

КОНЦЕПЦІЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ НА ТЕМУ СИНТЕЗУ ПОСЛІДОВНИХ КОРЕГУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЛІНІЙНИХ САК

Сергієнко М.О., Мориконь О.М., магістранти, Приймак Б.І., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Згідно з навчальною програмою дисципліни «Теорія автоматичного керування», студенти мають знати правила побудови асимптотичних логарифмічних амплітудних характеристик (ЛАХ) та логарифмічних фазових характеристик (ЛФХ) ланок та їх груп, а також вміти використовувати ці характеристики для задач аналізу та синтезу систем автоматичного керування (САК). В інженерній практиці набув досить значного поширення синтез послідовних корегувальних пристроїв лінійних САК методом ЛАХ [1, 2]. У попередньому лабораторному практикумі, який виконувався на кафедрі АЕМС-ЕП, існувала лабораторна робота за даною тематикою. Проте вона мала надто вузьку змістовну частину та була орієнтована на віртуальну реалізацію у середовищі Matlab/Simulink.

На сьогоднішній день на кафедрі АЕМС-ЕП здійснюється побудова лабораторного стенду, що дозволить студентам проводити синтез САК, оперуючи не віртуальними, а реальними об'єктами керування та корегувальними пристроями. Тому виникає потреба розроблення концепції оновленої лабораторної роботи для даного стенду.

Метою роботи є розробка концептуальних положень модернізованої лабораторної роботи на тему синтезу послідовних корегувальних пристроїв лінійних САК методом ЛАХ, що призначена для реалізації на відповідному лабораторному стенді.

Матеріали дослідження. Як було зазначено вище, у порівнянні з існуючим прототипом змістовна частина лабораторної роботи потребує розширення. Тому робота була модернізована наступним чином.

По-перше, у вимоги до САК поряд з показниками якості перехідного процесу додано також необхідну статичну точність системи при дії збурення. По-друге, клас корегувальних пристроїв, що синтезуються в роботі, крім пристроїв без астатизму розширено ще й астатичними пристроями. По-третє, при дослідженні властивостей скорегованої та нескорегованої САК додано вимогу визначати також їх запаси стійкості.

Отже зміст модернізованої лабораторної роботи модифіковано шляхом розширення постановки задачі синтезу, охоплення двох класів корегувальних пристроїв, а також більш ґрунтовного оцінювання якості САК.

Нижче коротко викладемо теоретичну основу синтезу методом ЛАХ та, розглянемо приклад реалізації одного з варіантів нової лабораторної роботи.

На сьогодні до ефективних методів синтезу САК належить метод, що ґрунтується на використанні ЛАХ розімкнутої системи. Ідея методу основана на тому, що для стійких мінімально-фазових систем існує однозначний зв'язок між показниками якості керування замкнутої системи і виглядом ЛАХ

відповідної розімкнутої системи. Методика синтезу полягає у наступному. Виходячи із заданих показників якості керування, будують бажану ЛАХ, яка відповідає таким показникам. Далі, знаючи вигляд бажаної ЛАХ та ЛАХ вихідної системи, відшуковують передатну функцію корегувального пристрою.

Передатна функція вихідної розімкненої одноконтурної системи, що складається з n ланок, запишеться як

$$W_B(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \dots W_n(p) \cdot k_{36.3}, \quad (1)$$

де $W_i(p)$ – передатна функція i -ї ланки; $k_{36.3}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку системи. Після введення у контур послідовної корегувальної ланки з передатною функцією $W_K(p)$, отримаємо бажану передатну функцію

$$W_B(p) = W_K(p) \cdot W_B(p) \quad . \quad (2)$$

Перейшовши в частотну область шляхом заміни $p = j\omega$ і логарифмуючи (2), отримаємо ЛАХ корегувального пристрою

$$L_K(\omega) = L_B(\omega) - L_B(\omega), \quad (3)$$

де $L_B(\omega)$, $L_B(\omega)$ – відповідно бажана та вихідна ЛАХ.

Отже порядок синтезу послідовного корегувального пристрою наступний:

1) виходячи із заданої структури системи і параметрів її ланок, будують ЛАХ вихідної розімкнутої системи $L_B(\omega)$;

2) за заданими показниками якості будують бажану ЛАХ $L_B(\omega)$;

3) визначають ЛАХ корегувальної ланки $L_K(\omega)$ за (3);

4) за $L_K(\omega)$ отримують передатну функцію та схему корегувального пристрою.

При побудові бажаної ЛАХ низькочастотна ділянка формується з врахуванням необхідної точності системи в усталених динамічних та статичному режимі роботи системи. В астатичній системі буде забезпечуватися нульова статична помилка, а низькочастотна ділянка $L_B(\omega)$ матиме нахил -20дБ/дек . У статичній системі низькочастотна ділянка $L_B(\omega)$ буде горизонтальною, а статична помилка Δ від дії збурення $f(t)$ на об'єкт керування визначатиметься як

$$\Delta = \frac{fk_f}{1+k_\Sigma}, \quad (4)$$

де k_Σ – сумарний коефіцієнт передачі розімкненої системи; k_f – коефіцієнт передачі об'єкта за збуренням.

Середньочастотна ділянка бажаної ЛАХ, яка перетинає вісь абсцис на частоті зрізу ω_3 , визначає якість перехідних процесів у системі. Вона повинна мати нахил -20дБ/дек , а частота спряження асимптот, що є найближчою до ω_3 зліва/справа, має бути меншою/більшою в 2...4 рази від ω_3 . За часом регулювання t_p та перерегулюванням σ можна визначити частоту зрізу як [1]

$$\omega_3 \approx \frac{k_0 \cdot \pi}{t_p}, \quad (5)$$

де k_0 – коефіцієнт, що визначається за нелінійною залежністю $k_0 = k_0(\sigma)$.

Інші ділянки $L_B(\omega)$ доцільно проводити паралельно до $L_B(\omega)$, що дозволить максимально спростити корегувальний пристрій.

Як приклад, розглянемо виконання варіанту оновленої лабораторної роботи, де синтезується система без астатизму. Структурна схема САК наведена на рис. 1. Вихідна система включає об'єкт керування у вигляді трьох аперіодичних ланок та ланку зворотного зв'язку з коефіцієнтом $k_{зв.з}$.

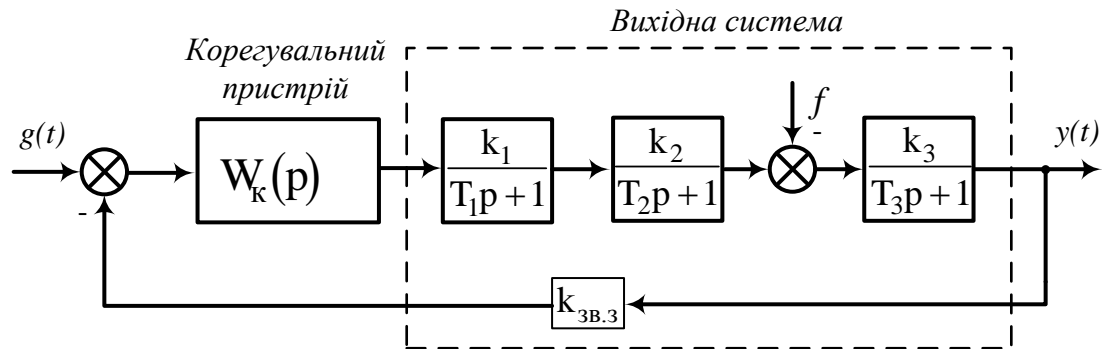


Рисунок 1 – Структурна схема системи, що синтезується

Параметри вихідної системи: $k_1 = 10$; $k_2 = 1$; $k_3 = 2$; $k_{зв.з} = 1$; $T_1 = 0.25$ с; $T_2 = 0.1$ с; $T_3 = 0.0067$ с; сумарний коефіцієнт передачі $k_{\Sigma B} = k_1 k_2 k_3 k_{зв.з} = 20$.

Вимоги до САК, що синтезується. 1) Статична точність: за постійного збурення $f = 5$ В статична помилка системи $\Delta = g(\infty) - y(\infty)$ має бути $\Delta \leq \Delta_{\max} = 0.25$ В. 2) Показники якості перехідного процесу: перерегулювання $\sigma \leq 35\%$; час регулювання $t_p \leq 0.15$ с.

Розв'язання задачі синтезу

На 1-му етапі студентам слід визначити сумарний коефіцієнт передачі розімкненої системи та коефіцієнт передачі корегувального пристрою, що забезпечать необхідну статичну точність.

З формули (4), де $k_f = k_3$, отримаємо

$$k_{\Sigma} \geq \frac{f \cdot k_f}{\Delta_{\max}} - 1 = \frac{5 \cdot 2}{0.25} - 1 = 39.$$

Для подальших розрахунків приймаємо $k_{\Sigma} = 40$. Низькочастотна ділянка $L_K(\omega)$ перетинатиме вісь ординат на висоті $20 \lg k_{\Sigma} = 20 \lg 40 - 20 \lg 20 = 6$ дБ. Отже коефіцієнт передачі корегувального пристрою визначиться як $k_K = 10^{6/20} \approx 2$.

На 2-му етапі студенти мають визначити частоту зрізу бажаної ЛАХ та допустимі частоти, що обмежують середньочастотну ділянку зліва і справа.

За допомогою (5), попередньо встановивши за [1], що $k_0 \approx 3.4$, отримаємо частоту зрізу $\omega_3 = 70$ с⁻¹, а допустимі частоти спряження асимптот зліва і справа від частоти зрізу дорівнюватимуть відповідно $\omega_3/2 = 35$ с⁻¹ та $2\omega_3 = 140$ с⁻¹.

На 3-му етапі студенти повинні побудувати ЛАХ та записати $W_K(p)$.

Отже за отриманими даними та вихідними параметрами системи будемо асимптотичні бажану та вихідну ЛАХ, і за (3) знаходимо ЛАХ корегувальної ланки. Результати представлені на рис. 2.

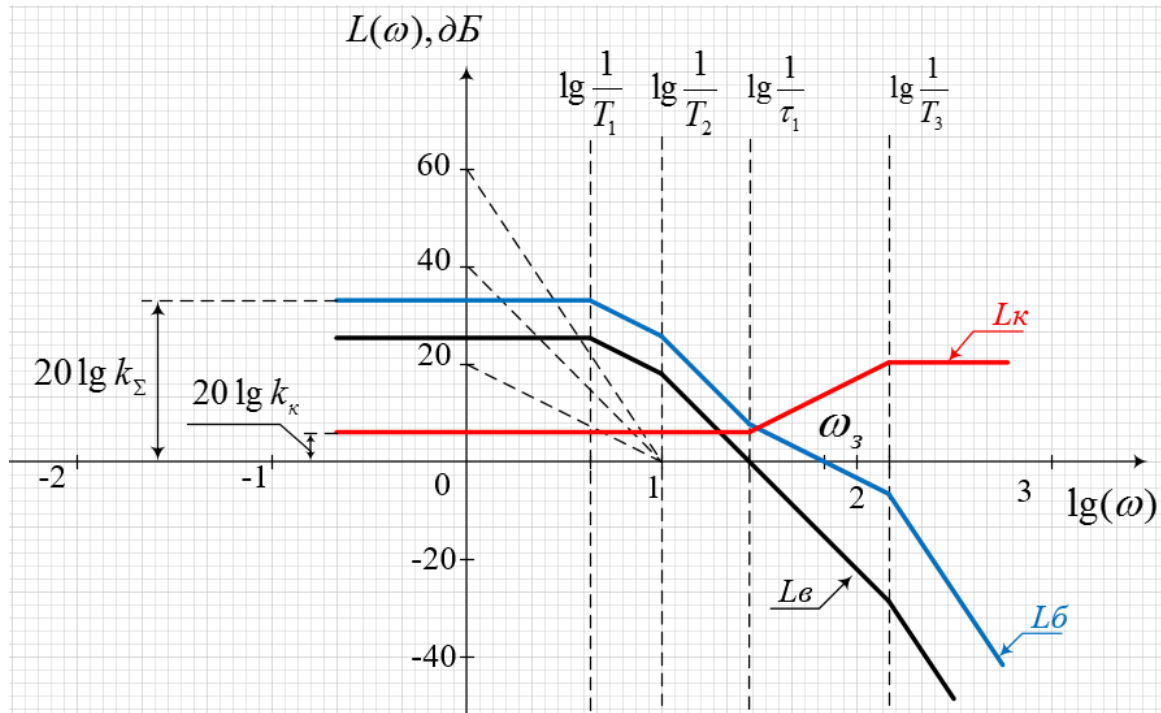


Рисунок 2 – Синтез САК методом ЛАХ

За виглядом $L_K(\omega)$ запишемо передатну функцію корегувального пристрою

$$W_K(p) = \frac{k_K(\tau_1 p + 1)}{\tau_2 p + 1},$$

де $k_K = 2$; $\tau_1 = 0.04$ с; $\tau_2 = T_3 = 0.0067$ с.

На 4-му етапі студенти мають визначити запаси стійкості для скорегованої та нескорегованої систем.

Для цього запишемо рівняння ЛФХ для вихідної та для бажаної систем

$$\varphi_B(\omega) = -\arctg(T_1\omega) - \arctg(T_2\omega) - \arctg(T_3\omega), \quad (6)$$

$$\varphi_B(\omega) = \arctg(\tau_1\omega) - \arctg(\tau_2\omega) - \arctg(T_1\omega) - \arctg(T_2\omega) - \arctg(T_3\omega). \quad (7)$$

Використовуючи побудовані за (6) та (7) ЛФХ та зображені на рис. 2 ЛАХ, отримаємо наступні результати. Для вихідної системи запас за амплітудою становить $\Delta L_B = 9.3$ дБ, а за фазою – $\Delta\varphi_B = 18.5^\circ$. Для синтезованої системи $\Delta L_B = 12.1$ дБ, $\Delta\varphi_B = 37.3^\circ$. Отже корегування поліщило умови стійкості САК.

На 5-му етапі студенти працюють з лабораторним стендом, де вони налаштовують корегувальний пристрій за результатами синтезу та отримують графіки реакцій САК на стрибкоподібні зміни завдання і збурення.

На фінальному етапі виконання лабораторної роботи студенти опрацьовують отримані експериментальні результати та оформляють звіт.

Нижче ми отримаємо реакції скорегованої та нескорегованої систем на завдання та збурення шляхом їх моделювання у Matlab/Simulink. Графіки перехідних процесів представлені на рис. 3.

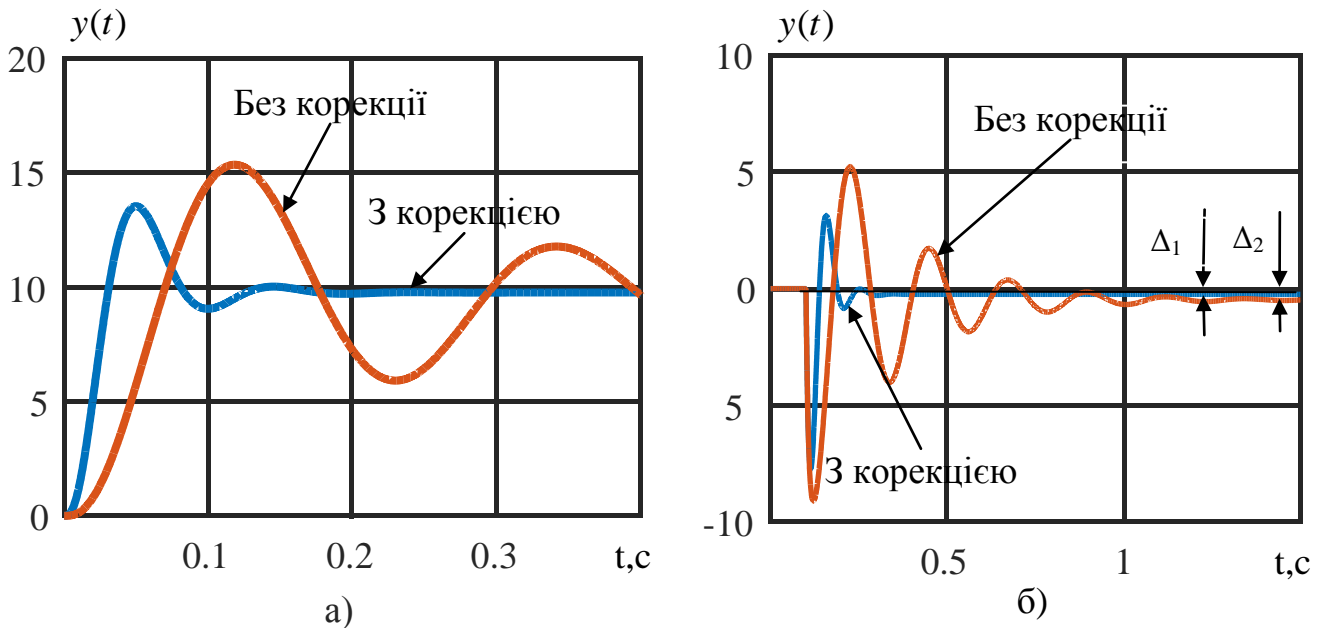


Рисунок 3 – Перехідні процеси в скорегованій та нескорегованій САК:
а) реакції систем на стрибок завдання; б) реакції систем на стрибок збурення.

Показані на рис. 3, а криві $y(t)$ отримані при $g(t) = 1(t) \cdot 10 \text{ В}$, $f(t) = 0$. З цього рисунку бачимо, що у скорегованій системі час регулювання та величина перерегулювання є близькими до заданих значень. Проте система без корегування характеризується значною коливальністю та великим часом регулювання. Перехідні процеси САК, що зображені на рис. 3, б, отримані при $g(t) = 0$ та стрибкоподібній зміні збурення $f(t)$ від 0 до 5 В у момент часу $t = 0.1 \text{ с}$. Цей рисунок засвідчує, що у скорегованій системі усталена помилка відповідає заданій $\Delta_1 < 0.25 \text{ В}$, а в нескорегованій системі усталена помилка Δ_2 приблизно в два рази більша.

Висновки. Побудова лабораторного стенду для вивчення теми синтезу послідовних корегувальних пристроїв лінійних САК методом ЛАХ вимагає модернізації існуючого прототипу лабораторної роботи. Підготовлена згідно із запропонованими концептуальними положеннями лабораторна робота матиме значно розширену змістовну частину. Виконання цієї роботи на лабораторному стенді дозволить підвищити ефективність вивчення студентами дисципліни «Теорія автоматичного керування».

Перелік посилань

1. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування : підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. / М.Г.Попович, О.В. Ковальчук.– К. : Либідь, 2007.– 656 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник в 5-и тт. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Под ред.. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 656 с.