

Лабораторна робота 4

Тема: СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ

Мета роботи: дослідити методи системи САУ частотними методами в ППП MatLab (Control System Toolbox та Simulink), визначити показники якості перехідних процесів.

1 Теоретичні відомості

1.1 Синтез регуляторів частотними методами

Частотний метод синтезу регуляторів дещо менше відповідає закономірностям протікання фізичних процесів в системі, що проектується. Але він має суттєві переваги перед іншими методами, особливо при моделюванні передаточних функцій на основі фізичних даних. Частотний метод має дві модифікації: на основі ЛАХ (діаграма Бode по термінології MATLAB); на основі АФХ на комплексній площині (діаграма Найквіста за термінологією MATLAB). Як відомо, ці два методи відображають одну і ту ж саму інформацію, а різниця між методами полягає в формі представлення цієї інформації.

Відомо, що вихідний сигнал лінійної системи при синусоїдальному вхідному впливі є синусоїда тієї ж частоти з фазовим зсувом, що вносить система. Тому частотний відгук визначається як амплітудні та фазові різниці поміж вхідними та вихідними синусоїдами. При цьому можна використовувати частотний відгук розімкнутої системи для передбачення її поведінки в замкнутому стані (при замиканні зворотного зв'язку).

Для побудови частотних характеристик створюється вектор частот, який має охопити діапазон від нуля до нескінченості, та обчислюється величина передаточної функції на цих частотах. Якщо $W(s)$ – передаточна функція розімкнутого кола системи, а ω – вектор частоти, то будується графік $W(j\cdot\omega)$

відносно ω . В зв'язку з тим, що $W(j\cdot\omega)$ – функція комплексного числа, то для неї можна побудувати графіки модуля та фази. В результаті отримуємо діаграму Бode. Якщо розташувати цю функцію на комплексній площині, то отримуємо діаграму Найквіста.

1.2 Характеристика роботи замкненої системи

Для прогнозування якості роботи замкненої системи на основі відгуків розімкнутої системи використовуються такі положення:

1. На основі логарифмічного критерію сталості замкнених систем відомо, що якщо частота зрізу розімкнутої системи, менша від частоти, на якій ФЧХ досягає значення -180^0 ($\omega_c < \omega_{pc} = -180^0$), то замкнена система буде стійкою.
2. Для систем 2-го порядку коефіцієнт демпфування замкненої системи приблизно може бути визначений як запас по фазі, віднесений до 100 (якщо запас по фазі має значення від 0^0 до 60^0). При запасах, більших від 60^0 , можна також використовувати це правило, але треба пам'ятати, що похибки в оцінці коефіцієнта демпфування дещо зростають.
3. Для систем 2-го порядку співвідношення між ξ (Zeta), смугою перепускання і часом зростання кривої перехідного процесу буде визначено далі, але приблизно за межу смуги перепускання можна прийняти частоту власних незгасаючих коливань.

Використаємо вказані властивості при синтезі регулятора для системи, яка відповідає структурній схемі рис. 3.1. В якості регулятора будемо використовувати не тільки підсилювач, а і інші типи регуляторів з передаточною функцією загального виду $G_c(p)$. Нехай об'єкт керування має передаточну функцію

$$W(p) = \frac{10}{1.25p + 1}$$

Проектуємий регулятор має задовольняти таким вимогам:

- забезпечувати нульову похибку в сталому режимі;
- перерегулювання не повинно перевищувати 40%;
- час усталення кривої перехідного процесу має бути ≤ 2 с.

Задачу синтезу регулятора можна вирішити графічним або чисельним методом. При використанні MATLAB графічний метод має явні переваги, тому будемо користуватися графічним методом синтезу регулятора.

Спочатку побудуємо ЛАХ, для чого запишемо м-файл:

```
>> W=tf(1,[1 10 20]);  
>> bode (W )
```

Графіки ЛАХ наведено на рис. 4.1:

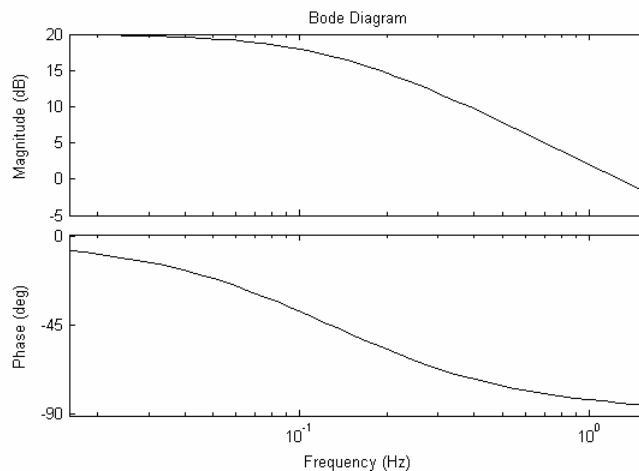


Рис. 4.1

На основі графіків ЛАХ можна визначити деякі характеристики системи. Це, по-перше, смуга перепускання, яка в даному випадку складає приблизно 10 рад/с. Як уже відмічалось, у систем 2-го порядку смуга перепускання приблизно дорівнює частоті власних незгасаючих коливань, тому час зростання графіка перехідного процесу буде мати значення $1,8/\omega_{bw} = 1,8/10 = 0,18$ с, або приблизно 0,2 с. Запас по фазі для цього об'єкта керування складає приблизно $\Delta\varphi(\omega_c)=180^0 - 87^0 = 93^0$. Це відповідає значенню коефіцієнта демпфування $\Delta\varphi(\omega_c)/100 =$

= $93/100 = 0,93$. Такому значенню коефіцієнта демпфування відповідає перерегулювання близько 1%, тобто система (об'єкт керування) близька до передемпфування.

Наступним питанням при дослідженні об'єкта керування є похибка сталого режиму. Величину цієї похибки можна визначити безпосередньо по графіку ЛАХ. Кут нахилу низькочастотної асимптоти дорівнює 0 дБ/декаду, що свідчить про статизм досліджуємого об'єкта керування. Коефіцієнт підсилення розімкнутого кола системи дорівнює 20 дБ, відповідно в разях це буде 10 разів. З теорії динамічних похибок відомо, що статичні системи мають повний набір похибок, першою складовою якого є похибка за положенням або статична похибка. Коефіцієнт похибки за положенням має значення $1/(1+k)=1/(1+10)=0,091$, а при ступеневому вхідному сигналі величина похибки складатиме приблизно 9%. Якщо система має астатизм першого порядку, то низькочастотну асимптоту ЛАХ необхідно продовжити до її перетину з віссю частот і значення частоти в точці перетину буде дорівнювати коефіцієнту передачі системи за швидкістю k_v , а коефіцієнт похибки за швидкістю матиме значення $1/k_v$. Аналогічно знаходиться коефіцієнт похибки за прискоренням системи з астатизмом 2-го порядку ($\omega_n=(k_w)^{1/2}$). Отримані висновки можна перевірити шляхом моделювання в MATLAB відгуку замкненої системи на ступеневий вхідний сигнал. Для цього записуємо м-файл:

```
>>W=tf([10],[1.25 1]);  
>> Wzz=feedback(W,1);  
>> step(Wzz)
```

Результатом розрахунків є графік, наведений на рис. 4.2.

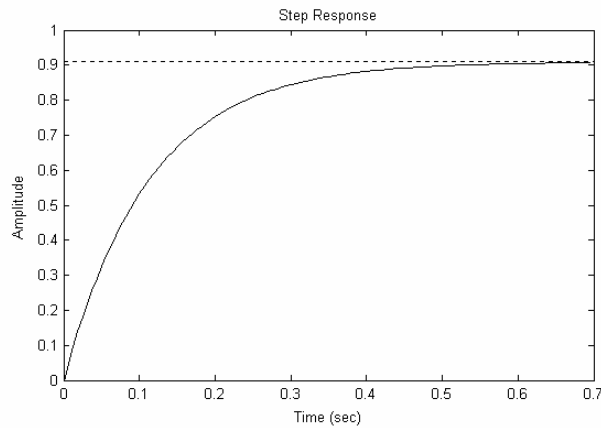


Рис. 4.2

Таким чином, результати попереднього аналізу властивостей об'єкта керування підтверджується: час зростання кривої перехідного процесу становить близько 0.2 с, система передемпфована, а похибка сталого режиму становить близько 9% (див. рис. 4.2).

Далі необхідно вибрати регулятор, який буде відповідати сформульованим раніше вимогам.

Вибираємо ПІ-регулятор. Він гарантує нульову статичну похибку при ступеневому входному впливі. ПІ-регулятор має нульовий полюс, який можна розташувати на кореневому годографі. Це забезпечує додаткову гнучкість синтезу, яка в свою чергу гарантує виконання технічних вимог до проектуємої системи.

Передаточна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$G(p) = \frac{k(p + a)}{p}.$$

Знайдемо коефіцієнт демпфування, який відповідає величині перерегулювання 40%. Згідно з графіком, наведеним на рис. 4.5, такому перерегулюванню відповідає коефіцієнт демпфування $\xi = 0,28$. При цьому запас по фазі приблизно дорівнює 30° . Для забезпечення часу зростання не більше, ніж 0,2 с, смуга перепускання має дорівнювати 18,2 рад/с. Наведені розрахунки дали потрібні значення смуги пропускання

та запасу по фазі для розімкнутого кола проектуємої системи. Смузі перепускання 18,2 рад/с відповідає підсилення приблизно -7 дБ.

Розглянемо, як впливає інтегральний регулятор на ЛАХ розімкнутої системи, для чого побудуємо ЛАХ об'єкта керування та інтегрального регулятора.

```
>> W1=tf([10],[1.25 1]);  
>> W2=tf([1],[1 0]);  
>> W=W1*W2;  
>> bode(W,logspace(0,2))
```

В результаті отримуємо ЛАХ, що зображена на рис. 4.3.

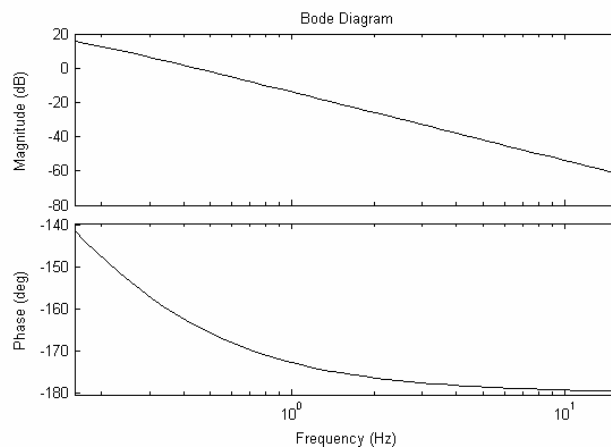


Рис. 4.3

Запас по фазі та смуга перепускання занадто малі (див. рис. 4.11). Тому необхідно збільшити підсилення та зменшити затримку (від'ємну фазу) за допомогою переміщення нуля передаточної функції. Для цього використовуємо форсуючу ланку 1-го порядку. Розташуємо нуль передаточної функції біля одиниці на комплексній площині та подивимося, як зміниться ЛАХ.

```
>> W1=tf([10],[1.25 1]);  
>> W2=tf([1 1],[1 0]);  
>> W=W1*W2;
```

```
>> bode(W,logspace(0,2))
```

Графіки ЛАХ наведені на рис. 4.4.

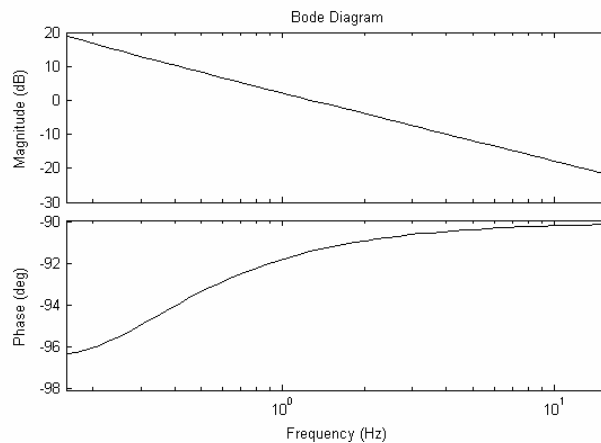


Рис.4.4

Таким чином, ми отримали задовільний результат: запас по фазі став більшим за 60^0 , а перерегулювання стало меншим, ніж прогнозувалося. Смуга перепускання становить близько 11 рад/с, що, на жаль, ще не забезпечує необхідний час регулювання. Збільшимо величину смуги перепускання без суттєвих змін запасу по фазі. Для цього досить збільшити підсилення в розімкненому колі системи. Вибираємо підсилення в 5 одиниць.

```
>> W1=tf([10],[1.25 1]);  
>> W2=tf(5* [1 1],[1 0]);  
>> W=W1*W2;  
>> bode(W,logspace(0,2))
```

В результаті отримуємо ЛАХ (рис. 4.5).

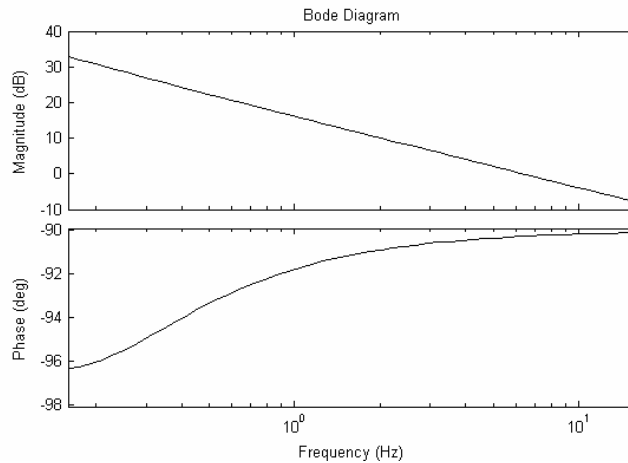


Рис. 4.5

Для оцінки отриманих параметрів регулятора виконаємо моделювання системи і отримаємо перехідну характеристику замкнутої системи (рис. 4.6).

```
>> Wzz=feedback(W,1);
```

```
>> step(Wzz)
```

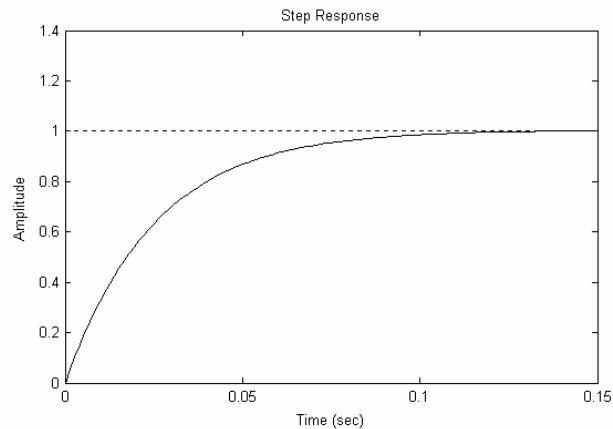


Рис. 4.6

Графік перехідного процесу свідчить, що вимоги до проектуємої системи виконані.

Таким чином, спрощений варіант синтезу регулятора полягає в підборі структури та параметрів регулятора, які повинні забезпечити визначені в

технічному завданні на проектування показники динамічних властивостей проектуємої системи.

2 Порядок виконання роботи

- 2.1 Згідно свого варіанту взяти структурну схему системи автоматичного управління Додаток 1 та параметри цієї схеми Додаток 2.
- 2.3 Введіть передаточну функцію в вигляді полінома в Control System Toolbox та отримайте ЛАХ характеристики.
- 2.4 На основі отриманих графіків визначити смугу перепускання, запас по фазі, перерегулювання, регулювання, коефіцієнт демпфування, стійкість.
- 2.5 Якщо система нестійка, то застосувати перерегулятор. Якщо стійка, то покращити ЛАХ (задачу синтезу регулятора вирішити графічним методом).
- 2.6 Для оцінки отриманих параметрів регулятора виконати моделювання системи і отримати перехідну характеристику замкнутої системи
- 2.7 Порівняйте отримані графіки ЛАХ системи з регулятором та без регулятора.

3 Зміст звіту

- 3.1 Назва та мета роботи.
- 3.2 Структурна схема системи автоматичного управління згідно свого завдання.
- 3.3 Результат виконання моделі отриманої в Control System Toolbox та графік отриманої ЛАХ без регулятора.
- 3.4 Результат виконання моделі отриманої в Control System Toolbox та графік отриманої ЛАХ з регулятором.
- 3.6 Розрахунок смуги перепускання, запасу по фазі, перерегулювання, регулювання, коефіцієнту демпфування, визначення на стійкість.
- 3.7 Аналіз графіків ЛАХ покращення системи автоматичного управління за допомогою регулятора, що отримали.

3.8 Висновки по роботі

4 Контрольні питання

4.1 Що собою представляє регулятор?

4.2 З яких елементів складається регулятор?

4.3 Який вплив кожного із елементів регулятора на якість перехідних процесів?

4.4 Що собою являють частотні характеристики лінійних систем?

4.5 Дайте визначення кожної з частотних характеристик лінійних систем?