

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут»

Кафедра приладів і систем орієнтації та навігації

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи

з дисципліни

«ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ»

для напрямку підготовки бакалаврів

051003 – приладобудування

(спеціальність 7. 05100303- прилади і системи орієнтації та навігації)

Рекомендовано кафедрою
приладів і систем орієнтації і навігації

Протокол №7/11 від 29.06.2011

Завідувач кафедри

_____ **Бурау Н.І.**

Вступ

Мета даного навчального видання – допомогти студентам в освоєнні методів аналізу лінійних систем автоматичного керування та надбанні необхідних практичних навичок аналізу типових лінійних систем в процесі виконання курсової роботи.

Курсова робота виконується як різновид самостійної роботи студента. Виконання курсової роботи з дисципліни «Теорія автоматичного керування» сприятиме закріпленню, поглибленню та узагальненню теоретичних основ курсу, а також сприятиме розвитку навичок самостійної творчої роботи студентів у процесі їх навчання.

Тематика курсової роботи присвячена питанням аналізу типових систем автоматичного керування чи з'єднань динамічних ланок, які можуть являти собою частину складної системи автоматичного керування.

1. Завдання для курсової роботи

Тема курсової роботи: «Аналіз типової системи автоматичного керування»

1. Описати склад та принцип роботи системи автоматичного керування (САК), визначити принцип керування.
2. Для елементів САК визначити: передатні функції, вагові характеристики, перехідні характеристики та частотні характеристики. Побудувати відповідні графіки.
3. Скласти функціональну схему САК; розробити структурну схему САК та визначити передатні функції:
 - Розімкнутої системи;
 - Замкнутої системи – головну;
 - Замкнутої системи – за похибкою.
4. Проаналізувати стійкість САК (без корекції та з корекцією):
 - За критерієм Гурвіца, визначити границі стійкості за коефіцієнтом підсилення розімкнутої системи;
 - Визначити запаси стійкості за логарифмічними частотними характеристиками розімкнутої системи.
5. Проаналізувати якість керування:
 - Визначити прямі показники якості перехідного процесу за перехідною характеристикою САК;
 - Визначити усталені похибки САК на задане діяння.

Функціональні схеми типових систем автоматичного керування, короткий опис та чисельні дані наведено у Додатку.

2. Методичні вказівки до виконання розділів курсової роботи.

2.1. Склад та принцип роботи системи автоматичного керування

При виконанні даного пункту завдання необхідно використовувати рекомендовані літературні джерела.

Опис повинен містити призначення системи, визначення вхідної і вихідної величини, принцип дії елементів і системи в цілому, функцію, яку даний елемент виконує в системі. При виконанні опису використовувати функціональну схему системи.

Опис закінчується визначенням принципу керування, який реалізується в досліджуваній системі.

2.2. Основні характеристики елементів та систем автоматичного керування

Для виконання даного пункту необхідно визначити аналітичні вирази заданих завданням характеристик і побудувати асимптотичні графіки.

Передатна функція ланки (системи) $W(p)$ визначається як відношення зображень за Лапласом вихідної $X_{\text{вих}}(p)$ і вхідної $X_{\text{вх}}(p)$ величин за нульових початкових умов:

$$W(p) = \frac{X_{\text{вих}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)}, \quad (1)$$

тобто передатна функція визначається із рівняння ланки, записаного в операторній формі. Якщо елемент системи має дві вхідних величини, необхідно визначити дві передатні функції (за кожним входом).

Ваговою функцією $w(t)$ називається реакція елемента (системи) на миттєвий одиничний імпульс $\delta(t)$ на вході елемента (системи), тобто на миттєвий імпульс нескінченно великої амплітуди і одиничної площі. Щоб

отримати вагову функцію $w(t)$, необхідно визначити оригінал (обернене перетворення Лапласа), що відповідає передатній функції:

$$w(t) = L^{-1}\{W(p)\}, \quad (2)$$

де $L^{-1}\{\bullet\}$ знак оберненого перетворення Лапласа.

Перехідною функцією елемента (системи) $h(t)$ називається реакція елемента (системи) на одиничне ступінчасте діяння, тобто перехідна функція визначається як процес на виході $h(t)=X_{\text{вих.}}(t)$ за одиничного стрибка на вході $X_{\text{вх.}}(t)=1/t$. Перехідна функція $h(t)$ визначається як обернене перетворення Лапласа (тобто оригінал) від зображення $\frac{W(p)}{p}$, тобто:

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{W(p)}{p}\right\}. \quad (3)$$

Деякі властивості перетворення Лапласа.

1. Теорема про додавання (лінійність перетворення)

$$L\{a_1 f_1(t) + a_2 f_2(t)\} = a_1 L\{f_1(t)\} + a_2 L\{f_2(t)\}.$$

2. Теорема про інтегрування

$$L\left\{\int_0^t f(\tau) d\tau\right\} = \frac{F(p)}{p}.$$

3. Теорема про диференціювання (за нульових початкових умов)

$$L\{f^{(n)}(t)\} = p^n F(p).$$

Для визначення часових характеристик доцільно використати наведені в табл. 1 функції часу та відповідні їм зображення.

Таблиця перетворень Лапласа деяких функцій.

№ n/n	Оригінал $f(t)$	Зображення $F(p)$
1.	$\delta(t)$	1
2.	$1(t)$	$\frac{1}{p}$
3.	$A \cdot 1(t)$	$\frac{A}{p}$
4.	t^n	$\frac{n!}{p^{n+1}}$
5.	e^{-at}	$\frac{1}{p+a}$
6.	$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$	$\frac{1}{p(p+a)}$
7.	$\sin \lambda t$	$\frac{\lambda}{p^2 + \lambda^2}$
8.	$\cos \lambda t$	$\frac{p}{p^2 + \lambda^2}$
9.	$e^{-at} \sin \lambda t$	$\frac{\lambda}{(p+a)^2 + \lambda^2}$
10.	$e^{-at} \cos \lambda t$	$\frac{p+a}{(p+a)^2 + \lambda^2}$

2.3. Визначення передатних функцій систем автоматичного керування

Передатна функція розімкненої системи $W_{роз}(p)$ дорівнює добутку передатних функцій всіх елементів, що входять до замкненого контуру:

$$W_{роз}(p) = W_{np}(p) W_{зз}(p), \quad (4)$$

де $W_{np}(p)$ – передатна функція ланок у прямому зв'язку; $W_{зз}(p)$ – передатна функція ланок у зворотному зв'язку.

Для системи з одиничним зворотним зв'язком ($W_{33}(p) = 1$):

$$W_{роз}(p) = W_{np}(p). \quad (5)$$

Після визначення передатної функції розімкненої системи можна знайти передатні функції замкненої системи :

- за вхідним діянням:

$$\Phi(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{W_{np}(p)}{1 + W_{np}(p)W_{33}(p)} = \frac{W_{np}(p)}{1 + W_{роз}(p)}, \quad (6)$$

або для $W_{33}(p) = 1$:

$$\Phi(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)}; \quad (7)$$

- за помилкою системи:

$$\Phi_{\delta}(p) = \frac{\delta(p)}{x(p)} = \frac{1}{1 + W_{роз}(p)}; \quad (8)$$

- за збуренням:

$$\Phi_f(p) = \frac{y(p)}{f(p)} = \frac{W_f(p)}{1 + W_{роз}(p)}. \quad (9)$$

Вирази (6)-(9) мають однакові знаменники, які визначають характеристичне рівняння $D(p)$ замкненої системи. Якщо передатну функцію розімкненої системи в загальному випадку записати у вигляді:

$$W_{роз}(p) = \frac{R(p)}{Q(p)},$$

то для отримання характеристичного рівняння слід до знаменника передатної функції розімкненої системи додати її чисельник:

$$D(p) = R(p) + Q(p)$$

2.4. Побудова асимптотичних логарифмічних частотних характеристик розімкненої системи.

Розглянемо визначення та побудову частотних характеристик на прикладі передатної функції розімкненої системи

$$W_{роз}(p) = \frac{K(T_1 p + 1)}{p(T_2 p + 1)(T_3^2 p^2 + 2T_3 \zeta p + 1)}, \quad (10)$$

де $K = 10 \text{ c}^{-1}$; $T_1 = 0,1 \text{ c}$; $T_2 = 0,5 \text{ c}$; $T_3 = 0,01 \text{ c}$; $\zeta = 0,7$.

За такого значення ζ можна не враховувати горба амплітудно-частотної характеристики коливальної ланки, величина якого при цьому не перевищує значення 3 дБ.

Амплітудна і фазова частотні характеристики розімкненої системи визначаються за виразами:

$$N(\omega) = \frac{K}{\omega} \sqrt{\frac{1 + T_1^2 \omega^2}{(1 + T_2^2 \omega^2) [(1 - T_3^2 \omega^2)^2 + 4\zeta T_3^2 \omega^2]}}; \quad (11)$$

$$\varphi(\omega) = -90^\circ + \text{arctg } T_1 \omega - \text{arctg } \frac{2\zeta T_3 \omega}{1 + T_3^2 \omega^2}. \quad (12)$$

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАХ) розімкненої системи:

$$L(\omega) = 20 \lg N(\omega) = \sum_{i=1}^n L_i(\omega), \quad (13)$$

де $L_i(\omega)$ • ЛАХ i -ї ланки системи.

Одиницею виміру $L(\omega)$ є децибел (відкладаємо на осі ординат), а на осі абсцис відкладається частота ω [c^{-1}] в логарифмічному масштабі.

Вираз для ЛФХ (зберігається у вигляді (12) без змін) також запишемо у вигляді алгебраїчної суми:

$$\varphi(\omega) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega) \quad (14)$$

де $\varphi_i(\omega)$ - ЛФХ i -ї ланки.

При побудові ЛФХ відлік кутів φ іде за віссю ординат в звичайному масштабі в кутових градусах. За віссю абсцис відкладається частота в логарифмічному масштабі.

Характеристики $L(\omega)$ і $\varphi(\omega)$ будують на одному бланку, причому $\varphi(\omega)$ розташовують точно під $L(\omega)$.

ЛАХ і ЛФХ можна побудувати за виразами (11)-(13), або безпосередньо за заданою передатною функцією, використовуючи відомі асимптотичні характеристики окремих елементів.

Асимптотична ЛАЧХ будується за методикою:

1. Визначити спрягаючі частоти $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, де $\omega_i = 1/T_i$, і відкласти їх значення вздовж осі частот.
2. На частоті $\omega = 1$ відкласти ординату, яка дорівнює $20 \lg K$, де K - коефіцієнт підсилення розімкненої системи, позначивши дану точку A .
3. Через точку A провести пряму з нахилом $-v$ 20 дБ/дек, де v - порядок астатизму системи, до першої спрягаючої частоти. Даний відрізок є низькочастотною асимптотою ЛАХ. Якщо перша спрягаюча частота менша за одиницю (тобто лежить зліва від частоти $\omega = 1$ на осі частот), то через точку A пройде продовження низькочастотної асимптоти.
4. Після кожної частоти спряження ω_i необхідно змінювати нахил ЛАХ
 - на - 20 дБ/дек, якщо спрягаюча частота визначається сталою часу ланки першого порядку типу $(Tp + 1)$ в знаменнику $W_{роз}(p)$;
 - на +20 дБ/дек, якщо спрягаюча частота визначається сталою часу ланки того ж типу в чисельнику $W_{роз}(p)$;
 - для ланок другого порядку (аперіодична другого порядку, коливальна) нахил змінюється на ± 40 дБ/дек ("+" - якщо ланка в чисельнику $W_{роз}(p)$; "-" - якщо в знаменнику).

Для побудови точної ЛФХ розрахунок слід проводити за формулою (12), а дані розрахунку звести в таблицю, за результатами розрахунку побудувати графік сумарної характеристики.

2.5. Оцінка точності САК

Для оцінки точності необхідно визначити усталені похибки на заданий вхідний вплив.

Усталені похибки САК визначають, використовуючи теорему про кінцеве значення функції:

$$\delta_{уст} = \lim_{t \rightarrow \infty} \delta(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \Phi_{\delta}(p) X(p) \quad (15)$$

де $\Phi_{\delta}(p)$ - передатна функція замкненої системи за помилкою; $X(p)$ - зображення вхідного діяння.

Якщо на вхід САК подається гармонічний задаючий вплив:

$$x(t) = A_m \sin \omega_x t, \quad (16)$$

де A_m , ω_x — відповідно амплітуда та частота сигналу, тоді динамічна помилка також буде синусоїдною:

$$\delta(t) = \delta_m \sin(\omega_x t + \varphi_{\delta}) \quad (17)$$

де δ_m , φ_{δ} — відповідно амплітуда та фаза помилки;

Іноді визначають тільки амплітуду помилки δ_m . Для задаючого діяння (16), частота якого ω_x знаходиться в смузі низьких та середніх частот, де підсилення розімкненої системи більше від одиниці, тобто

$$|W_{роз}(j\omega_x)| > 1, \quad (18)$$

доцільно використовувати наближений вираз для визначення амплітуди δ_m .

Передаточну функцію замкненої системи за помилкою в цьому випадку запишемо у вигляді:

$$\Phi_{\delta}(j\omega_x) = \frac{1}{1 + W_{роз}(j\omega_x)} \approx \frac{1}{W_{роз}(j\omega_x)}. \quad (19)$$

Тоді амплітуда помилки δ_m визначається з виразу:

$$\delta_m = A_m |\Phi_{\delta}(j\omega_x)| \approx \frac{A_m}{|W_{роз}(j\omega_x)|} \quad (20)$$

Величину $|W_{роз}(j\omega_x)|$ можна визначити аналітичним шляхом, або ви-

користовуючи ЛАХ розімкненої системи $L(\omega)$ за виразом:

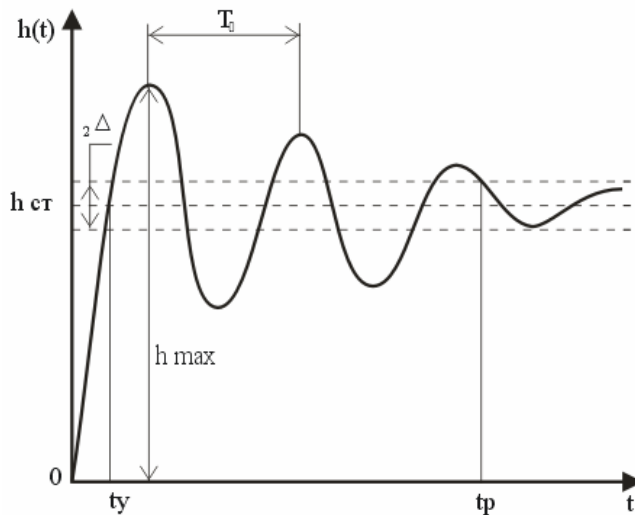
$$|W_{роз}(j\omega_x)| = 10^{\frac{L(\omega_x)}{20}},$$

де $L(\omega_x)$ — ордината ЛАХ на частоті задаючого діяння ω_x .

2.6. Оцінка якості перехідного процесу

Прямі показники якості перехідних процесів визначаються по кривій перехідній характеристиці САК.

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{\Phi(p)}{p} \right\}$$



У формулу для $h(t)$ підставляємо час і будуємо графік, за графіком визначаємо прямі показники якості:

1) t_p - час регулювання - час, по закінченні якого відхилення $h(t)$ перехідної характеристики від сталого значення $y_{уст}$ стає й залишається менше заданої величини $\Delta=0.05$ від $y_{уст}$. Визначає швидкодію САК.

2) t_y - час усталення - це час, за який $h(t)$ уперше досягає сталого значення $y_{уст}$. Визначає швидкість відпрацювання вхідного впливу.

3) σ - перерегулювання, визначається за виразом:

$$\sigma = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} 100\%$$

4) ω_0 - частота коливань (для коливальних процесів)

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

5) n - кількість коливань за час регулювання (для коливальних процесів)

$$n = \frac{t_p}{T_0} .$$

2.7. Висновки по роботі

У висновках наводяться основні результати проведеного аналізу САК, дається оцінка отриманих результатів, вказується статична чи астатична система.

Окремими пунктами наводяться чисельні значення запасів стійкості та показників якості.

3. Рекомендації по оформленню курсової роботи

1. Курсова робота повинна бути оформлена на аркушах паперу формату А4 (заповнюється один бік аркушу).
2. Рукопис курсової роботи (опис, пояснення, формули, висновки) виконується студентом від руки .
3. Кожний аркуш паперу повинен мати рамку, аркуші нумеруються та підшиваються.
4. Титульний лист повинен бути встановленого зразку.
5. Пояснювальна записка містить завдання на курсову роботу, зміст, текстову частину, список літературних джерел.
6. Текст повинен бути розділеним на розділи (відповідно до завдання), підрозділи, пункти. Порядкові номери розділів позначаються арабськими цифрами, підрозділи нумеруються по порядку в межах розділу. Номер підрозділу складається з номеру розділу та підрозділу, які розділяються крапкою.
7. Текст пояснювальної записки повинен бути чітким і послідовним, формулювання короткими.
8. Ілюстраціями в курсовій роботі є схеми, графіки. Всі ілюстрації необхідно розташувати в тексті після посилання на них, нумерація рисунків – наскрізна, арабськими цифрами. Графіки асимптотичних характеристик ланок треба будувати безпосередньо на аркушах з текстом, а графіки ЛЧХ розімкненої системи та графіки кривих перехідної характеристики – на окремому аркуші (можна – на спеціальному бланку).

Список рекомендованої літератури

1. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1989. – 431 с.
2. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978. – 256 с.
3. Бондар П. М., Бурау Н. І. Методичні вказівки до контрольних завдань з курсу «Теорія автоматичного керування». – Київ: НТУУ «КПІ», 1997. – 36 с.
4. Теорія автоматичного керування: Метод. вказ. до викон. розрахункових робіт/ Уклад.: Н.І. Бурау, С.А. Мураховський, Ю.В. Сопілка. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 32 с.

ДОДАТОК

**Функціональні схеми
типових систем автоматичного керування**