

Презентация

Модул 6:

Времеви и честотни характеристики на САУ

Курс: Теория на Управлението 1
Автор: доц. д-р Александър Ищев



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Цели на модула

- Преходни и тегловни функции на САУ
 - Едномерни системи
 - Многомерни системи
- Честотни характеристики на САУ
 - Логаритмични Амплитудно Честоти Характеристики
 - Логаритмични Фазо Честоти Характеристики
 - Амплитудно честотни харектеристики



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Теорема на разлагането

Лапласов образ:

$$X(p) = \frac{B(p)}{A(p)}$$

Оригинал: $x(t) = \sum_{i=1}^l \frac{1}{(r_i - 1)!} \lim_{p \rightarrow \lambda_i} \frac{d^{r_i-1}}{dp^{r_i-1}} [X(p)(p - \lambda_i)^{r_i} e^{pt}]$,

(λ_i - корените на уравнението $A(p) = 0$

r_i - тяхната кратност,

l - брой на различните корени)



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Теорема на разлагането

- частен случай – n прости корени на $A(p) = 0$

функция $X(p) = \frac{B(p)}{A(p)}$

оригинал $x(t) = \sum_{i=1}^n \frac{B(\lambda_i)}{A'(\lambda_i)} e^{\lambda_i t}$

$$A'(\lambda_i) = \left. \frac{dA}{dp} \right|_{p=\lambda_i}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Преходна функция на САУ (теорема на разлагането)

$$W(p) = \frac{p + 4}{(p + 1)(p + 2)^2}$$

$$h(p) = \frac{W(p)}{p} = \frac{p + 4}{p(p + 1)(p + 2)^2}$$

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0 \\ \lambda_2 &= -1 \\ \lambda_{3,4} &= -2\end{aligned}$$

$$B(p) = p + 4$$

$$A(p) = p^4 + 5p^3 + 8p^2 + 4p$$

$$A'(p) = 4p^3 + 15p^2 + 16p + 4$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Преходна функция на САУ (теорема на разлагането)

$$\lambda_1 = 0 \quad \frac{B(\lambda_1)}{A'(\lambda_1)} e^{\lambda_1 t} = \frac{4}{4} e^0 = 1$$

$$\lambda_2 = -1 \quad \frac{B(\lambda_2)}{A'(\lambda_2)} e^{\lambda_2 t} = \frac{-1 + 4}{-4 + 15 - 16 + 4} e^{-t} = -3e^{-t}$$

$$\lambda_{3,4} = -2 \quad \frac{1}{(r_3 - 1)!} \lim_{p \rightarrow \lambda_3} \frac{d^{r_3-1}}{dp^{r_3-1}} [h(p)(p - \lambda_3)^{r_3} e^{pt}] = \lim_{p \rightarrow -2} \frac{d}{dp} \left[\frac{p+4}{p(p+1)} e^{pt} \right] = (2+t)e^{-2t}.$$

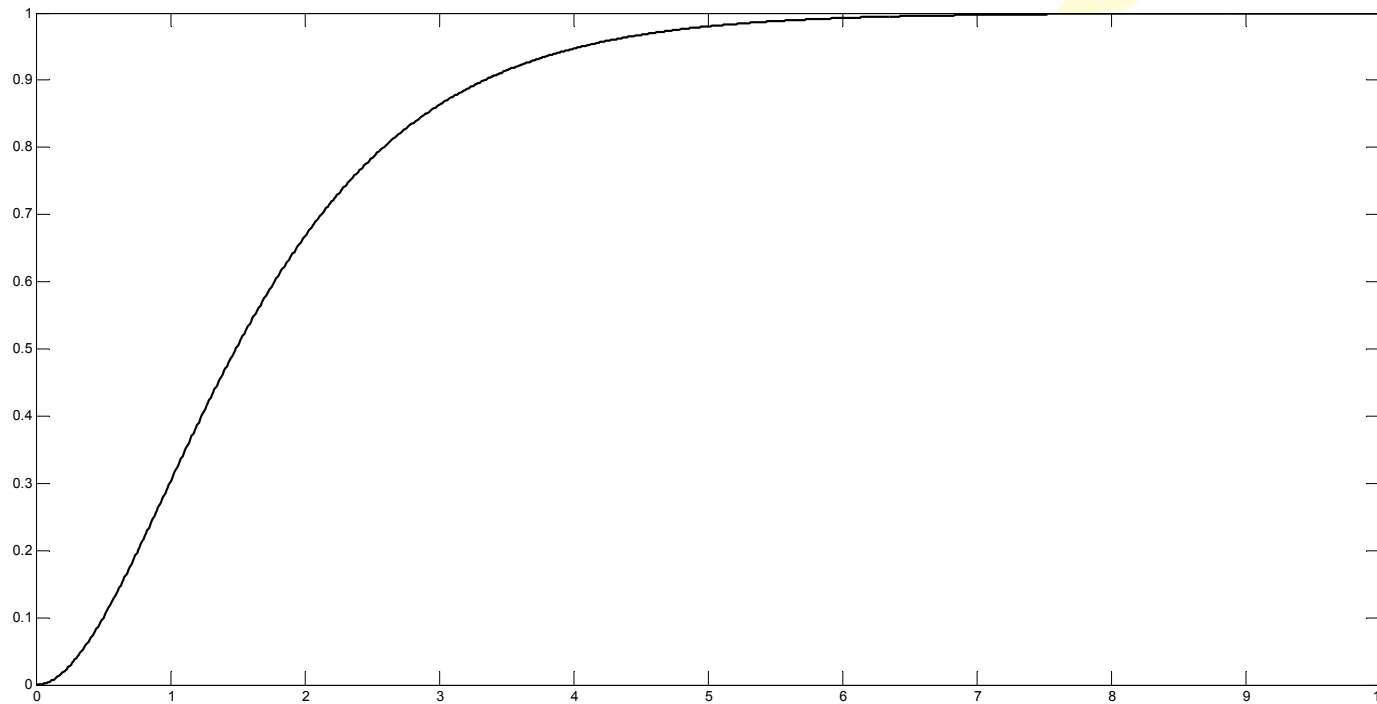


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Сумарна преходна функция

$$h(t) = 1 - 3e^{-t} + (2 + t)e^{-2t}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Разлагане на прости дроби

дробно-рационална Лапласова функция

$$F(p) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}$$

без кратни корени λ_i в знаменателя се разлага на

$$F(p) = c_0 + \frac{c_1}{p - \lambda_1} + \frac{c_2}{p - \lambda_2} + \dots + \frac{c_n}{p - \lambda_n}$$

$$c_0 = \lim_{p \rightarrow \infty} F(p) \quad c_i = (p - \lambda_i) F(p) \Big|_{p=\lambda_i}$$

и има оригинал във времевата област

$$f(t) = \sum_{i=1}^n c_i e^{\lambda_i t}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Преходна функци (чрез разлагане на прости дроби)

$$W(p) = \frac{p+4}{(p+1)(p+2)}$$

Лапласовото изображение на преходната функция

$$H(p) = \frac{W(p)}{p} = \frac{p+4}{p(p+1)(p+2)}$$

$$H(p) = \frac{(p+4)}{p(p+1)(p+2)} = \frac{c_1}{p} + \frac{c_2}{p+1} + \frac{c_3}{p+2}$$

$$c_0 = \lim_{p \rightarrow \infty} F(p) = 0 \quad \text{при} \quad m < n$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Преходна функция (чрез разлагане на прости дроби)

$$c_1 = pH(p)\Big|_{p=0} = \frac{(p+4)}{(p+1)(p+2)}\Big|_{p=0} = 2$$

$$c_2 = (p+1)H(p)\Big|_{p=-1} = \frac{(p+4)}{p(p+2)}\Big|_{p=-1} = -3$$

$$c_3 = (p+2)H(p)\Big|_{p=-2} = \frac{(p+4)}{p(p+1)}\Big|_{p=-2} = 1$$

$$H(p) = \frac{(p+4)}{p(p+1)(p+2)} = \frac{2}{p} + \frac{-3}{p+1} + \frac{1}{p+2}$$

$$h(t) = 1 - 3e^{-t} + e^{-2t}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Многомерни системи

- Матрична преходна функция

$$\mathbf{H}(t) = \begin{bmatrix} h_{11}(t) & \cdots & h_{1r}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{l1}(t) & \cdots & h_{lr}(t) \end{bmatrix}$$

- Матрична тегловна функция

$$\mathbf{W}(t) = \begin{bmatrix} w_{11}(t) & \cdots & w_{1r}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{l1}(t) & \cdots & w_{lr}(t) \end{bmatrix}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Многомерни системи (пример)

$$\mathbf{H}(p) = \frac{1}{p} \mathbf{W}(p) = \begin{bmatrix} \frac{3p+1}{A(p)} & \frac{0.5}{A(p)} \\ \frac{0.5}{A(p)} & \frac{8p+1}{A(p)} \end{bmatrix}, \quad A(p) = p(24p^2 + 11p + 0.75)$$

$$\lambda_1 = 0 \quad \lambda_2 = -\frac{1}{12} \quad \lambda_3 = -\frac{3}{8}$$

$\mathbf{H}(t) =$

$$\frac{1}{21} \begin{bmatrix} 28 - 27e^{-\frac{1}{12}t} - e^{-\frac{3}{8}t} & 14 - 18e^{-\frac{1}{12}t} + 4e^{-\frac{3}{8}t} \\ 14 - 18e^{-\frac{1}{12}t} + 4e^{-\frac{3}{8}t} & 28 - 12e^{-\frac{1}{12}t} - 16e^{-\frac{3}{8}t} \end{bmatrix}$$

$\mathbf{W}(t) =$

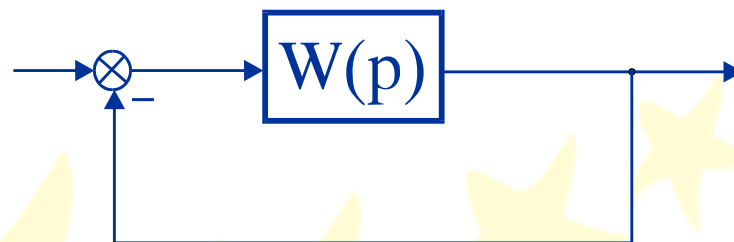
$$\begin{bmatrix} \frac{1}{56} (6e^{-\frac{1}{12}t} + e^{-\frac{3}{8}t}) & \frac{1}{14} (e^{-\frac{1}{12}t} - e^{-\frac{3}{8}t}) \\ \frac{1}{14} (e^{-\frac{1}{12}t} - e^{-\frac{3}{8}t}) & \frac{1}{21} (e^{-\frac{1}{12}t} + 6e^{-\frac{3}{8}t}) \end{bmatrix}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Честотни характеристики на отворени САУ



$$W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p)$$

$$W(j\omega) = \prod_{i=1}^n W_i(j\omega)$$

Извод: АФХ на системата е произведение от АФХ на нейните звена



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Честотни характеристики на отворени САУ

$$\begin{aligned}W(j\omega) &= A_1(\omega)e^{j\varphi_1(\omega)} A_2(\omega)e^{j\varphi_2(\omega)} \cdots A_n(\omega)e^{j\varphi_n(\omega)} = \\ &= A_1(\omega)A_2(\omega)\cdots A_n(\omega)e^{j[\varphi_1(\omega)+\varphi_2(\omega)+\cdots+\varphi_n(\omega)]}\end{aligned}$$

Извод: АЧХ на системата е произведение от АЧХ на нейните звена

Извод: ФЧХ на системата, както и логаритмичните характеристики, са сума от съответните характеристики на отделните звена



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Честотни характеристики на отворени САУ★

$$A(\omega) = \prod_{i=1}^n A_i(\omega)$$

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

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = \sum_{i=1}^n L_i(\omega)$$

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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*

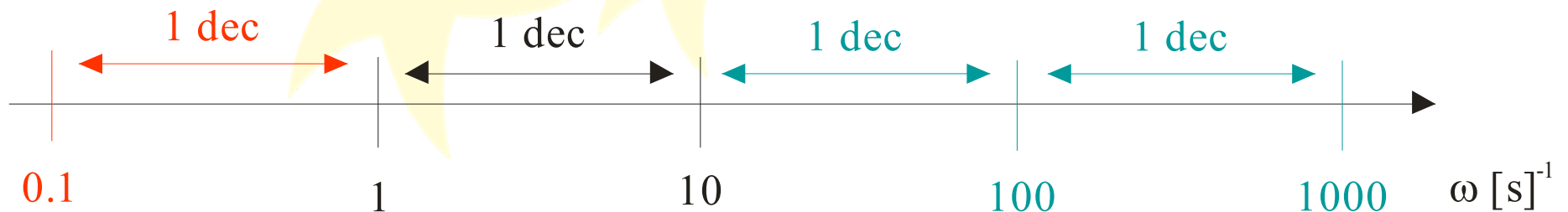
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Абсцисна ос

- **Декада** е всеки интервал, който съответства на **десетократно** изменение на честотата

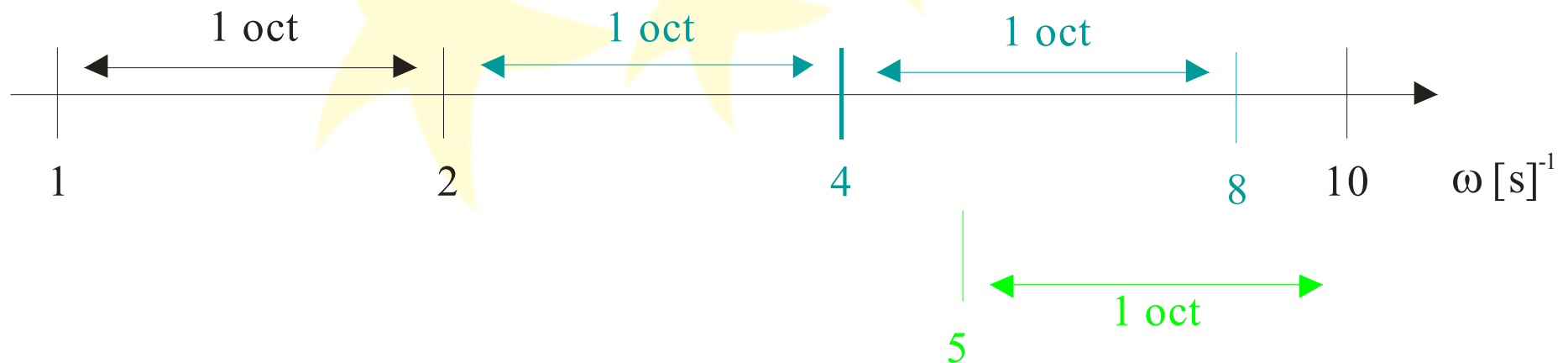


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Абсцисна ос

- **Октава** е всеки интервал, който съответства на **двукратно** изменение на честотата

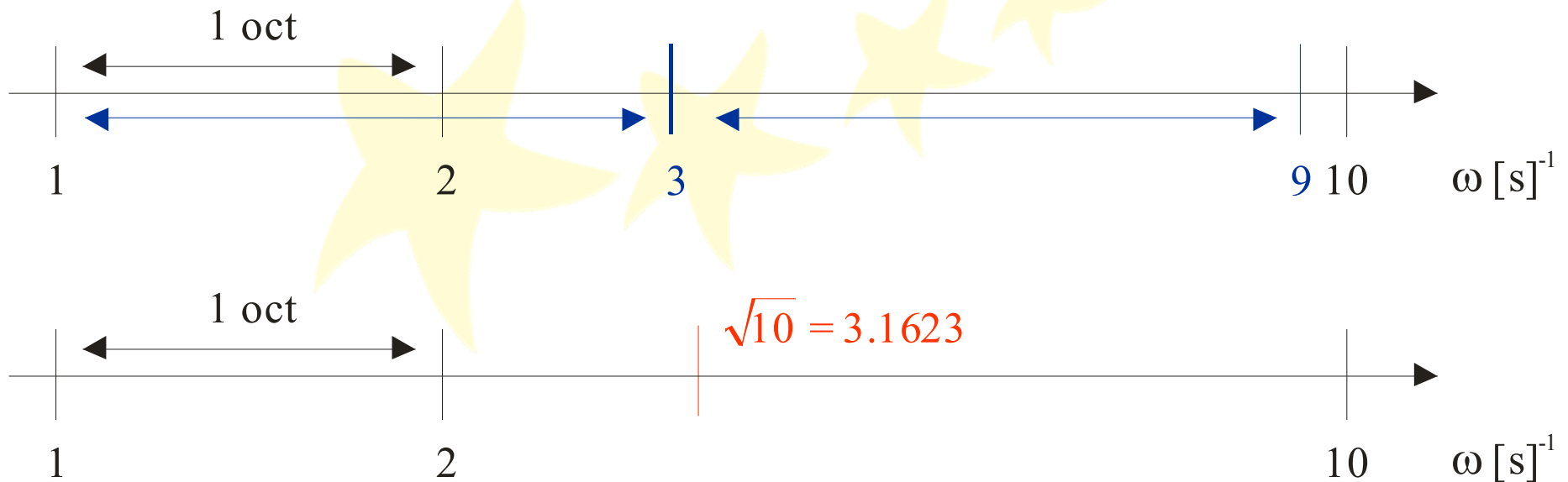


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Абсцисна ос

- Кратност и среда на декадата



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

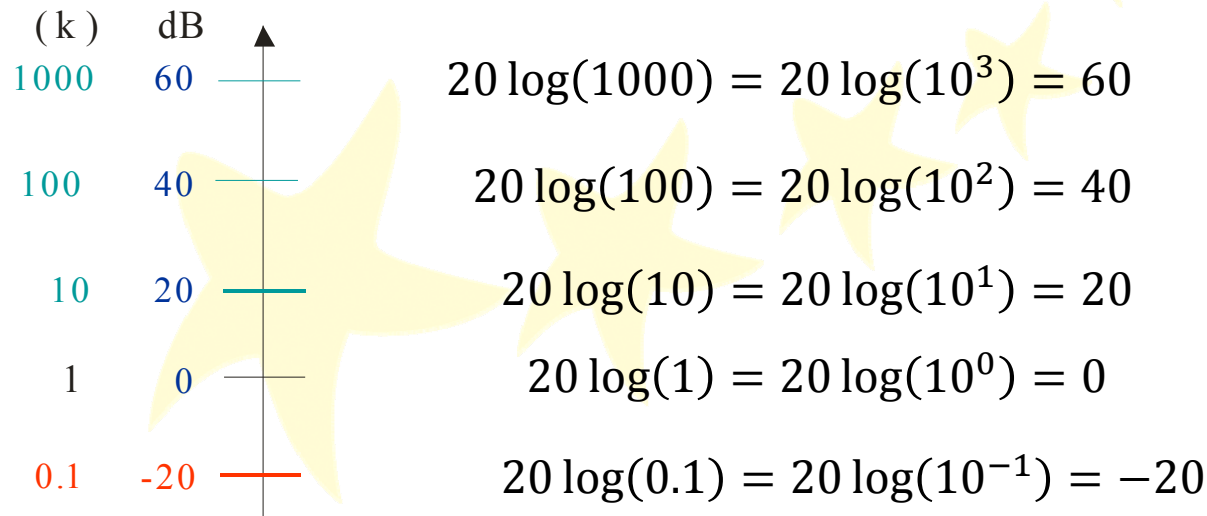
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Ординатна ос

10-кратна промяна на k - промяна на L с 20dB



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



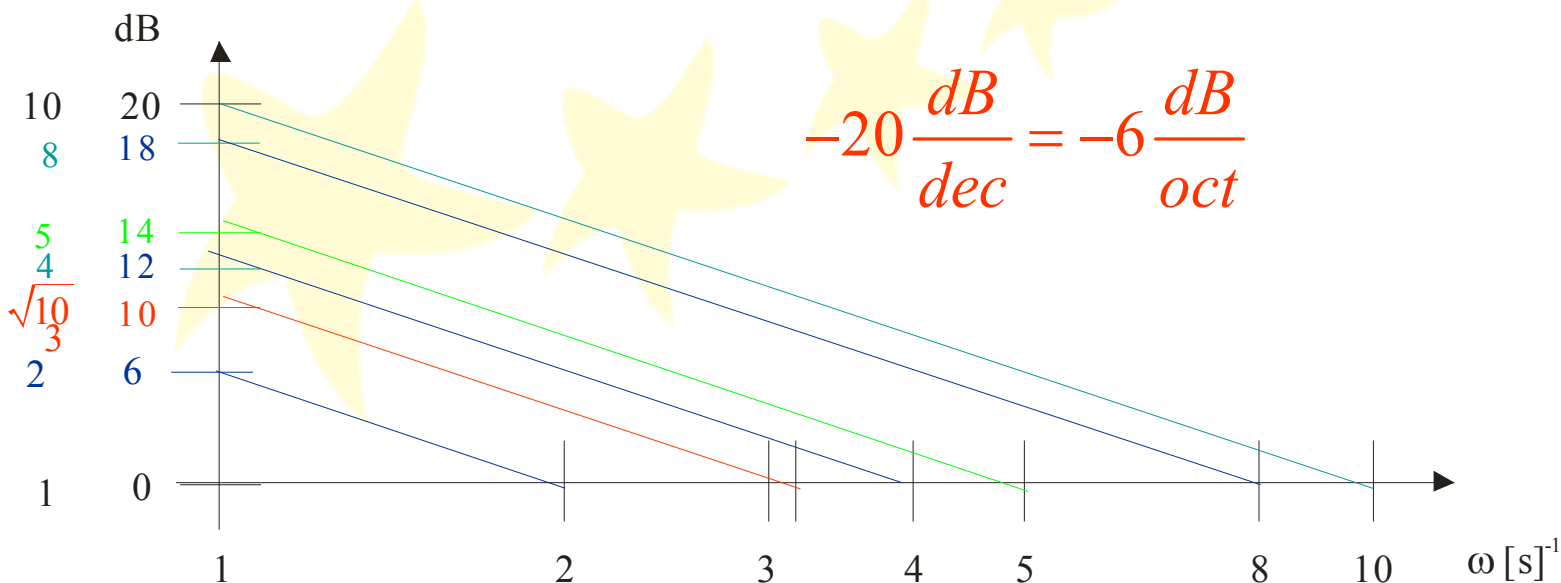
Ординатна ос

2-кратна промяна на k - промяна на L с **6dB**

$$20 \log(2) \approx 6 \text{ (6.02)}$$

$$20 \log(4) = 20 \log(2 * 2) = 20 \log(2) + 20 \log(2) = 12$$

$$20 \log(5) = 20 \log(10 / 2) = 20 \log(10) - 20 \log(2) = 20 - 6 = 14$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Алгоритъм за построяване на асимптотични ЛАЧХ

- Изчислява се $20\lg(k)$
- Строи се нискочестотната асимптота на ЛАЧХ:
права линия, преминаваща през точката $(\omega = 1, L = 20\lg(k))$
с наклон $-v20 \frac{dB}{dec}$, където v е разликата в броя на интегриращите и идеалните диференциращи звена;
- Изчисляват се спрягащите честоти $\omega_i = \frac{1}{T_i}$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

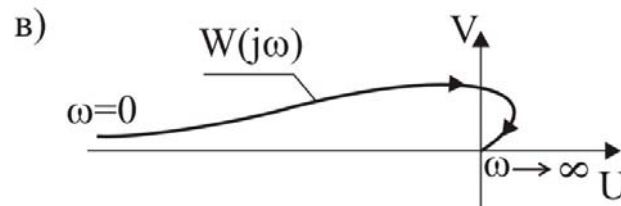
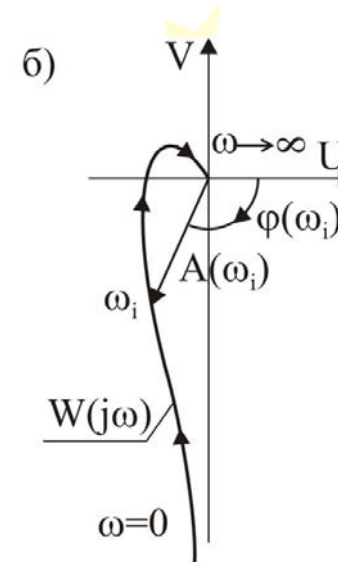
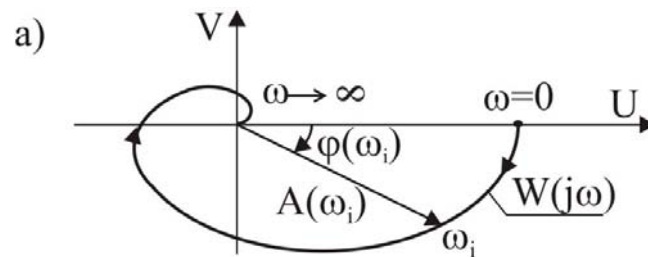
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Видове АФХ на отворени САУ



- а) без интегриращи звена;
- б) с едно интегриращо звено
- в) с 2 интегриращи звена



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Алгоритъм за построяване на асимптотични ЛАЧХ

- нискочестотната асимптота на ЛАЧХ се ограничава до първата (най-малката) спрягаща честота ω_1
- Продължава се ЛАЧХ до втората спрягаща честота като нейният наклон се променя с $-20, 20, -40$ или 40 dB/dec в зависимост от типа на звеното с ω_1
- (апериодично, форсиращо I-ред, колебателно, форсиращо II-ред)
- Правят се аналогични промени на ЛАЧХ докато не се отчетат всички останали звена на системата. Ако някоя спрягаща честота е кратна, т.е. има r еднотипни звена с еднакви времеконстанти, то изменението на наклона е r пъти по-голямо отколкото при обикновена спрягаща честота.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Пример 1

$$W(p) = \frac{1000}{(10p+1)(p+1)(0.01p^2 + 0.1p+1)}$$

1. Пропорционално $W_1(p) = k = 1000$

$$20 \lg 1000 = 60 [dB]$$

2. Апериодично

$$W_2(p) = \frac{1}{T_2 p + 1}$$

$$T_2 = 10s$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_2} = 0,1s^{-1}$$

3. Апериодично

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1}$$

$$T_3 = 1s$$

$$\omega_3 = \frac{1}{T_3} = 1s^{-1}$$

4. Колебателно $W_4(p) = \frac{1}{T_4^2 p^2 + 2\xi T_4 p + 1}$

$$T_4^2 = 0.01s \quad T_4 = 0.1s$$

$$\omega_4 = \frac{1}{T_4} = 10s^{-1} \quad \xi = 0.5$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 1 - ЛАЧХ

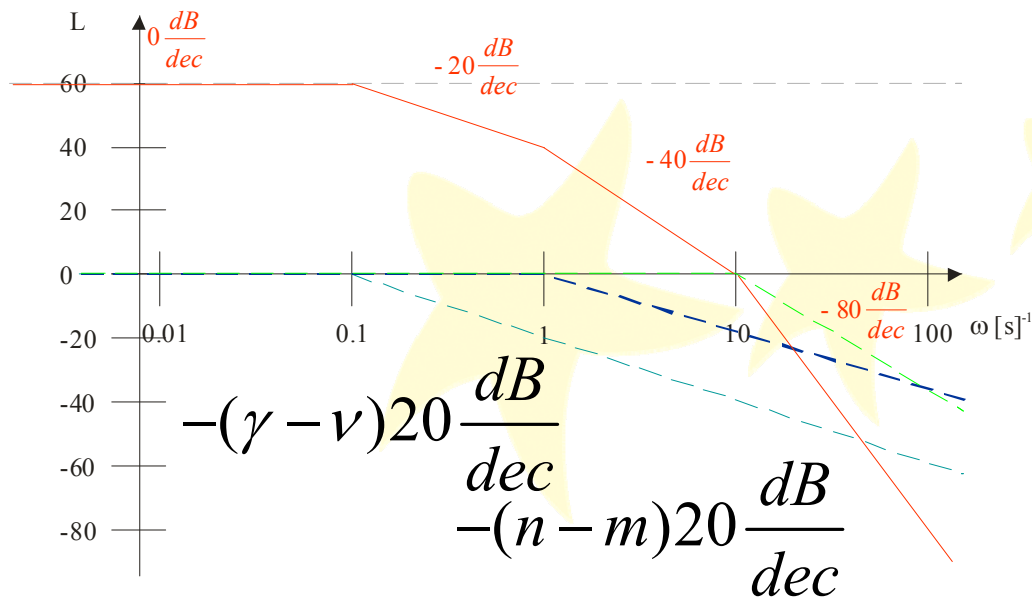
$$W(p) = \frac{1000}{(10p+1)(p+1)(0.01p^2 + 0.1p+1)}$$

$$W_1(p) = k = 1000$$

$$W_2(p) = \frac{1}{T_2 p + 1} \quad \omega_2 = 0,1 s^{-1}$$

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1} \quad \omega_3 = 1 s^{-1}$$

$$W_4(p) = \frac{1}{T_4^2 p^2 + 2\xi T_4 p + 1} \quad \omega_4 = 10 s^{-1}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 1 - ЛФЧХ

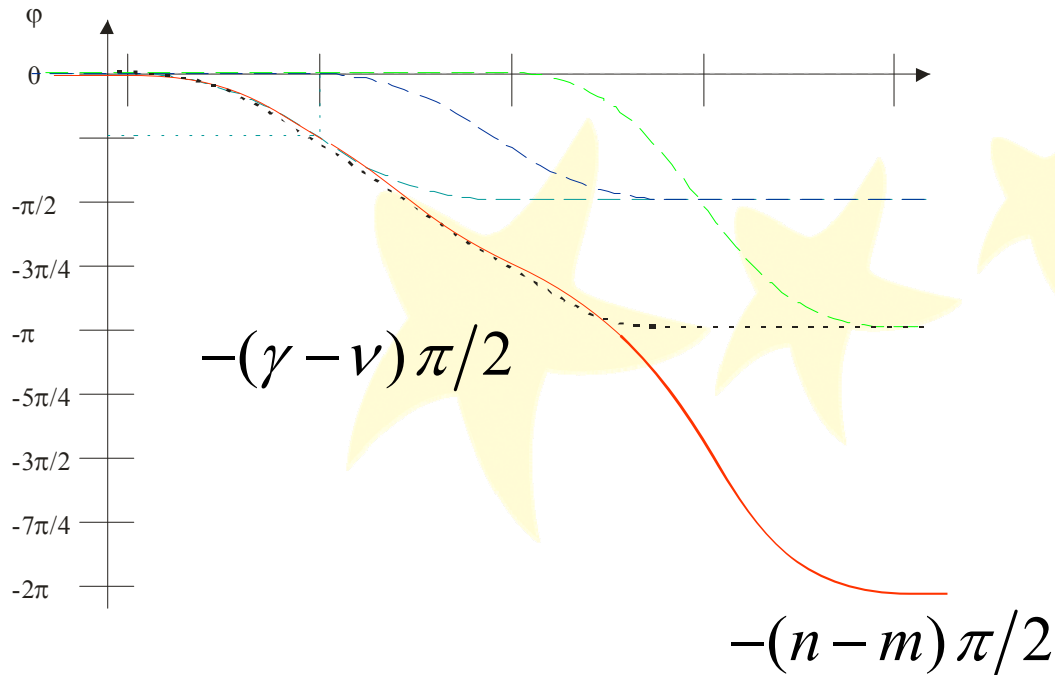
$$W(p) = \frac{1000}{(10p+1)(p+1)(0.01p^2 + 0.1p + 1)}$$

$$W_1(p) = k = 1000$$

$$W_2(p) = \frac{1}{T_2 p + 1} \quad \omega_2 = 0,1 s^{-1}$$

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1} \quad \omega_3 = 1 s^{-1}$$

$$W_4(p) = \frac{1}{T_4^2 p^2 + 2\xi T_4 p + 1} \quad \omega_4 = 10 s^{-1}$$



Европейски съюз

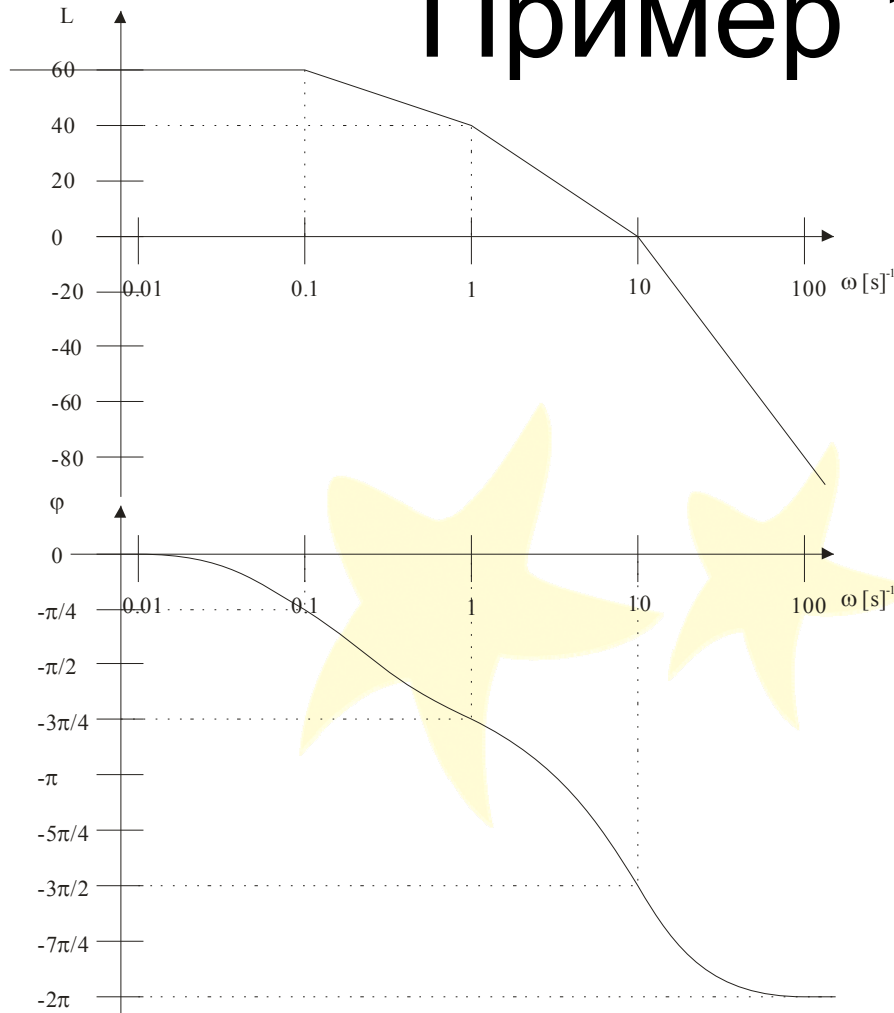
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

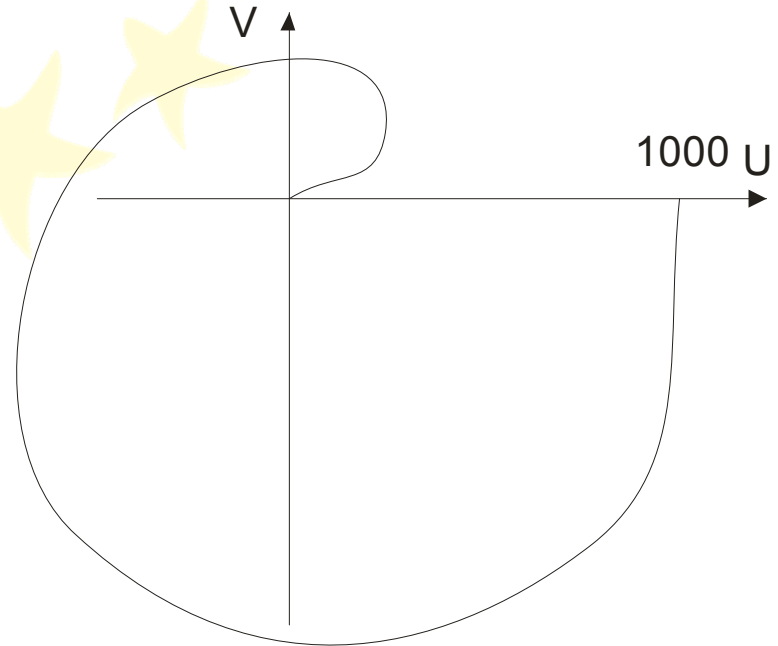
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 1 - АФХ



$$W(p) = \frac{1000}{(10p+1)(p+1)(0.01p^2+0.1p+1)}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 2

$$W(p) = \frac{1000(0.333p + 1)}{p(10p + 1)(0.0001p^2 + 0.01p + 1)}$$

1. Пропорционално $W_1(p) = k = 1000$ $20\lg 1000 = 60[dB]$
2. Интегриращо $W_2(p) = \frac{1}{p}$ $\omega_2 = 1[s^{-1}]$
 $T_3 = 10s$
3. Апериодично $W_3(p) = \frac{1}{T_3p + 1}$ $\omega_3 = \frac{1}{T_3} = 0.1 s^{-1}$
4. Идеално форсиращо $W_4(p) = T_4p + 1$ $T_4 = 0.333s$
 $\omega_4 = \frac{1}{T_4} = 3s^{-1}$
5. Колебателно $W_5(p) = \frac{1}{T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1}$ $T_5 = 0.01s$
 $\omega_5 = \frac{1}{T_5} = 100s^{-1}$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример2 - ЛАЧХ

$$W(p) = \frac{1000(0.333p+1)}{p(10p+1)(0.0001p^2+0.01p+1)}$$

$$W_1(p) = k = 1000$$

$$20 \lg 1000 = 60 [dB]$$

$$W_2(p) = \frac{1}{p}$$

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3p+1}$$

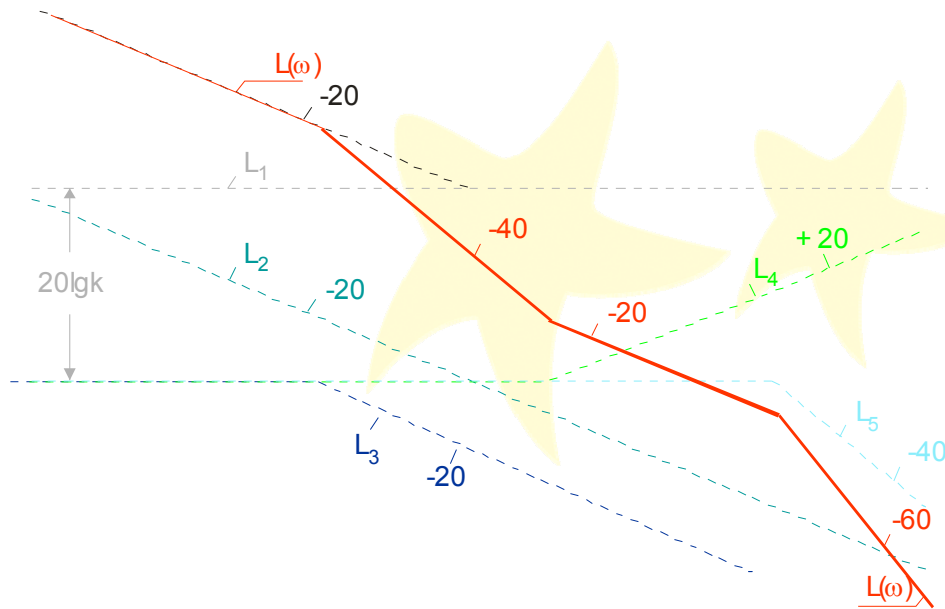
$$\omega_3 = 0.1 s^{-1}$$

$$W_4(p) = T_4p+1$$

$$\omega_4 = 3 s^{-1}$$

$$W_5(p) = \frac{1}{T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1}$$

$$\omega_5 = 100 s^{-1}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

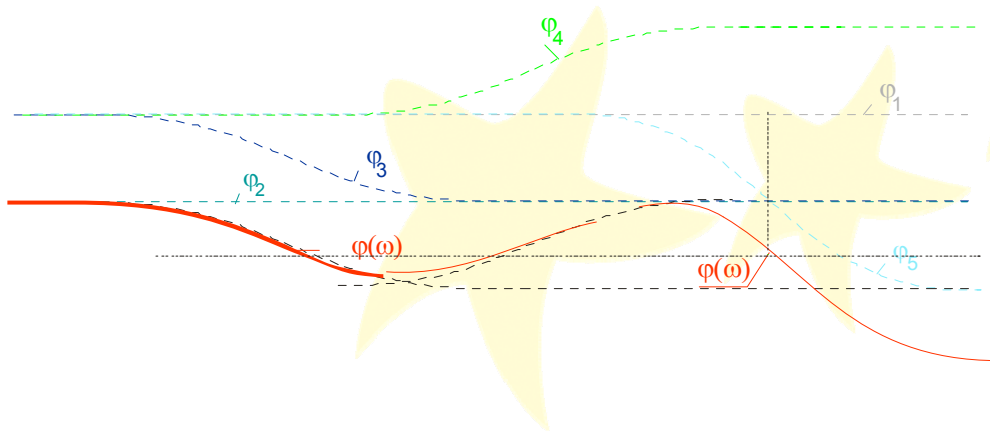
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример2 - ЛФЧХ

$$W(p) = \frac{1000(0.333p+1)}{p(10p+1)(0.0001p^2+0.01p+1)}$$



$$W_1(p) = k = 1000$$

$$20 \lg 1000 = 60 [dB]$$

$$W_2(p) = \frac{1}{p}$$

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3p+1}$$

$$\omega_3 = 0.1 s^{-1}$$

$$W_4(p) = T_4p+1$$

$$\omega_4 = 3 s^{-1}$$

$$W_5(p) = \frac{1}{T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1}$$

$$\omega_5 = 100 s^{-1}$$



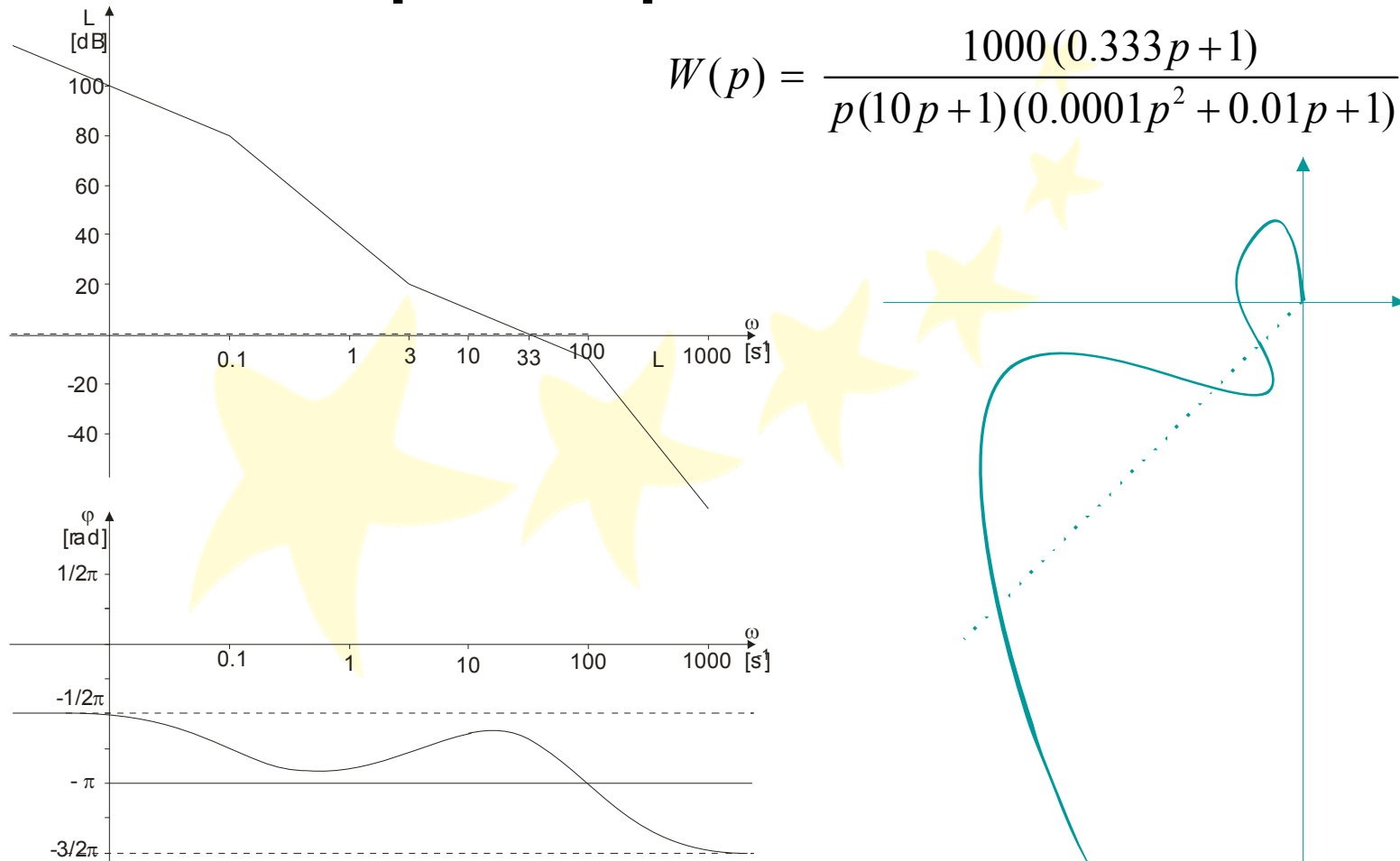
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример2 - АФХ

$$W(p) = \frac{1000(0.333p + 1)}{p(10p + 1)(0.0001p^2 + 0.01p + 1)}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 3

$$W(p) = \frac{200(0.1p+1)}{p(2p+1)(0.01p+1)^2}$$

1. Пропорционално $W_1(p) = k = 200$ $20 \lg 200 = 46 [dB]$

2. Интегриращо $W_2(p) = \frac{1}{p}$ $\omega_2 = 1 [s^{-1}]$

3. Апериодично $W_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1}$ $T_3 = 2s$
 $\omega_3 = \frac{1}{T_3} = 0.5 s^{-1}$

4. Идеално форсиращо $W_4(p) = T_4 p + 1$ $T_4 = 0.1s$
 $\omega_4 = \frac{1}{T_4} = 10 s^{-1}$

5. Апериодично $W_5(p) = \frac{1}{T_5 p + 1}$ $T_5 = 0.01s$
 $\omega_5 = \frac{1}{T_5} = 100 s^{-1}$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 3 - ЛАЧХ

$$W(p) = \frac{200(0.1p+1)}{p(2p+1)(0.01p+1)^2}$$

$$W_1(p) = k = 200$$

$$W_2(p) = \frac{1}{p}$$

$$\omega_2 = 1 [s^{-1}]$$

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3p+1}$$

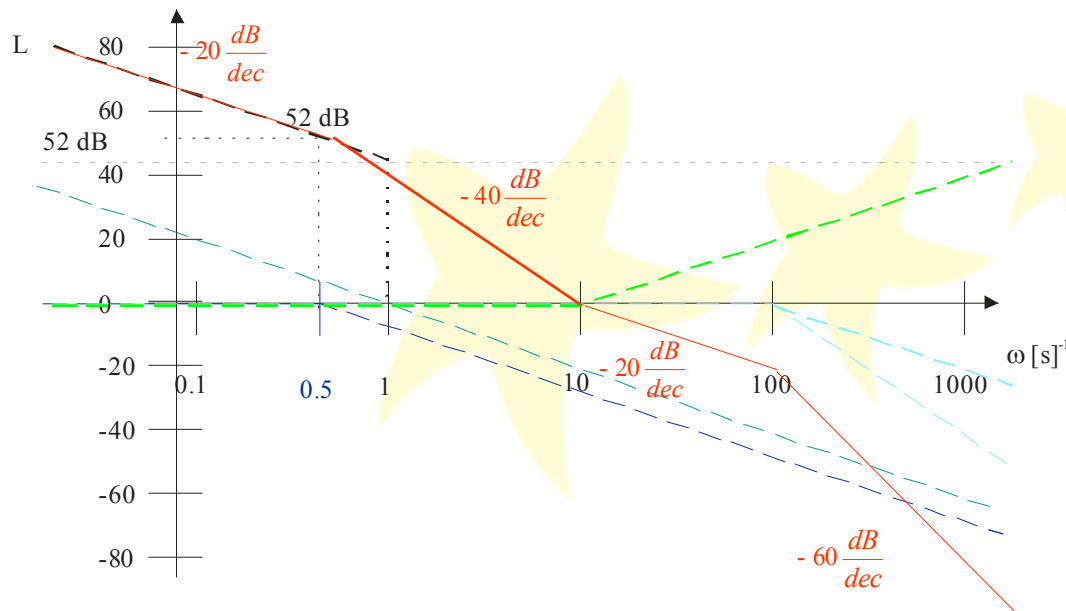
$$\omega_3 = 0.5 s^{-1}$$

$$W_4(p) = T_4p+1$$

$$\omega_4 = 10 s^{-1}$$

$$W_5(p) = \frac{1}{T_5p+1}$$

$$\omega_5 = 100 s^{-1}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

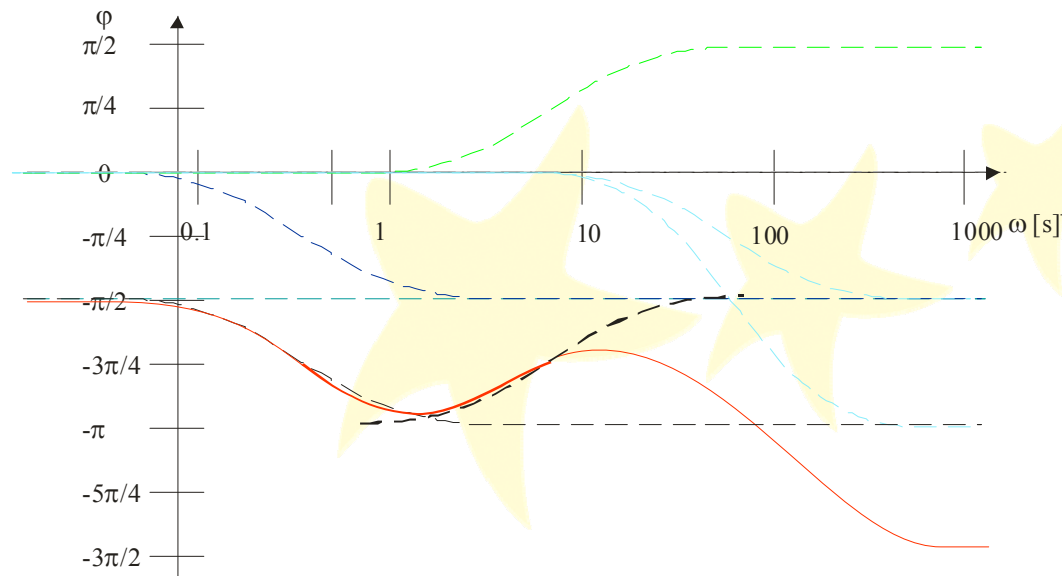
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Пример 3 - ЛФЧХ

$$W(p) = \frac{200(0.1p+1)}{p(2p+1)(0.01p+1)^2}$$



$$W_1(p) = k = 200$$

$$W_2(p) = \frac{1}{p}$$

$$\omega_2 = 1 [s^{-1}]$$

$$W_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1}$$

$$\omega_3 = 0.5 s^{-1}$$

$$W_4(p) = T_4 p + 1$$

$$\omega_4 = 10 s^{-1}$$

$$W_5(p) = \frac{1}{T_5 p + 1}$$

$$\omega_5 = 100 s^{-1}$$



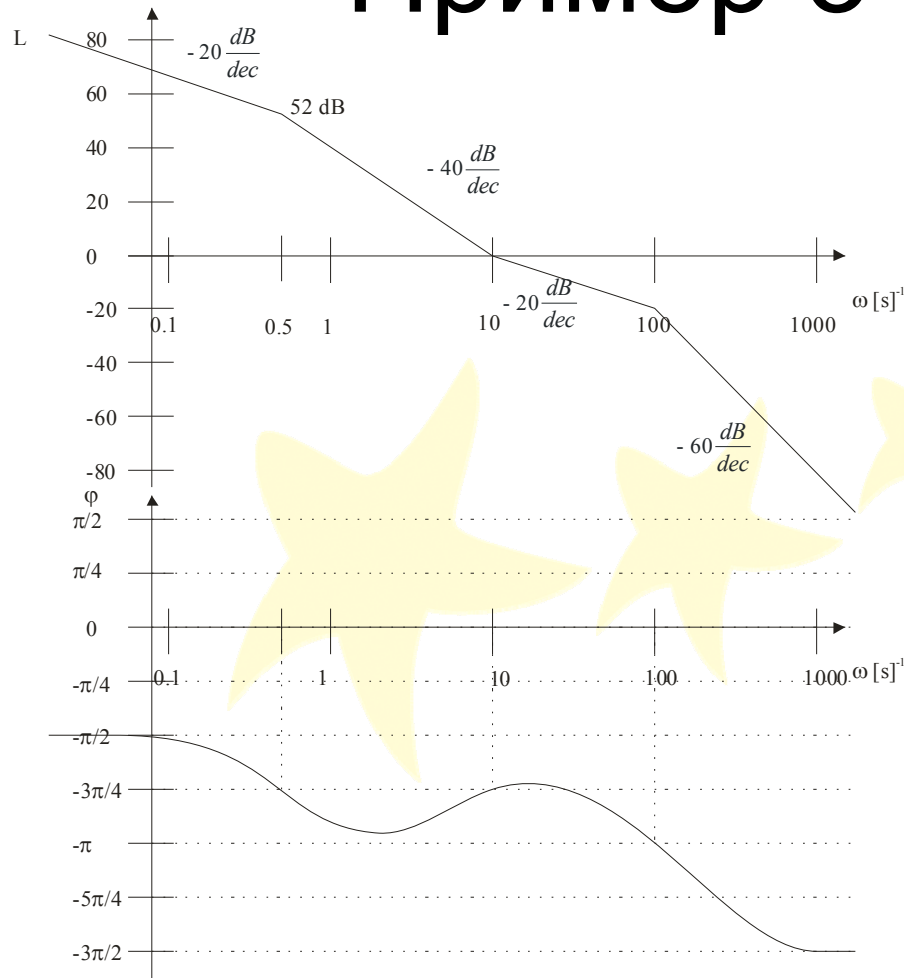
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

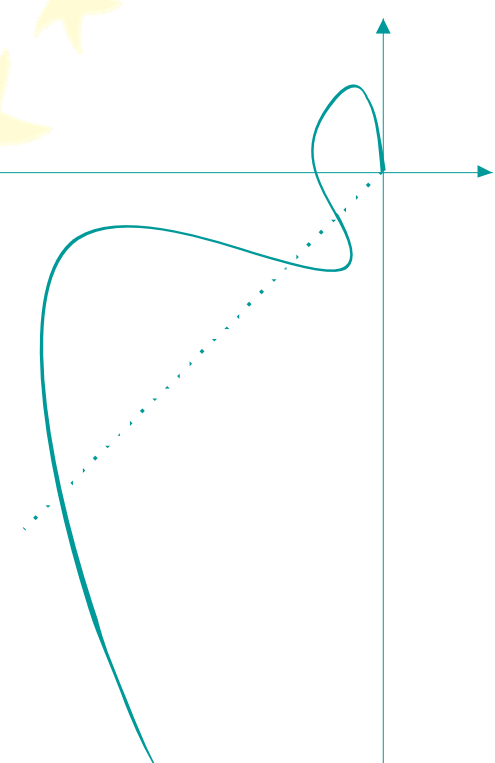
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 3 - АФХ



$$W(p) = \frac{200(0.1p+1)}{p(2p+1)(0.01p+1)^2}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 4

$$W(p) = \frac{200(p^2 + p + 1)}{p^2(10p + 1)}$$

1. Пропорционално

$$W_1(p) = k = 200$$

$$20 \lg 200 = 46 [dB]$$

2. Интегриращо

$$W_2(p) = W_3(p) = \frac{1}{p}$$

$$\omega_2 = \omega_3 = 1 [s^{-1}]$$

3. Апериодично

$$W_4(p) = \frac{1}{T_4 p + 1}$$

$$T_4 = 10s$$

$$\omega_4 = \frac{1}{T_4} = 0.1s^{-1}$$

4. Идеално форсиращо от II-ри ред

$$W_5(p) = T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1 \quad T_5^2 = 1s \rightarrow T_5 = 1s$$

$$\omega_5 = \frac{1}{T_5} = 1s^{-1}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 4 - ЛАЧХ

$$W(p) = \frac{200(p^2 + p + 1)}{p^2(10p + 1)}$$

$$W_1(p) = k = 200$$

$$W_2(p) = W_3(p) = \frac{1}{p}$$

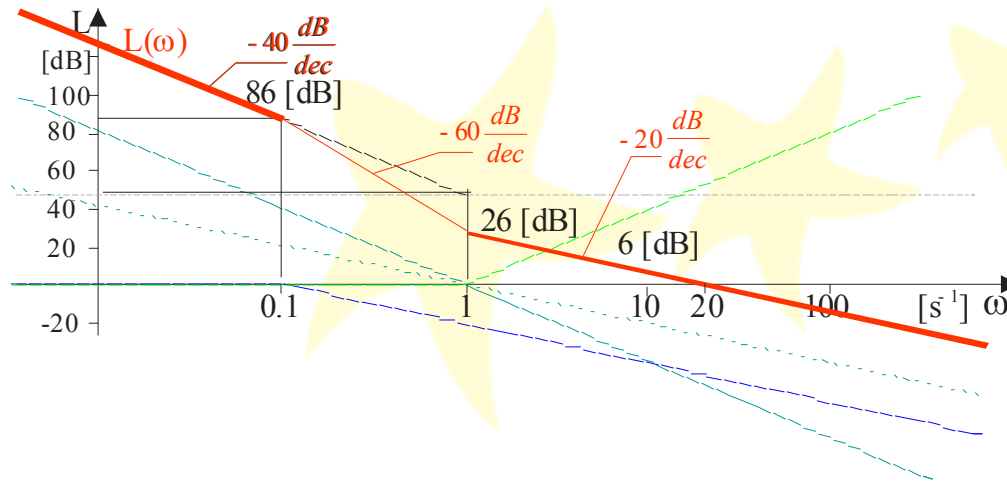
$$\omega_2 = \omega_3 = 1 [s^{-1}]$$

$$W_4(p) = \frac{1}{T_4 p + 1}$$

$$\omega_4 = 0.1 s^{-1}$$

$$W_5(p) = T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1$$

$$\omega_5 = 1 s^{-1}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 4 -ЛФЧХ

$$W(p) = \frac{200(p^2 + p + 1)}{p^2(10p + 1)}$$

$$W_1(p) = k = 200$$

$$W_2(p) = W_3(p) = \frac{1}{p}$$

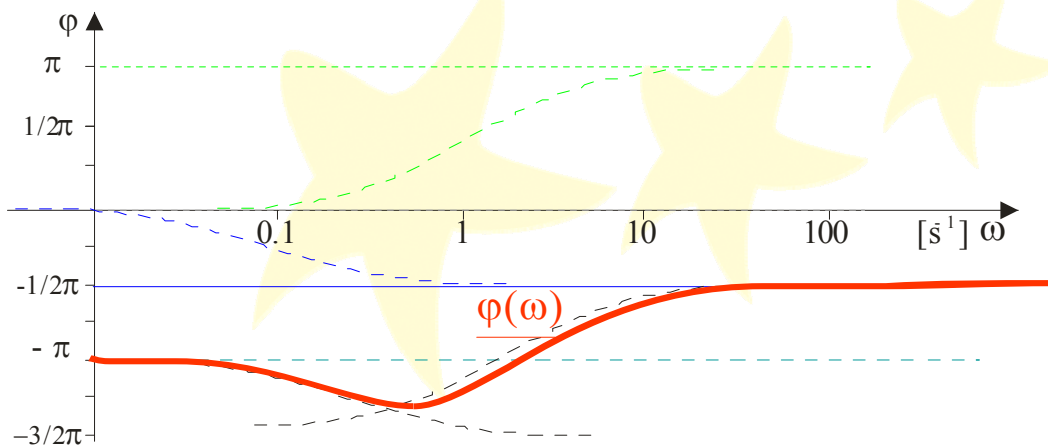
$$\omega_2 = \omega_3 = 1 [s^{-1}]$$

$$W_4(p) = \frac{1}{T_4 p + 1}$$

$$\omega_4 = 0.1 s^{-1}$$

$$W_5(p) = T_5^2 p^2 + 2\xi T_5 p + 1$$

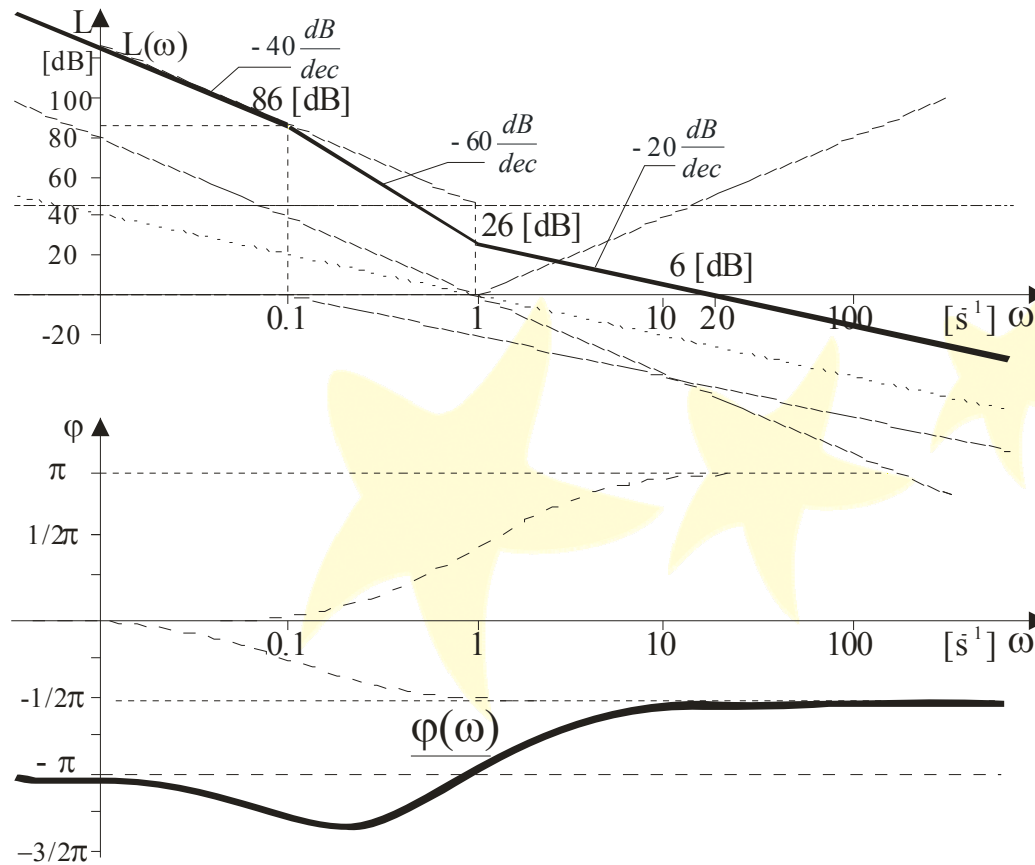
$$\omega_5 = 1 s^{-1}$$



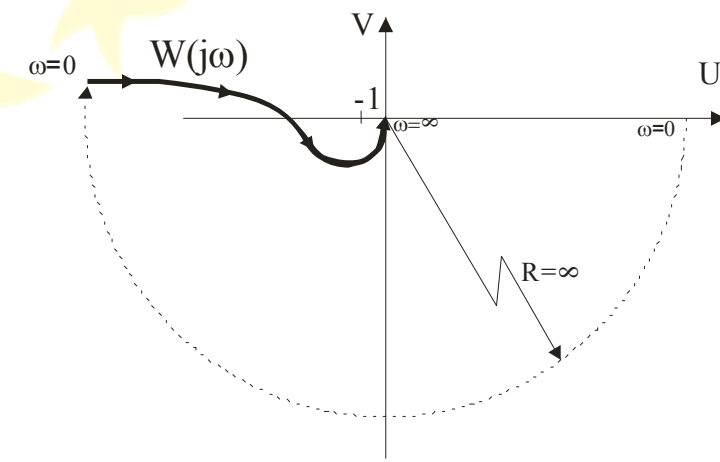
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Пример 4 - АФХ



$$W(p) = \frac{200(p^2 + p + 1)}{p^2(10p + 1)}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

