



ЖИТОМИРСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

100
РОКІВ

Лекція 6

**СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ЧАСОВИМИ ТА ЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ**

ЛЕКЦІЯ 6

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЧАСОВИМИ ТА ЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ

- 1) Загальні відомості для дискретних ПД-регуляторів.
- 2) Реалізація ПД-регуляторів за допомогою пакетів Simulink та Control System Toolbox.
- 3) Характеристика роботи замкнутої системи.
- 4) Реалізація ПД-регуляторів за допомогою Control System Toolbox.

1. Загальні відомості для дискретних ПІД-регуляторів

Пропорційно-інтегральний-диференційний регулятор (ПІД-регулятор) входить у загальний контур управління та широко використовується в промислових системах управління. ПІД-регулятор розраховує значення "похибки" як різницю між вимірюваним значенням параметру процесу і бажаним значенням. Регулятор намагається звести до мінімуму похибки, регулюючи входи об'єкту управління.

Реалізація регулятора об'єкту (ПІД, ПІ, ПД, П або І типу) здійснюється за допомогою пакетів Simulink та Control System Toolbox. Параметри ПІД-регулятора можна налаштовувати вручну або автоматично.

Для ПІД-регулятора дискретного часу передаточна функція має вигляд:

$$C_{par} = P + Ia(z) + D \left[\frac{N}{1 + Nb(z)} \right] \quad (6.1)$$

$$C_{id} = P \left[1 + Ia(z) + D \frac{N}{1 + Nb(z)} \right] \quad (6.2)$$

параметри a та b відповідно визначаються:

	інтегрування вперед методом Ейлера	інтегрування назад методом Ейлера	Метод трапецій
$a(z)$ метод ітерацій	$\frac{T}{z-1}$	$\frac{Tz}{z-1}$	$\frac{T}{2} \frac{z+1}{z-1}$
$b(z)$ метод фільтрації	$\frac{T}{z-1}$	$\frac{Tz}{z-1}$	$\frac{T}{2} \frac{z+1}{z-1}$

2 Реалізація ПІД-регуляторів за допомогою пакетів Simulink та Control System Toolbox

Нехай об'єкт керування має передаточну функцію в безперервному вигляді:

$$W(s) = \frac{10}{s^2 + s + 20} \quad (6.3)$$

За допомогою пакету Control System Toolbox синтез ПІД-регуляторів проводиться наступним чином:

```
>> num=10;  
>> den=[1 1 20];  
>> [numd,dend] = c2dm(num,den,0.01,'zoh');  
>> Wz=tf(numd, dend, 0.01);  
>> pidtool(Wz)
```

Функція `pidtool(Wzz)` автоматично підбирає регулятор для системи, а також робить систему стійкою. Приклад застосування параметри цієї функції для системи з передаточною характеристикою W_{zz} представлений на рис. 6.1.

```
>>pidtool(Wzz)
```

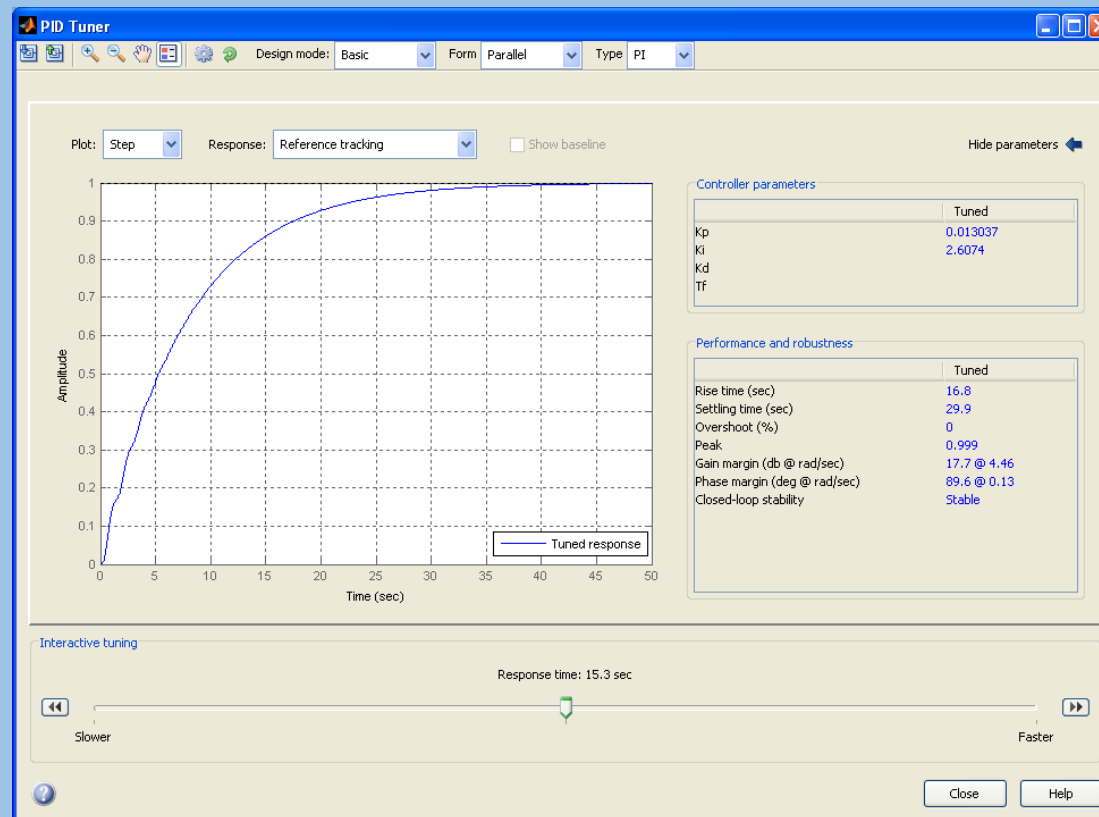


Рис.6.1. Передаточна функція

Функція `pidtune(Wz,'PID')` підбирає регулятор заданого типу для системи, робить її стійкою, а також покращує ЛАХ системи. Приклад застосування цієї функції для системи з передаточною характеристикою Wz представлений на рис. 6.2.

```
>> C=pidtune(Wz,'PI')
Discrete-time PI controller in parallel form:
      Ts
Kp + Ki * ----
          z-1
with Kp = 0.013037, Ki = 2.6074, Ts = 0.01
>>F=feedback(series(WB,C),1,-1)
Transfer function:
6.496e-007 z^2 + 1.297e-006 z + 6.474e-007
-----
      z^3 - 2.988 z^2 + 2.978 z - 0.99
Sampling time: 0.01
>> step(F)
```

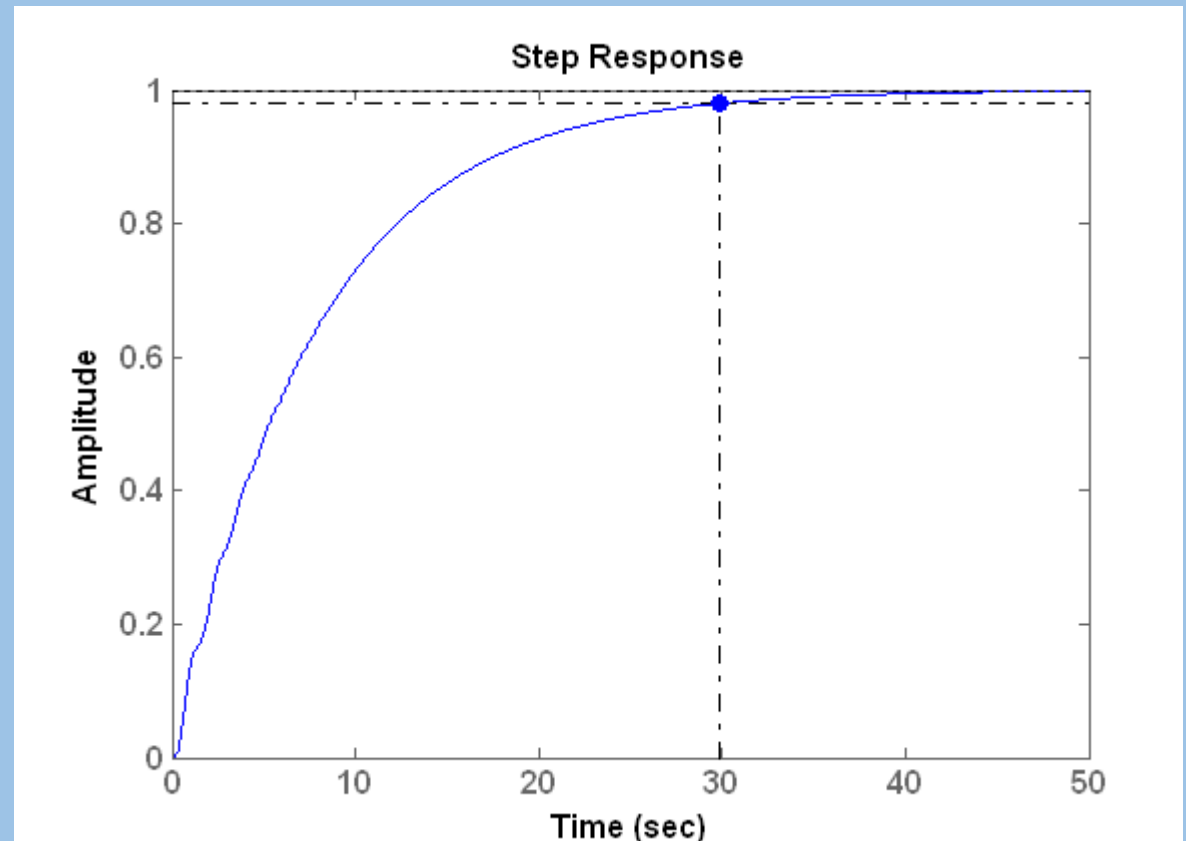


Рис.6.2. Перехідна характеристика САУ з пропорційно-інтегральним регулятором

За допомогою пакету Simulink синтез ПІД-регуляторів проводиться наступним чином (рис.6.3). Синтез за допомогою пакету Simulink може бути здійснений як автоматично, так і вручну, коли значення параметрів регуляторів заздалегідь відомі.

У випадку автоматичного синтезу при подвійному натисканні на ліву клавішу миші, що вказує на блок Discrete PID Controller, з'явиться вікно "Function Block Parameters: PID Controller". В цьому вікні можна обрати тип регулятора та натиснути кнопку Tune для автоматичного підбору параметрів регулятора.

У випадку ручного синтезу необхідно у вікно Function Block Parameters ввести значення параметрів регулятора.

Як видно з вище викладеного, в даному випадку застосовується ІІ-регулятор з параметрами $K_p = 0.013037$ $K_i = 2.6074$ часом встановлення $t_s = 29,9$, перелюгуванням $\sigma = 0\%$, похибка сталого режиму відсутня, система стійка.

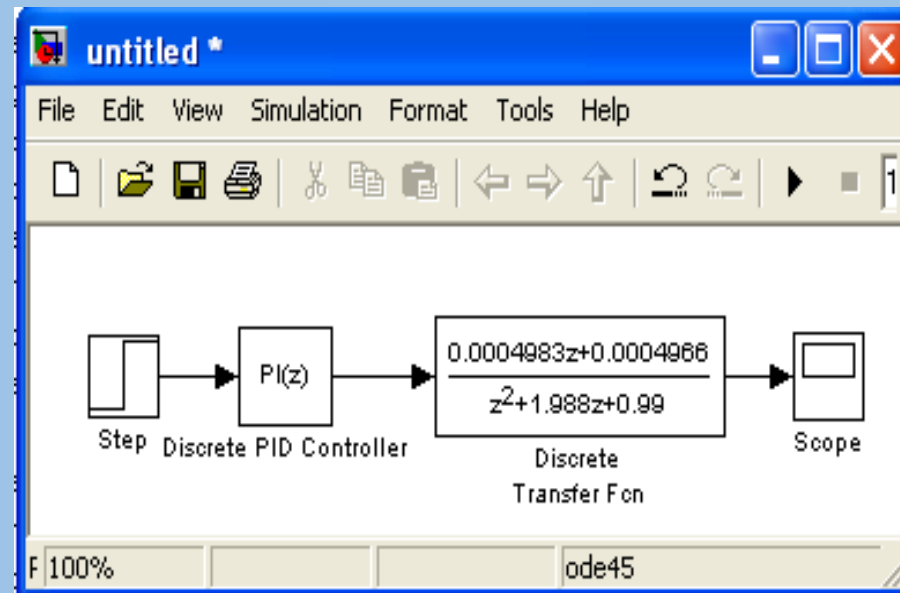


Рис.6.3

3 Характеристика роботи замкненої системи

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

1. Якщо частота зрізу розімкненої системи, менша від частоти, на якій ФЧХ досягає значення -180^0 ($\omega_c < \omega_{pc} = -180^0$), то замкнена система буде стійкою.
2. Коефіцієнт демпфування замкненої системи 2-го порядку дорівнює запасу по фазі, що віднесений до 100.
3. Для систем 2-го порядку за межу смуги перепускання можна прийняти частоту власних незгасаючих коливань.

4 Реалізація ПІД-регуляторів за допомогою Control System Toolbox

Нехай об'єкт керування має передаточну функцію (6.1).

Проектуємий регулятор повинен 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 програми Matlab графічний метод має явні переваги, тому будемо користуватися графічним методом синтезу регулятора. Спочатку побудуємо ЛАХ, для чого запишемо m-файл:

```
>> num=10;  
>> den=[1 1 20];  
>> [numd,dend] = c2dm(num,den,0.01,'zoh');  
>> Wz=tf(numd, dend, 0.01);  
>> Wzz=feedback(Wz,-1);  
>> margin(Wzz)
```

На основі графіків ЛАХ можна визначити деякі характеристики системи. Запас по амплітуді дорівнює 26,5 dB. Запас по фазі для цього об'єкта керування складає приблизно $\Delta\varphi(\omega_c)=34,1^\circ$. Це відповідає значенню коефіцієнта демпфування $\Delta\varphi(\omega_c)/100 = 34,1^\circ/100=0,341$.

З отриманих характеристик можна зробити висновок, що система стійка, тому потрібно покращити ці характеристики.

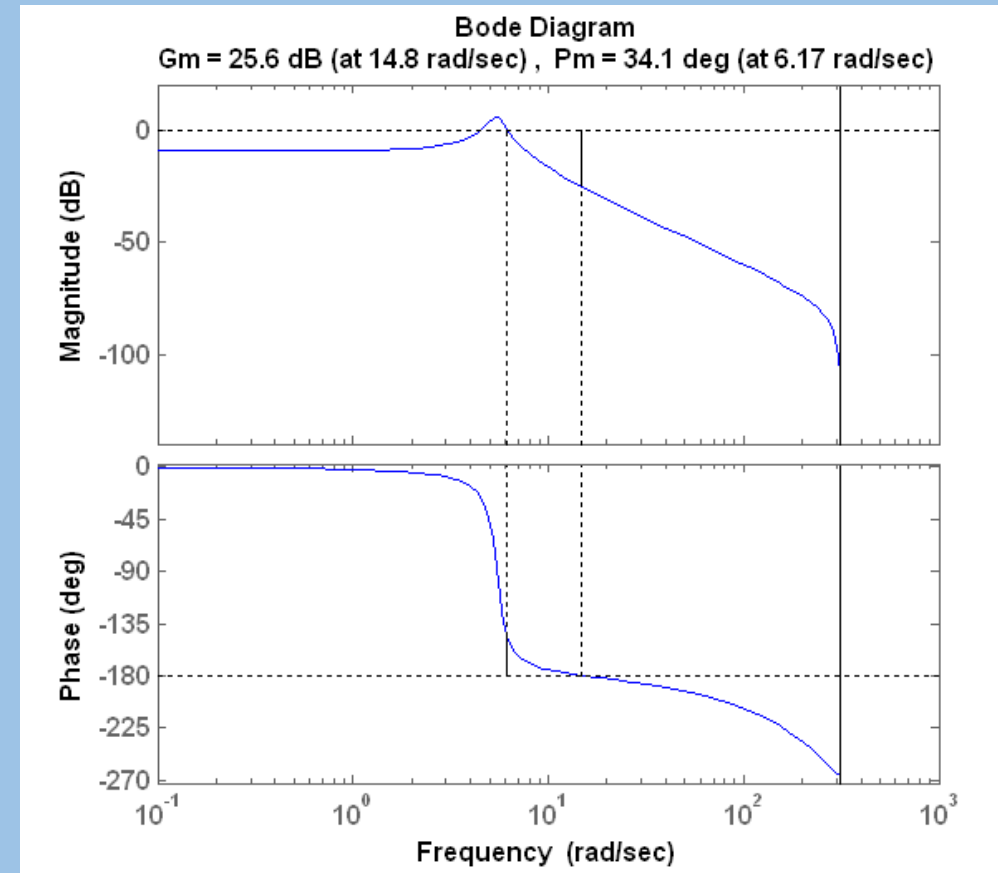


Рис. 6.4. Логарифмічно-амплітудна характеристика початкової замкнутої САУ

Таким чином, результати попереднього аналізу властивостей об'єкта керування підтверджуються: час встановлення кривої перехідного процесу становить близько 8,2 с, перегулювання $\sigma=45\%$, похибка сталого режиму також є неприпустимою (див. рис. 6.5).

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

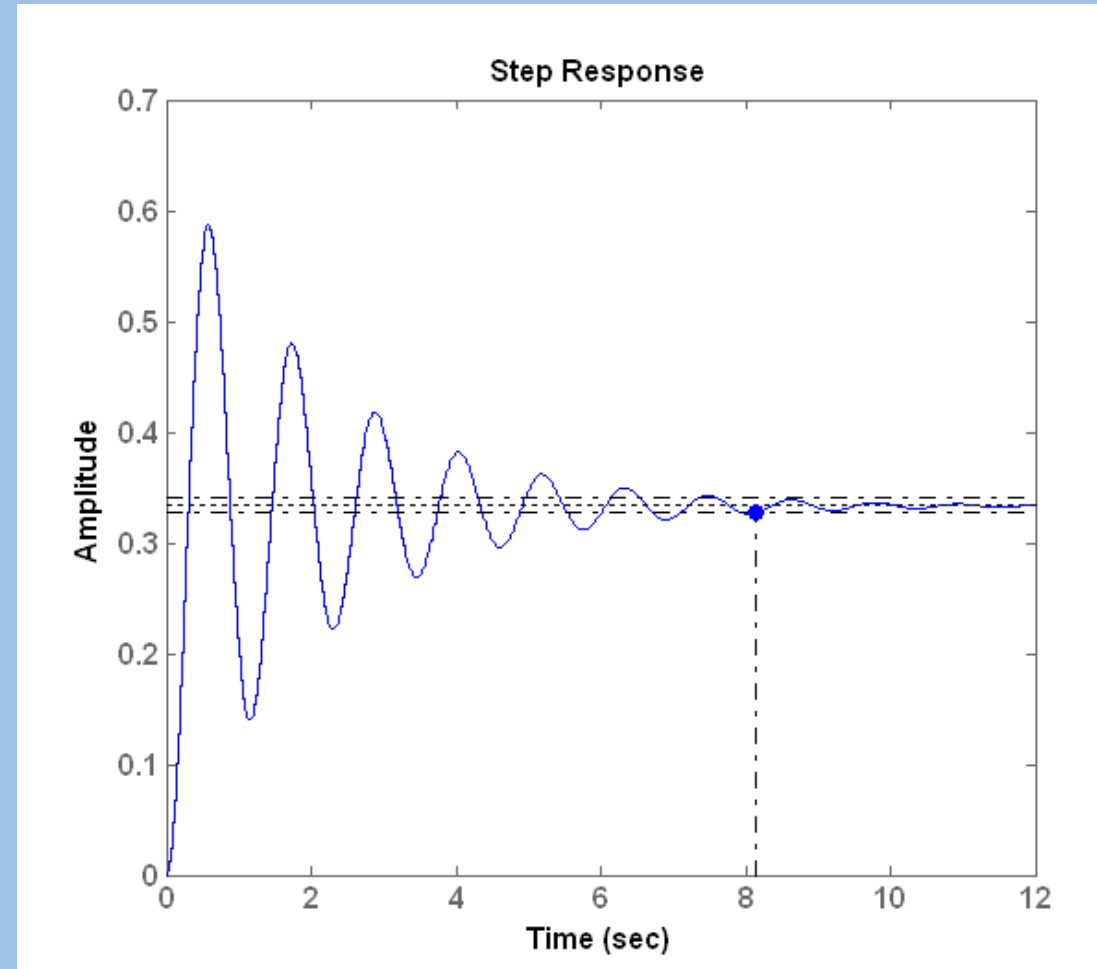


Рис. 6.5. Перехідна характеристика початкової замкнутої САУ

Функція pidtool(Wzz) підбирає регулятор для системи, при цьому достатньо задати передаточну характеристику розімкненої системи, а функція автоматично знайде замкнену передаточну характеристику замкнутої системи та зробить її стійкою, покращить ЛАХ. Приклад застосування цієї функції для даної передаточної характеристики Wz представлений на рис. 6.6.

```
>>pidtool (Wz)
```

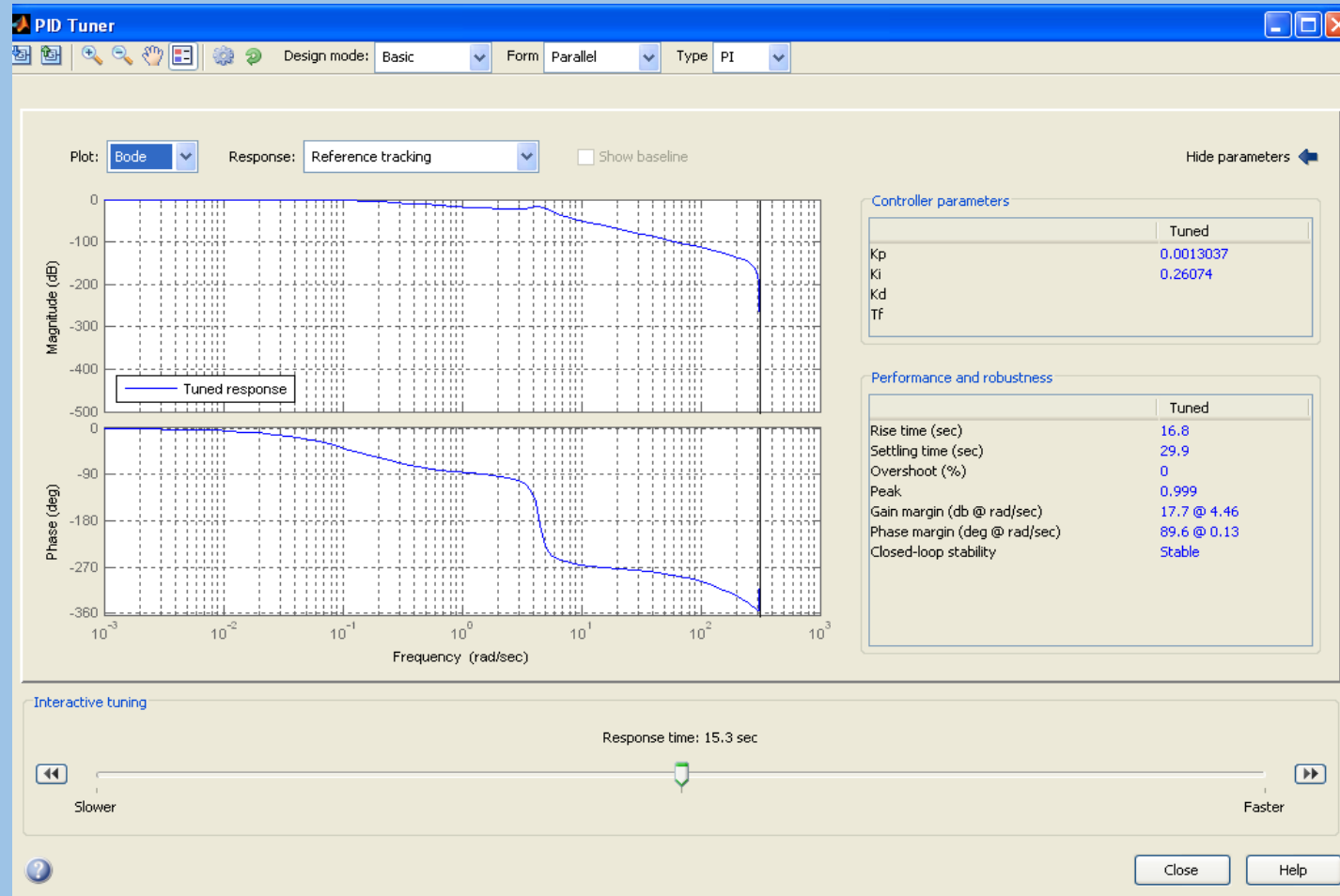


Рис.6.6

Функція `pidtune(Wzz,'PID')` підбирає регулятор заданого типу, робить САУ стійкою та покращує її ЛАХ. Приклад застосування цієї функції для САУ з передаточною функцією W_{zz} представлений на рис. 6.7.

```
>>C=pidtune(Wz,'PI')
```

```
Discrete-time PI controller in parallel form:
```

$$K_p + K_i * \frac{T_s}{z-1}$$

```
with Kp = 0.0013037, Ki = 0.26074, Ts = 0.01
```

```
>> F=feedback(series(Wz,C),1,-1)
```

```
Transfer function:
```

$$\frac{6.496e-007 z^2 + 1.297e-006 z + 6.474e-007}{z^3 - 2.988 z^2 + 2.978 z - 0.99}$$

```
Sampling time: 0.01
```

```
>> margin(F)
```

При застосуванні функції `pidtune` отримуємо запас по фазі $16,4 \text{ dB}$ та запас по амплітуді -180° , що відрізняються від результатів функції `pidtool`. Графіки перехідного процесу навпаки співпадають. Розбіжності виникають через різні методи обчислення в самих функціях.

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.

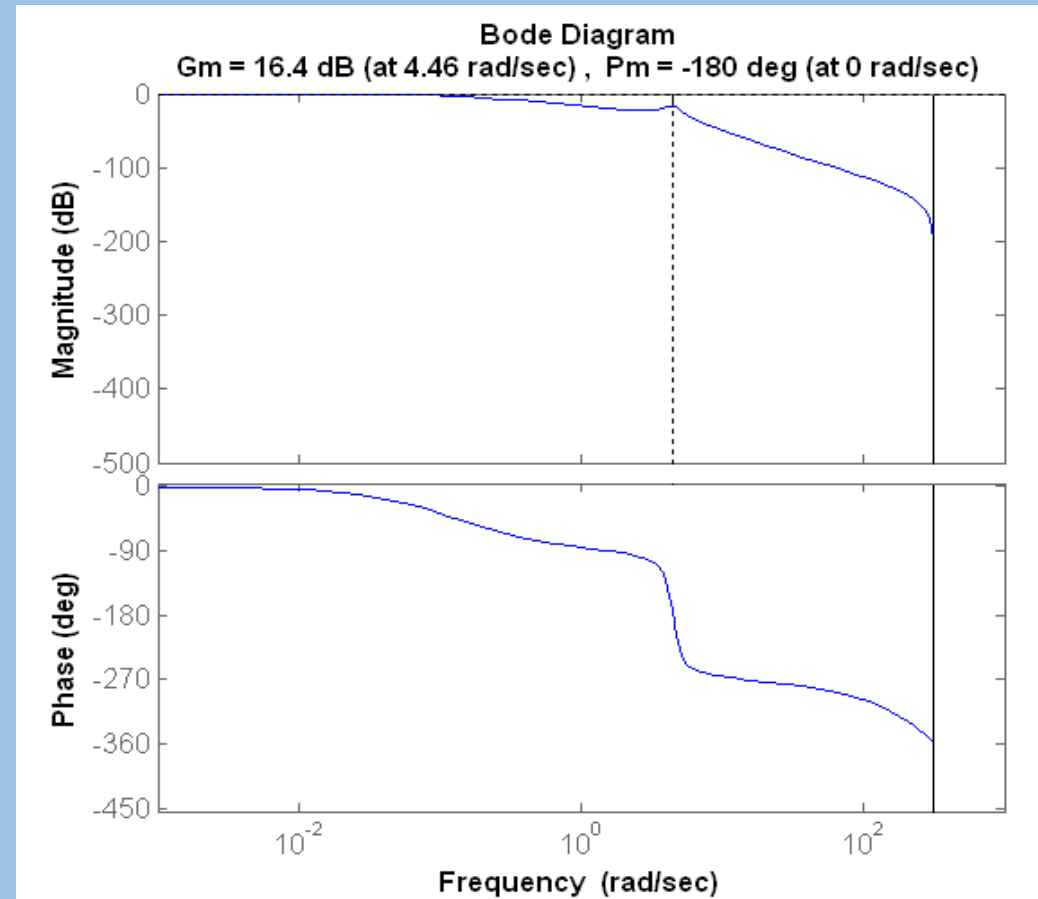


Рис.6.7. Логарифмічна-амплітудна характеристика пропорційно-інтегрального регулятора