

Лабораторна робота 3

Тема: СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Мета роботи: вивчити методи вибору регуляторів в середовищі ПП MatLab (Control System Toolbox та Simulink), поліпшити показників якості перехідних процесів САУ

1 Теоретичні відомості

1.1. Загальні відомості

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор - пристрій в керуючому контурі зі зворотним зв'язком. Використовується в системах автоматичного управління для формування керуючого сигналу з метою отримання необхідних точності і якості перехідного процесу. ПІД-регулятор формує керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків, перше з яких пропорційно різниці вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку (сигнал неузгодженості), друге - інтеграл сигналу неузгодженості, третє - похідна сигналу неузгодженості.

В цій лабораторній роботі вибір структури та параметрів регуляторів виконується на основі аналізу перехідної характеристики *замкнутої системи*. Така характеристика обчислюється для кожного варіанту побудови регулятора методом математичного моделювання за допомогою MATLAB.

Розглянемо характеристики П-, І- та Д-регуляторів і ознайомимося з методами отримання потрібного відгуку системи. Ці методи включають вибір певного типу регулятора. Система з одиничним зворотним зв'язком (система основного типу) зображена на рис.3.1

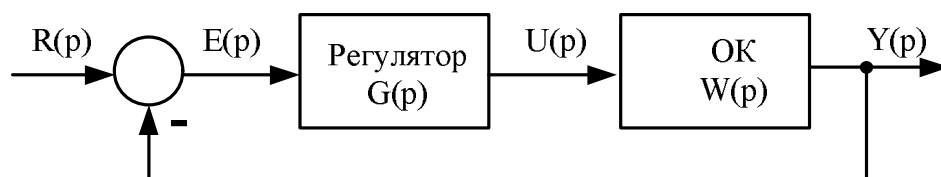


Рис.3.1

Об'єкт керування (ОК) представляє собою так звану А-систему, яка має керуватися певним регулятором. Регулятор забезпечує збудження об'єкта керування та керує поведінкою всієї системи. В повному обсязі регулятор складається з трьох елементів:

- пропорційного підсилювача з масштабуючим коефіцієнтом k_p ;
- інтегратора з коефіцієнтом перетворення k_i ;
- обчислювача похідної з коефіцієнтом перетворення k_d .

Передаточна функція регулятора в повному складі дорівнює

$$W(s) = k_p + \frac{k_i}{p} + k_d p = \frac{k_d p^2 + k_p p + k_i}{p}.$$

Проаналізуємо роботу ПІД-регулятора в замкнутому колі системи, зображеної на рис. 3.1. Похибка на виході суматора $e(t)$ (різниця між вхідним впливом $r(t)$ та вихідним сигналом $y(t)$) надходить до ПІД-регулятора, який її масштабує, обчислює похідну та інтеграл від неї і таким чином утворює сигнал керування $u(t)$:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

Сигнал керування надходить до об'єкта керування, де під впливом цього сигналу створюється нове значення вихідного сигналу $y(t)$. Це нове значення надходить до суматора, де створюється нове значення сигналу похибки $e(t)$. Регулятор отримує це нове значення сигналу похибки і виконує нові обчислення для формування нового значення сигналу керування. Така робота в замкнутому колі буде проходити до того часу, коли зникне різниця між вхідним та вихідним сигналами.

Вплив кожного із елементів регулятора на якість перехідних процесів можна відобразити за допомогою таблиці 3.1.

Необхідно відмітити, що наведені в таблиці властивості перехідних характеристик не можуть бути зовсім точно відтворені, тому що складові елементи регулятора впливають один на одного. Фактично зміни параметрів одного елемента можуть обумовлювати зміну дії двох інших елементів. Тому

таблицю слід використовувати тільки для приблизних розрахунків при синтезі регулятора.

Таблиця 3.1

Коефіцієнт регулятора	Час досягнення максимуму	Перерегулювання	Час регулювання	Похибка сталого режиму
k_p	Зменшується	Збільшується	Невеликі зміни	Зменшується
k_i	Зменшується	Збільшується	Збільшується	Ліквідується повністю
k_d	Невеликі зміни	Зменшується	Зменшується	Невеликі зміни

1.2. Задача синтезу

Розглянемо просту схему об'єкта керування: деяка маса m утримується пружиною p коефіцієнтом жорсткості k та демпфуючим пристроєм з коефіцієнтом демпфування b . Рівняння математичної моделі об'єкта записується як рівняння рівноваги:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = f, \quad (3.1)$$

де f – зовнішня сила, що діє на об'єкт;

x – поточна горизонтальна координата об'єкта.

Перетворимо (3.1) за Лапласом, що дає:

$$mp^2 X(p) + bpX(p) + kX(p) = F(p). \quad (3.2)$$

На основі (3.2) запишемо передаточну функцію відносно поточної координати $X(p)$ (вихід об'єкта) та сили $F(p)$ (вхід об'єкта):

$$\frac{X(p)}{F(p)} = \frac{1}{mp^2 + bp + k}. \quad (3.3)$$

Будемо вважати, що $m = 1$ кг; $b = 10$ Н·с/м; $k = 20$ Н/м; $f = 1$ Н. Тоді отримуємо

$$\frac{X(p)}{F(p)} = \frac{1}{p^2 + 10p + 20}.$$

При вирішенні задачі синтезу САК необхідно показати, що кожний із типів регуляторів (пропорційний, інтегральний та диференційний) сприяє:

- підвищенню швидкодії системи;
- мінімізації перерегулювання ;
- зменшенню похибки сталого режиму.

1.2.1. Реакція моделі розімкнутої системи на ступеневий сигнал

Для визначення реакції моделі розімкнутої системи на ступеневий сигнал необхідно створити новий м-файл такого змісту:

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

В результаті виконання команд з цього файла отримуємо графік реакції розімкнутої системи (рис. 3.2).

Коефіцієнт підсилення в передаточній функції об'єкта дорівнює $1/20$, тому $0,05$ – це стале значення виходу об'єкта. Це означає, що похибка сталого режиму дорівнює $0,95$ і є неприпустимою.

Час досягнення сталого режиму складає близько однієї секунди, а час досягнення на виході величини $0,025$ становить $0,5$ с.

Таким чином отримані параметри перехідного процесу є незадовільними.

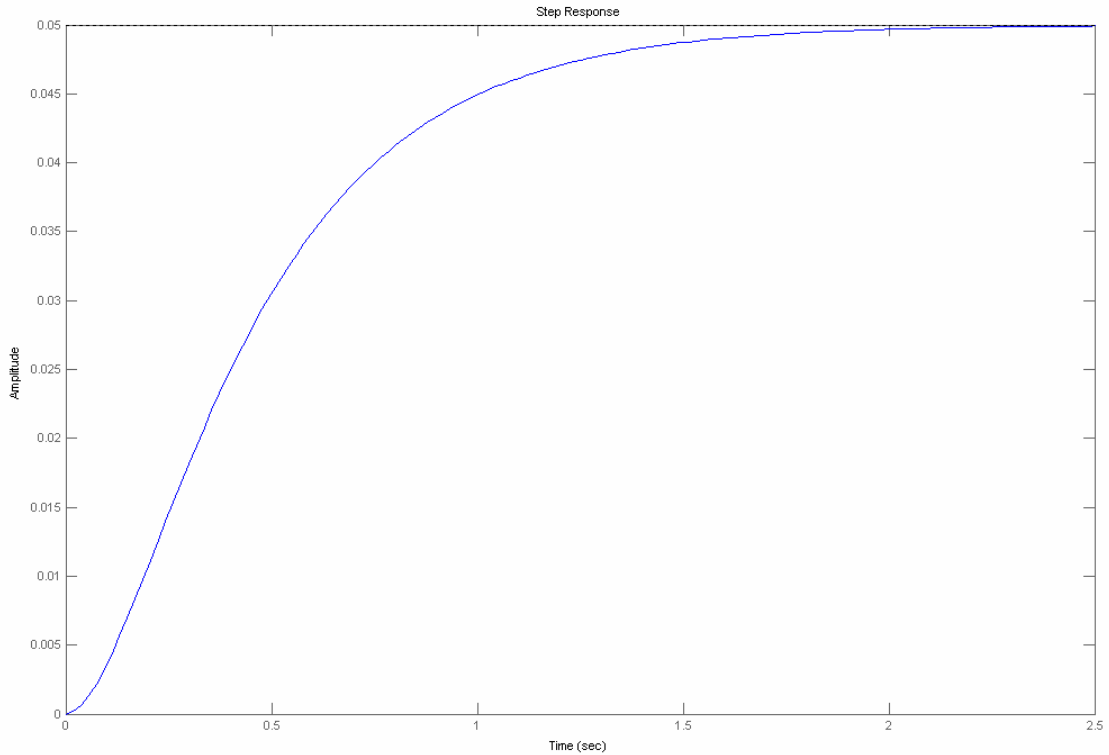


Рис. 3.2

Тому постає задача синтезу регулятора, який зменшить час регулювання та час досягнення сталого режиму, а також ліквідує похибку сталого режиму або зменшить її до припустимої величини.

1.2 Реалізація ПІД-регуляторів за допомогою Simulink та Control System Toolbox

За допомогою Simulink реалізація ПІД-регуляторів проводиться наступним чином, рис.3.3.

Нехай об'єкт керування має передаточну функцію:

$$W(p) = \frac{10}{p^2 + p + 20}$$

Недоліком такого методу є те, що оптимальні коефіцієнти регуляторів необхідно знати заздалегідь.

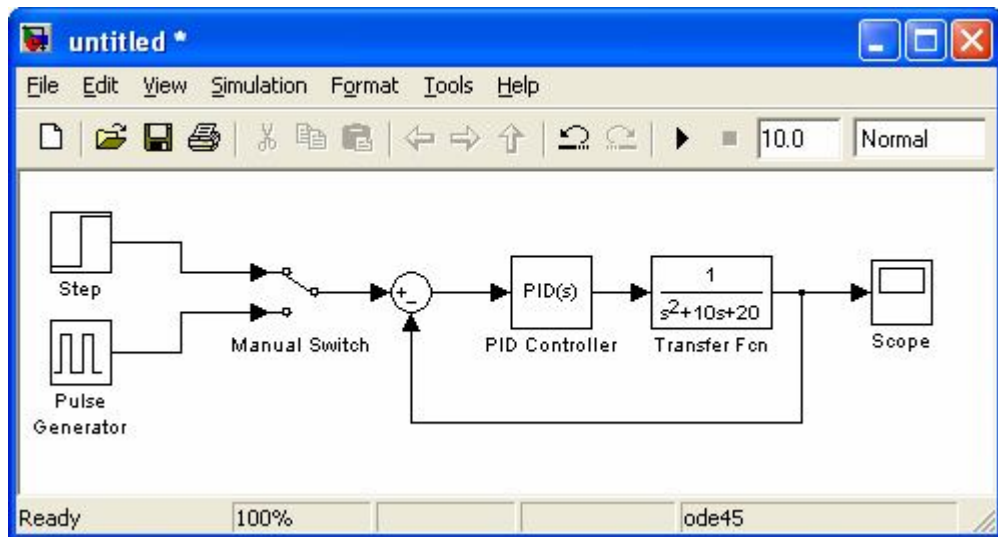


Рис.3.3

За допомогою Control System Toolbox реалізація ПІД-регуляторів проводиться наступним чином, рис.3.4.

```
>> W=tf(1,[1 10 20]);
>> Wz=feedback(W,1,-1);
>> pidtool(Wz)
```

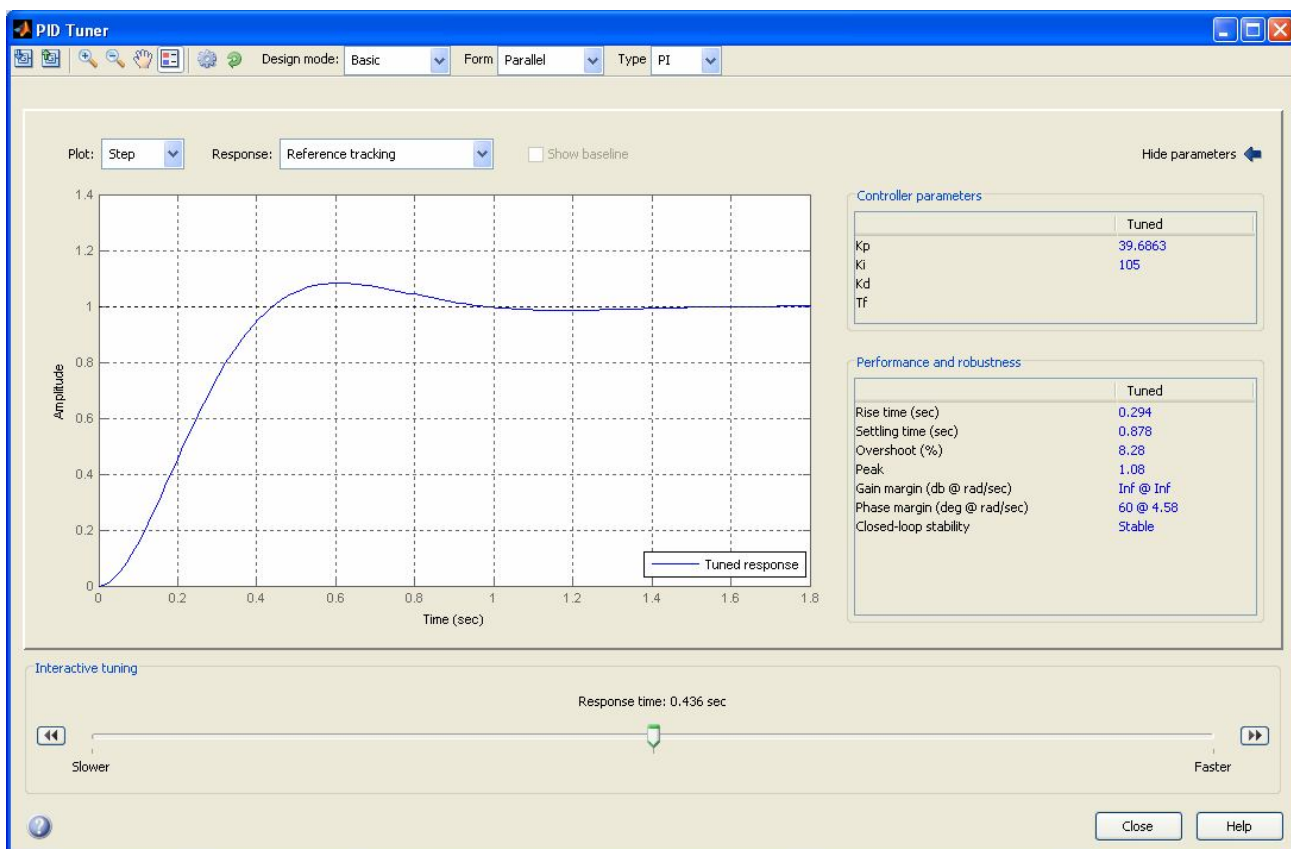


Рис.3.4

Перевагою такого методу є те, що вид та коефіцієнти регулятора підбираються автоматично. Недоліком методу є те, що точність підбору коефіцієнтів залежить від точності розрахунку в Matlab функції *pidtool*.

Також, крім функції *pidtool*, є в Matlab функція *pidtune*, вона розглянута нижче. Перевагою такого методу є те, що вид та коефіцієнти регулятора підбираються автоматично. Недоліком методу є те, що точність підбору коефіцієнтів залежить від точності розрахунку в Matlab функції *pidtune* та також потрібно вручну будувати часові та передаточні функції.

1.2.2. Введення пропорційного регулятора

З таблиці 3.1 бачимо, що пропорційний регулятор зменшує похибку сталого режиму. Передаточна функція замкнутого кола системи з пропорційним регулятором дорівнює:

$$\frac{X(p)}{F(p)} = \frac{k_p}{p^2 + 10p + (20 + k_p)}$$

Використовуємо функцію *pidtune* для розрахунку коефіцієнтів регуляторів. В MATLAB є функція *feedback*, яка виконує обчислення передаточної функції замкнутого кола системи за передаточною функцією розімкнутої системи. З її використанням м-файл приймає вигляд:

```
>> C=pidtune(W,'p');  
>> Wp=series(W,C);  
>> Wpz=feedback(Wp,1,-1) ;  
>> step(Wpz)
```

Виконання цього м-файлу в системі MATLAB дозволяє отримати реакцію об'єкта керування (рис. 3.5).

Пропорційний регулятор зменшує час усталення і похибку сталого режиму, але збільшує перерегулювання і дещо зменшує час регулювання.

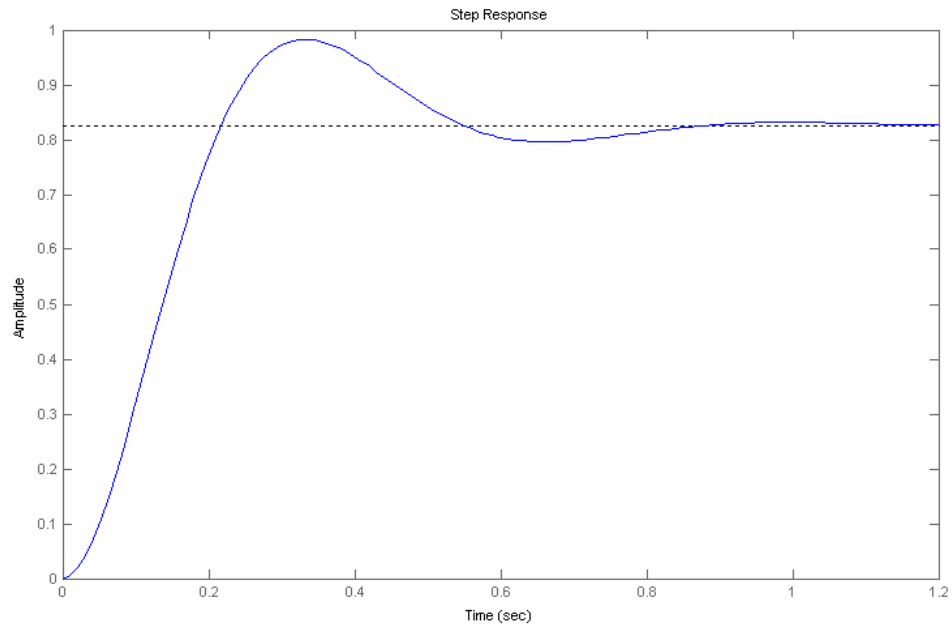


Рис. 3.5

1.2.3. Пропорційно-диференційний регулятор

ПД-регулювання зменшує як перерегулювання, так і час усталення перехідного процесу. Для досліджуємого об'єкта (див. формули (3.1) – (3.3)) передаточна функція кола з ПД-регулятором записується так:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{k_d s + k_p}{s^2 + (10 + k_d)s + (20 + k_p)}$$

Використовуючи функцію *pidtune* для розрахунку коефіцієнтів регуляторів. Тоді м-файл набуває такого вигляду:

```
>> C=pidtune(W,'pd');
>> Wpd=series(W,C);
>> Wpdz=feedback(Wpd,1,-1);
>> step(Wpdz)
```

В результаті отримуємо перехідний процес, зображений на рис. 3.6.

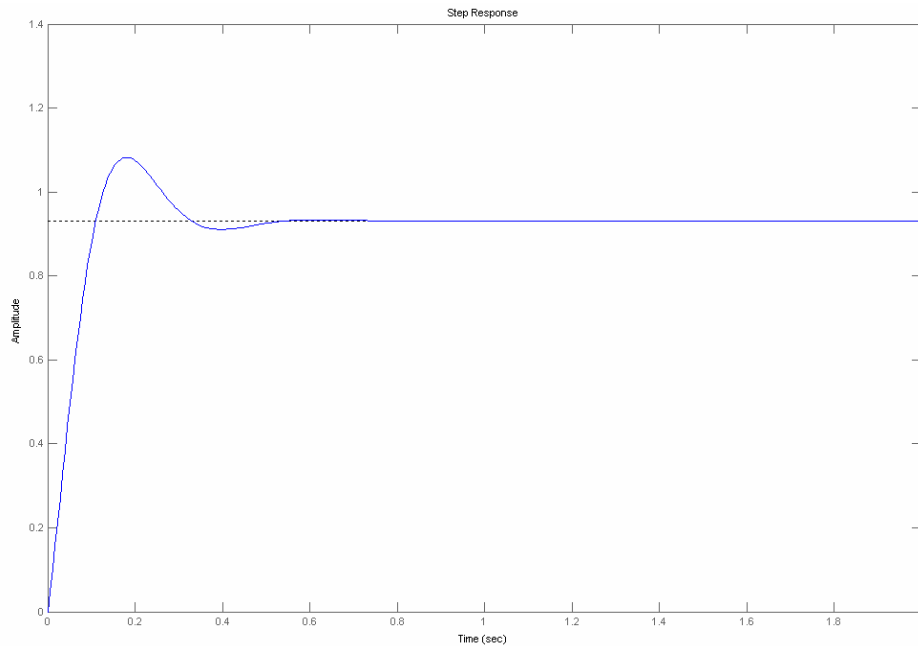


Рис. 3.6

Таким чином, регулювання за похідною зменшує як перерегулювання, так і час усталення перехідного процесу, але має малий вплив на час досягнення стану перерегулювання та на похибку сталого режиму.

1.2.4. Пропорційно-інтегральний регулятор

Інтегральний регулятор зменшує час досягнення максимуму кривої перехідного процесу, збільшує перерегулювання та час усталення перехідного процесу, але ліквідує похибку сталого режиму. Для досліджуємого об'єкта (див. формули (3.1) – (3.3)) передаточна функція замкнутого кола з ПІ-регулятором записується так:

$$\frac{X(p)}{F(p)} = \frac{k_p p + k_i}{p^3 + 10p^2 + (20 + k_p)p + k_i}$$

Використовуючи функцію *pidtune* для розрахунку коефіцієнтів регуляторів. Тоді м-файл набуває такого вигляду:

```
>> C=pidtune(W,'pi');
>> Wpi=series(W,C);
>> Wpiz=feedback(Wpi,1,-1);
>> step(Wpiz)
```

В результаті отримуємо перехідний процес, зображений на рис. 3.7.

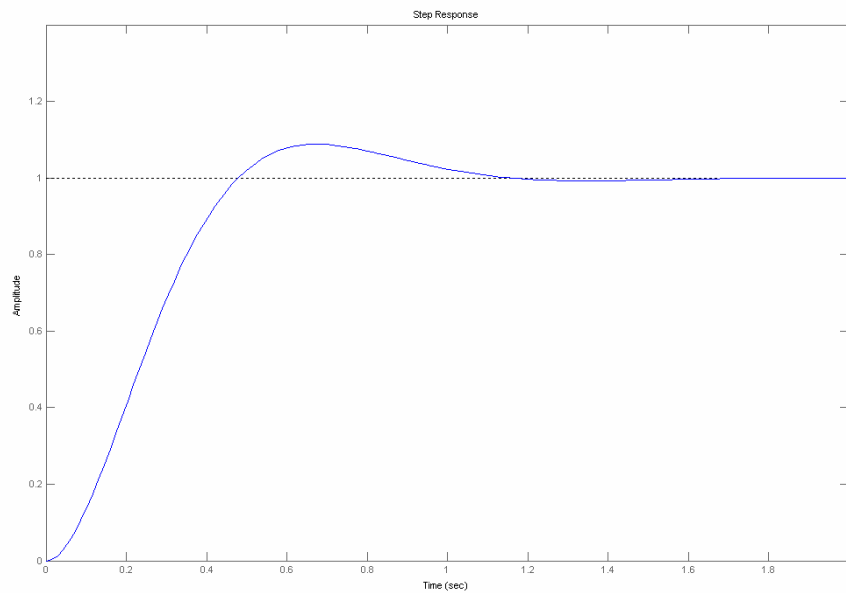


Рис. 3.7

В даному випадку значення k_p для пропорційного регулятора зменшено тому, що інтегральний регулятор також зменшує час зростання кривої перехідного процесу та збільшує перерегулювання (маємо подвійний ефект).

По графіку перехідного процесу бачимо, що інтегральний регулятор ліквідував похибку сталого режиму.

1.2.5. Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор

Передаточна функція замкнутого кола системи з ПІД-регулятором має такий вигляд:

$$\frac{X(p)}{F(p)} = \frac{k_d p^2 + k_p p + k_i}{p^3 + (10 + k_d) p^2 + (20 + k_p) p + k_i}.$$

Використовуючи функцію *pidtune* для розрахунку коефіцієнтів регуляторів, які забезпечують необхідну якість перехідного процесу. В цьому випадку маємо такий м-файл:

```
>> C=pidtune(W,'pid');  
>> Wpid=series(W,C);  
>> Wpidz=feedback(Wpid,1,-1);  
>> step(Wpidz)
```

В результаті отримуємо перехідний процес, зображений на рис. 3.8.

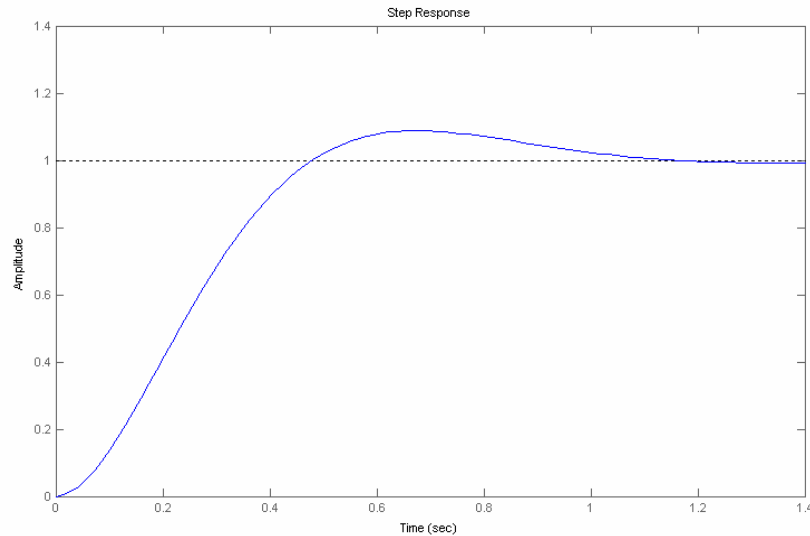


Рис. 3.8

Таким чином, знайдені параметри системи з ПД-регулятором, які забезпечують перехідні процеси без перерегулювання, з малим (прийнятним) часом зростання перехідної характеристики та без похибки сталого режиму.

1.3. Рекомендації по вибору регуляторів

Вибір структури та параметрів регулятора виконується, виходячи з умови отримання необхідних параметрів перехідних процесів в замкнутому колі синтезуємої системи. Рекомендується наступний порядок дій при визначенні структури та параметрів регулятора:

1. Отримуємо відгук (реакцію) розімкненого кола системи та приймаємо проектне рішення щодо потрібних удосконалень цієї системи.
2. Встановлюємо пропорційний регулятор для зменшення часу зростання графіка перехідного процесу.
3. Додаємо керування за похідною для зменшення перерегулювання.
4. Додаємо інтегральне керування для ліквідації похибки сталого режиму.

5. Налаштовуємо (підбираємо) кожний із коефіцієнтів k_p , k_i , k_d до отримання необхідних параметрів графіку перехідного процесу, користуючись таблицею 3.1.

Не слід одночасно вводити до системи усі три регулятори. Наприклад, якщо П-регулятор забезпечує прийнятний графік перехідного процесу, то непотрібно вводити до системи ще і Д - та І - регулятори. Завжди обмежуються найпростішим регулятором.

2 Порядок виконання роботи

2.1 Згідно свого варіанту взяти структурну схему системи автоматичного управління Додаток 1 та параметри цієї схеми Додаток 2.

2.2 Введіть передаточну функцію в вигляді полінома за допомогою пакету Simulink та отримайте відгук розімкнутого кола системи та приймаємо проектне рішення щодо потрібних удосконалень цієї системи.

2.3 Введіть передаточну функцію в вигляді полінома в Control System Toolbox та отримайте відгук розімкнутого кола системи та приймаємо проектне рішення щодо потрібних удосконалень цієї системи.

2.4 На основі отриманих графіків визначити перерегулювання, регулювання, стійкість.

2.5 Якщо система нестійка, то застосувати перерегулятор. Якщо стійка, то покращити перехідну характеристику.

2.6 Промоделюйте систему з регулятором за допомогою пакету Simulink та отримайте перехідну характеристику.

2.7 Промоделюйте систему з регулятором в Control System Toolbox та отримайте перехідну характеристику.

2.8 Порівняйте отримані графіки перехідної характеристики 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 даної структурної схеми в Simulink та графік отриманої перехідної характеристики без регулятора.
- 3.4 Результат виконання моделі отриманої в Control System Toolbox та графік отриманої перехідної характеристики без регулятора.
- 3.4 Результат виконання моделі даної структурної схеми в Simulink та графік отриманої перехідної характеристики з регулятором.
- 3.5 Результат виконання моделі отриманої в Control System Toolbox та графік отриманої перехідної характеристики з регулятором.
- 3.6 Розрахунок перерегулювання, регулювання без регулятора та з регулятором.
- 3.6 Опис визначення на стійкість системи без регулятора та з регулятором.
- 3.7 Аналіз графіків перехідних характеристик покращення системи автоматичного управління за допомогою регулятора, що отримали різними методами моделювання.
- 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 часові характеристики лінійних систем?
- 4.5 Дайте визначення кожної з часових характеристик лінійних систем?