{1}{T_u}$$

Передавальна функція інтегруючої ланки й комплексний коефіцієнт передачі записуються:

$$W(p) = \frac{k_u}{p} \quad \text{і} \quad W(j\omega) = \frac{1}{T_u j\omega} = \frac{1k_u}{j\omega} = \frac{k_u}{\omega} \cdot e^{j\cdot\varphi(\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = \text{const} = -90^\circ$$

Відповідно до рівняння (5) перехідна характеристика – це пряма лінія з кутовим коефіцієнтом, що залежать від k_u (Рис. 2.1).

$$h(t) = k_u \cdot t;$$

$$\omega(t) = \frac{dh(t)}{dt} = k_u;$$

$$y(t) = \frac{1}{T_u} \int_0^{t_k} 1(t)dt$$

Швидкість зміни вихідної величини такої ланки пропорційна до вхідної величини.



Рис. 2.1 – Перехідна характеристика ідеально-інтегруючої ланки

Передавальна функція аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1}$$

Рівняння перехідної характеристики: $h(t) = K \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$

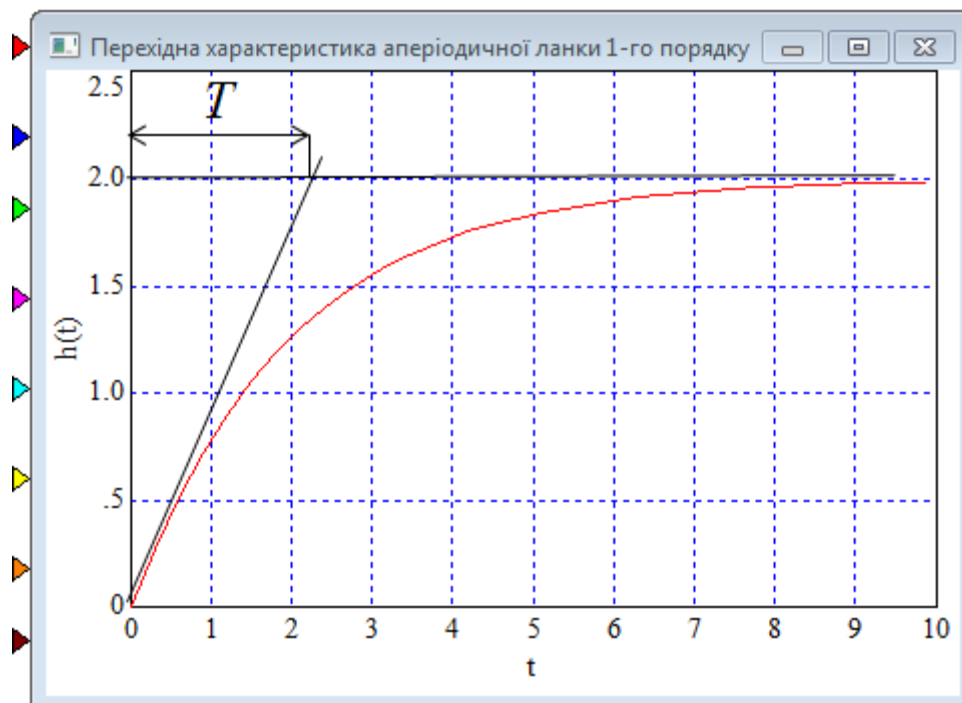


Рис. 2.2 – Перехідна характеристика аперіодичної ланки 1-го порядку

Порядок виконання роботи

Для дослідження інтегруючої ланки необхідно виконати наступні дії:

1. В програмі Vissim скласти схему, яка зображена на рис.2.3. Запишіть передавальну функцію для структури зображеної на рис.2.3., використавши правила перетворення структурних схем. Також необхідно записати характеристичне рівняння та корені рівняння $h(t)$, $\omega(t)$.

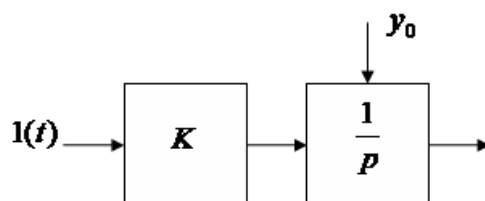


Рис. 2.3 – Структура інтегруючої ланки

2. Задавшись різними значеннями коефіцієнту підсилення K побудуйте декілька перехідних характеристик. З отриманих характеристик графічно визначте значення постійної часу інтегруючої ланки T_u .

3. Дослідіть вплив початкових умов на перехідний процес. Отримайте графічні залежності для різних початкових умов, які слід вибрати в інтервалі від -1 до 1.

4. На вхід системи подайте гармонійний сигнал (синусоїду). Змінюючи частоту (від 0,1 рад/с до 100 рад/с, сусідні значення частот мають відрізнятися приблизно в 10 разів) отримайте графіки для різних значень частот. Поясніть зміну характеристики при зміні частоти. Запишіть аналітичний вираз $W(j\omega)$ і $\varphi(\omega)$.

Дослідження аперіодичної ланки

1. В програмі Vissim складіть схему, зображену на рис.2.4. Використовуючи правила перетворення структурних схем, запишіть передавальну функцію для цієї структури та характеристичне рівняння $h(t), \omega(t)$.

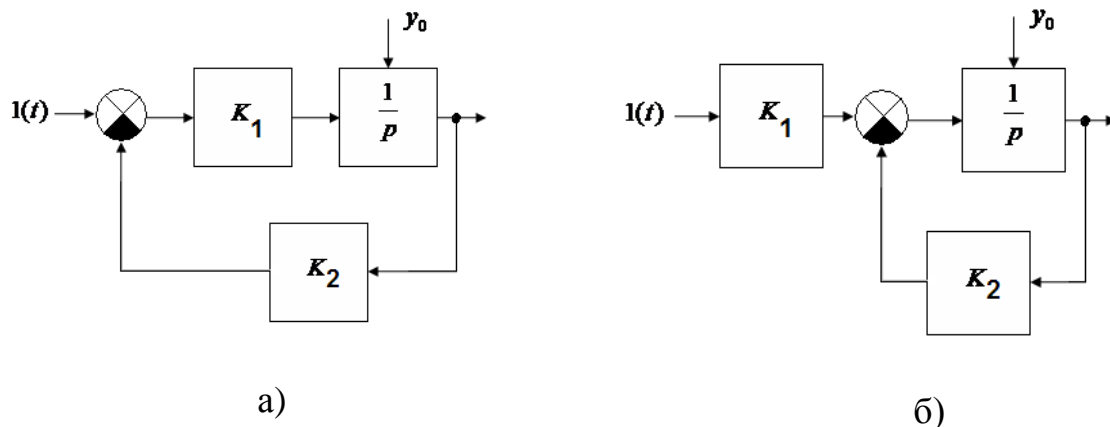


Рис. 2.4 – Структури аперіодичної ланки першого порядку

2. Змінюючи в схемах коефіцієнти дослідіть їх вплив на перехідний процес.

3. Дослідіть вплив початкових умов на графіку. При виборі початкових умов необхідно враховувати рекомендації з п.3 для інтегруючої ланки.

4. Реалізуйте передавальну функцію аперіодичної ланки $W(s) = \frac{K}{Ts+1}$ за допомогою блоку **transferfunction**. Значення К і Т виберіть з таблиці відповідно до свого варіанту.

Таблиця 2.1

Значення К і Т

№ варіанта	К	Т
1	5	1
2	2	0,1
3	3	1,5
4	10	1
5	7	0,5
6	4	0,2
7	5	2
8	2,5	0,8
9	6	0,25

Розрахувати, які повинні бути значення коефіцієнтів K_1 і K_2 в схемах на рис.2.4, щоб отримати ланку $W(s) = \frac{K}{Ts+1}$ із заданими по варіантах К і Т. Перевірити результати розрахунків побудовою графіків для схем малюнка 2.4 (а, б) і для схеми з використанням блоку transferfunction.

Зміст звіту

1. Схеми дослідження й результати дослідження, висновки про вплив значень коефіцієнтів, початкових умов на перехідний процес.
2. Передавальні функції ланок, вираз для К і Т.
3. Характеристичні рівнянь, корені рівнянь $h(t)$, $\omega(t)$, $W(j\omega)$ і $\varphi(\omega)$.

Контрольні питання

1. Яку ланку називають типовою?
2. Дайте визначення поняттям передавальна функція, перехідна характеристика та імпульсна перехідна характеристика?
3. Як записати рівняння динаміки через передавальну функцію ланки?

4. Що таке стійкість, як визначити по виду перехідного процесу стійкість ланки?
5. Передавальні функції ідеально-інтегруючої та аперіодичної ланки?