

Теория на електронните схеми

Синтез на активни филтри: Предавателни функции – видове, условия за реализуемост, нормиране

Доц. д-р инж. Тодор Тодоров



Катедра Електронна техника, ФЕТТ



Технически университет – София



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

Съдържание

- Предавателни функции
- Реализуемост
- Нормиране и денормиране



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

Ключови думи:

- АЧХ, ФЧХ
- Полюси, Нули, Качествен фактор, Честота
- НЧ, ВЧ, Лентова и Заграждаща функция
- Полономна и дробно-рационална функция
- Условия за физическа реализуемост
- Минимално-фазови функции
- Неминимално-фазови функции
- Всепропускащи функции
- Нормиране по съпротивление
- Нормиране по честота
- Нормиране на АЧХ



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!



Образователни цели:

След изучаването на този раздел вие ще трябва да можете:

- Да дефинирате преподавателните функции
- Да идентифицирате параметрите на преподавателните функции
- Да дефинирате видовете АЧХ
- Да познавате и използвате аналитичните изрази за елементарните преподавателни функции
- Да обяснявате свойството на квадрата на модула на преподавателните функции
- Да дефинирате условията за устойчивост
- Да дефинирате минимално-фазови, неминимално-фазови и все-пропускащи функции



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!



- **Отношението на преобразуваните по Лаплас реакция и въздействие на схемата при нулеви начални условия се нарича операторна предавателна функция**

$$T(p) = \frac{A(p)}{B(p)} = \frac{a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_1 p^1 + a_0}{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p^1 + b_0}$$

$$p = \sigma + j\omega$$



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!



$$T(p) = \frac{A(p)}{B(p)} = \frac{a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_1 p^1 + a_0}{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p^1 + b_0}$$

- Коефициентите a_j , b_k представляват **символни групи**, съставени от параметрите на схемните елементи (съпротивления, капацитети и проводимости), а в числен вид - реални числа, например:

$$T(p) = K_U = \frac{R_1 R_3 C_2 C_5}{p^2 + p \frac{1}{C_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) + \frac{1}{R_3 R_4 C_2 C_5}}$$

$$T(p) = \frac{-3.124E6}{p^2 + 1.793E3.p + 3.504E6}$$



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!

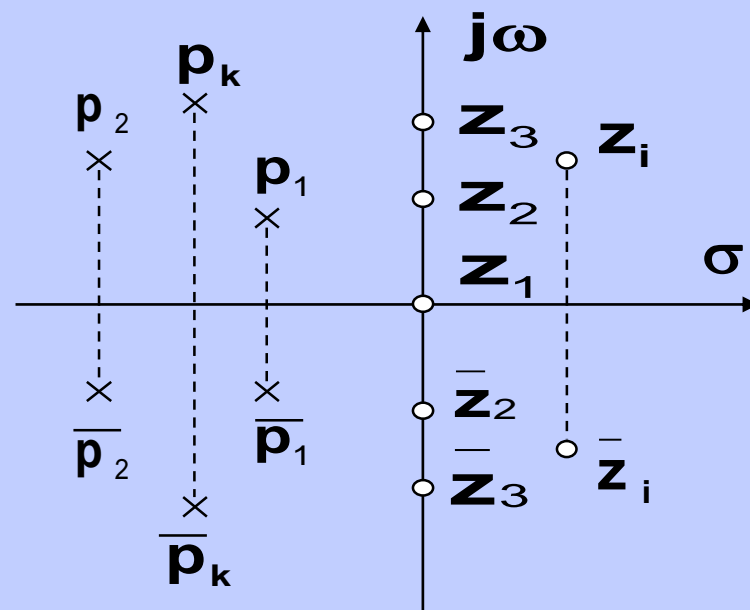


Европейски социален фонд

Предавателни функции- разлагане на прости множители

$$T(p) = H \frac{(p - z_m)(p - z_{m-1}) \dots (p - z_1)}{(p - p_n)(p - p_{n-1}) \dots (p - p_1)} = H \frac{\prod_1^m (p - z_i)}{\prod_1^n (p - p_k)}$$

- Корените на полинома в числителя се наричат **нули** на предавателната функция z_i
- Корените на полинома в знаменателя - **полюси** p_k



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001

„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!



Предавателни функции-параметри

$$T(p) = H \frac{(p - z_m)(p - z_{m-1}) \dots (p - z_1)}{(p - p_n)(p - p_{n-1}) \dots (p - p_1)} = H \frac{\prod_1^m (p - z_i)}{\prod_1^n (p - p_k)}$$

Полюси

$$p_k = -\sigma_{p_k}$$

$$p_k, \overline{p_k} = -\sigma_{p_k} \pm j\omega_{p_k}$$

Нули

$$z_i = \pm\sigma_{z_i}$$

$$z_i, \overline{z_i} = \pm\sigma_{z_i} \pm j\omega_{z_i}$$

Качествен фактор

$$Q_{p_k} = \frac{\omega_{p_k}}{2\sigma_{p_k}}, \omega_p^2 = \sigma_{p_k}^2 + \omega_{p_k}^2$$

$$Q_{z_i} = \frac{\omega_{z_i}}{2\sigma_{z_i}}, \omega_z^2 = \sigma_{z_i}^2 + \omega_{z_i}^2$$



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

Предавателни функции-разлагане на елементарни предавателни функции

$$T(p) = H \frac{p^j (p + a) \prod_{i=1}^{(m-j-1)/2} (p^2 + a_{1i}p + a_{0i})}{(p + b) \prod_{k=1}^{(n-1)/2} (p^2 + b_{1k}p + b_{0k})}$$



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!



Предавателни функции в установен режим ($p = j\omega$)

$$T(j\omega) = \frac{a_m(j\omega)^m + a_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \dots + a_1(j\omega) + a_0}{b_n(j\omega)^n + b_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + b_1(j\omega) + b_0}$$

$$T(j\omega) = H \frac{(j\omega - z_m)(j\omega - z_{m-1}) \dots (j\omega - z_1)}{(j\omega - p_n)(j\omega - p_{n-1}) \dots (j\omega - p_1)} = H \frac{\prod_{(i)} (j\omega - z_i)}{\prod_{(k)} (j\omega - p_k)}$$



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

Предавателни функции – АЧХ, ФЧХ

$$j\omega - z_i = |j\omega - z_i| e^{j\varphi_{z_i}}$$

$$j\omega - p_k = |j\omega - p_k| e^{j\varphi_{p_k}}$$

$$T(j\omega) = H \frac{\prod_{(i)} |j\omega - z_i|}{\prod_{(k)} |j\omega - p_k|} e^{j\left(\sum_1^m \varphi_{z_i} - \sum_1^n \varphi_{p_k}\right)} = T(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$$

АЧХ

$$T(\omega) = H \frac{\prod_{(i)} |j\omega - z_i|}{\prod_{(k)} |j\omega - p_k|}$$

ФЧХ

$$\varphi(\omega) = \sum_1^m \varphi_{z_i} - \sum_1^n \varphi_{p_k}$$



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

Логаритмични предавателни функции

АЧХ (пъти)

$$T(\omega) = H \frac{\prod_{(i)} |j\omega - z_i|}{\prod_{(k)} |j\omega - p_k|}$$

АЧХ(непери Nr)

$$\ln T(\omega)_{Nr} = \ln H + \sum_{i=1}^m \ln |j\omega - z_i| - \sum_{k=1}^n \ln |j\omega - p_k|$$

АЧХ(децибели dB)

$$20 \lg T(\omega)_{dB} = 20 \lg H + 20 \sum_{i=1}^m \lg |j\omega - z_i| - 20 \sum_{k=1}^n \lg |j\omega - p_k|$$

$$T(\omega)_{dB} = 8.686 T(\omega)_{Nr}$$

Европейски съюз

ИРО001--4.3.04-0042
"Национална инфраструктура за учене през
итие 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!



Логаритмични функции - Пример

$$20 \lg T(\omega)_{dB} = 20 \lg H + 20 \sum_{i=1}^m \lg |j\omega - z_i| - 20 \sum_{k=1}^n \lg |j\omega - p_k|$$

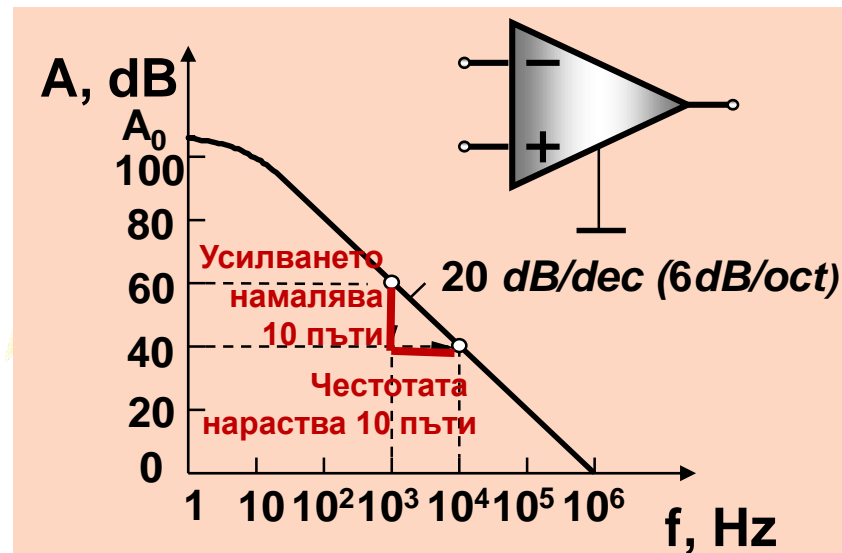
АЧХ (децибели dB)

$$A_0 = 1 \cdot 10^5$$

$$A_{0dB} = 20 \cdot \lg 10^5 = 100 \text{ dB}$$

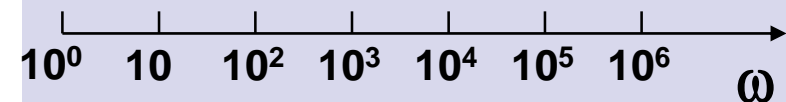
$$A(1 \text{ MHz}) = 1$$

$$A_{dB} = 20 \cdot \lg 1 = 0 \text{ dB}$$

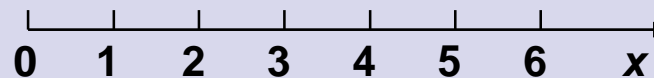


Мащаб:

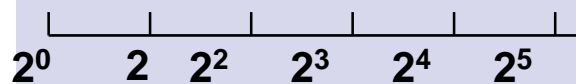
декада



линеен



октава



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!



Видове АЧХ според честотата на сигналите, които преминават

- Аналоговите и цифровите филтри имат 4 вида АЧХ:
 - Нискочестотна
 - Високочестотна
 - Лентова
 - Заграждаща
- За всяка АЧХ съществуват три характерни области:
 - лента на пропускане
 - преходна област
 - лента на задържане



Европейски съюз

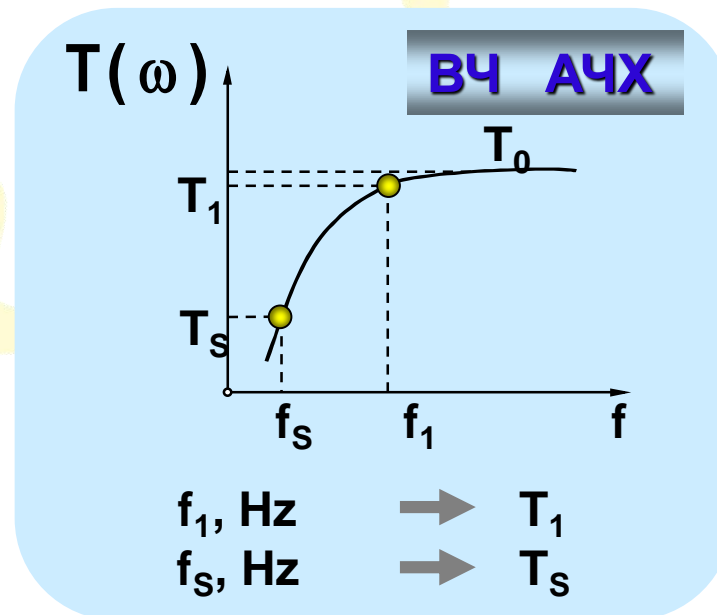
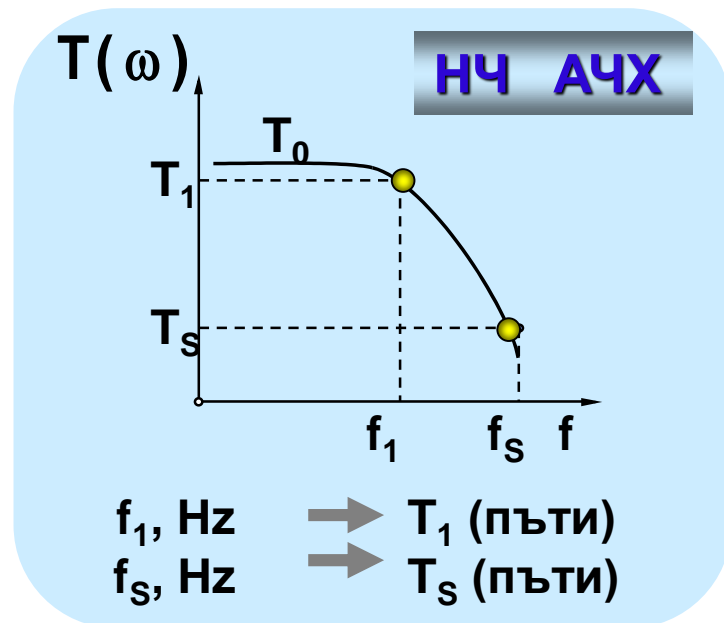
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



Видове АЧХ според честотата на сигналите, които преминават



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

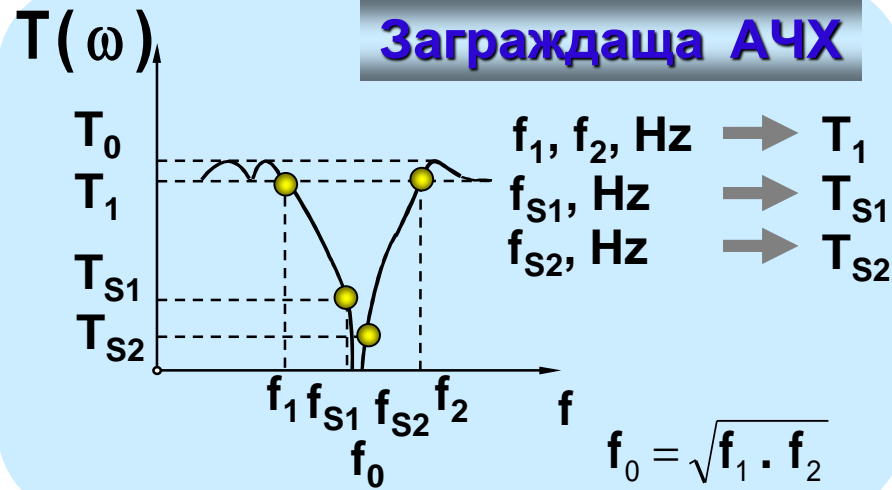
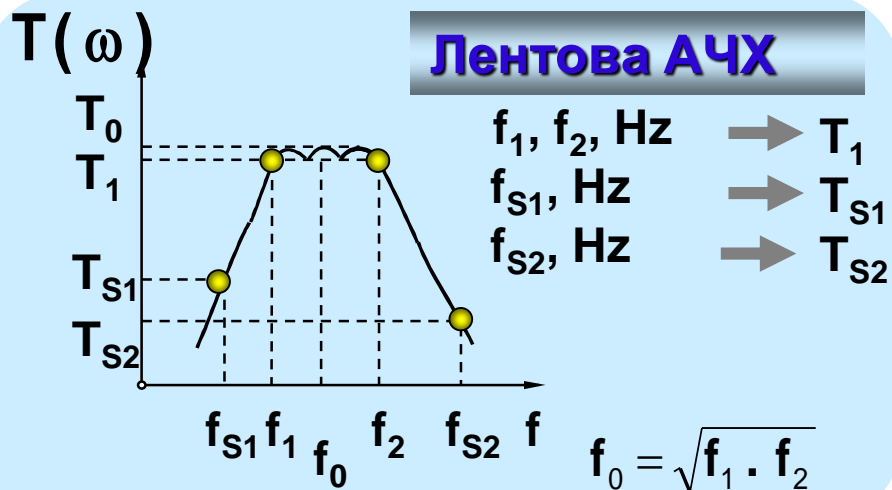
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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 АЧХ според честотата на сигналите, които преминават



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 АЧХ според типа нули на предавателните характеристики

- **Полиномните** характеристики имат нули, разположени в началото на координатната система или в безкрайността
- **Дробно – рационалните** характеристики - нули за крайни (реални) честоти.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

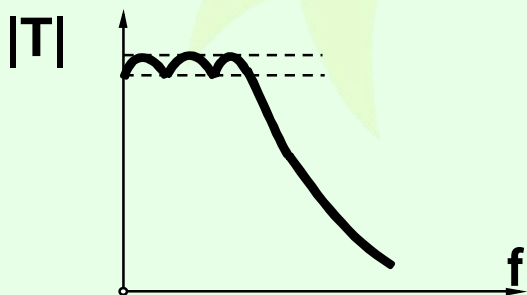
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



НЧФ

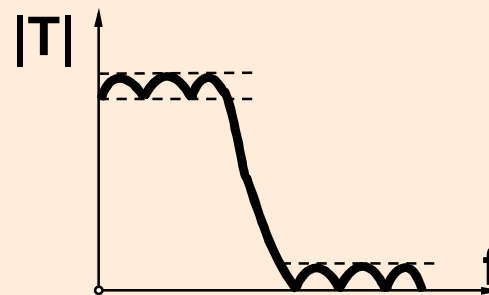
Полиномни

$$T(p) = \frac{H}{\sum_{i=1}^n b_i p^i}$$



Дробни

$$T(p) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i p^i}{\sum_{i=1}^n b_i p^i}$$



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!

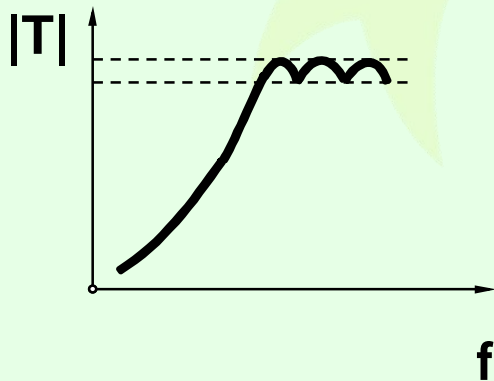


Европейски социален фонд

ВЧФ

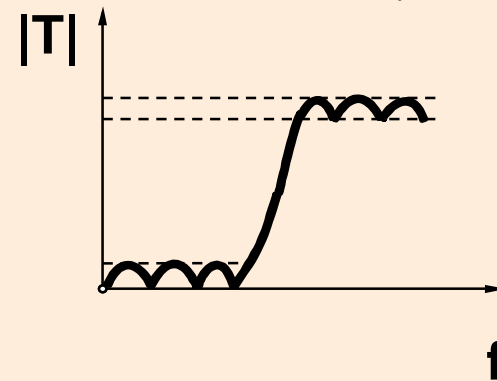
Полиномни

$$T(p) = \frac{Hp^n}{\sum_{i=1}^n b_i p^i}$$



Дробни

$$T(p) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i p^i}{\sum_{i=1}^n b_i p^i}$$



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!

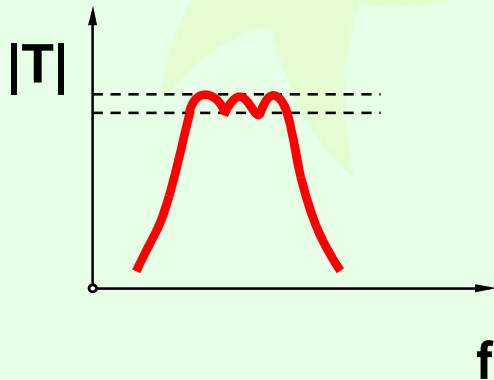


Европейски социален фонд

ЛФ

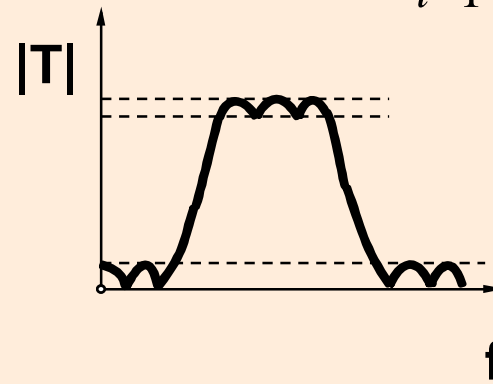
Полиномни

$$T(p) = \frac{Hp^{n/2}}{\sum_{i=1}^n b_i p^i}$$



Дробни

$$T(p) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i p^i}{\sum_{i=1}^n b_i p^i}$$



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

Елементарни предавателни функции от втори ред

Полиномни

НЧФ $T(p) = \frac{H}{p^2 + b_1p + b_0}$

вчФ $T(p) = \frac{Ha_2p^2}{p^2 + b_1p + b_0}$

лФ $T(p) = \frac{Ha_1p}{p^2 + b_1p + b_0}$

Дробни

зФ $T(p) = H \frac{a_2p^2 + a_0}{p^2 + b_1p + b_0}$

$$T(p) = H \frac{a_2p^2 + a_1p + a_0}{p^2 + b_1p + b_0}$$

Биквадратна функция



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

Свойство на квадрата на модула на операторната предавателна функция

$$|T(j\omega)|^2 = T(p)T(-p)\Big|_{p=j\omega} = \frac{A(p)A(-p)}{B(p)B(-p)}$$

- Тази зависимост има принципно значение за апроксимацията като етап на синтеза. Тя свързва намиращия се отляво квадрат на модула на предавателната функция (квадрат на амплитудно честотната характеристика, която е известна в техническото задание) с търсената предавателна функция $T(p)$, която участва в производението отдясно заедно със спрегнатия образ $T(-p)$.
- При апроксимацията се определя физически реализуема математическа функция, която с достатъчна точност удовлетворява изискванията към АЧХ. При това се формулират критерии за разделянето на търсената предавателна функция $T(p)$ от спрегнатия и образ $T(-p)$.



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

Свойство на квадрата на модула на операторната предавателна функция

$$|T(j\omega)|^2 = T(p)T(-p)\Big|_{p=j\omega} = \frac{A(p)A(-p)}{B(p)B(-p)}$$

$$|T(j\omega)|^2 = T(p)T(-p)\Big|_{p=j\omega} = H \frac{\prod_{i=1}^m (p - z_i)}{\prod_{k=1}^n (p - p_k)} \cdot H \frac{\prod_{i=1}^m (-p - z_i)}{\prod_{k=1}^n (-p - p_k)}$$

$$(p - z_i)(-p - z_i) = z_i^2 - p^2 = z_i^2 + \omega^2 ; \cdot$$

$$(p - p_k)(-p - p_k) = p_k^2 - p^2 = p_k^2 + \omega^2$$

$$|T(j\omega)|^2 = H^2 \frac{(\omega^2 + z_m^2) \dots (\omega^2 + z_i^2) \dots (\omega^2 + z_1^2)}{(\omega^2 + p_n^2) \dots (\omega^2 + p_k^2) \dots (\omega^2 + p_1^2)}$$

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!



Европейски съюз



Европейски социален фонд

Свойство на квадрата на модула на операторната предавателна функция

$$|T(j\omega)|^2 = H^2 \frac{(\omega^2 + z_m^2) \dots (\omega^2 + z_i^2) \dots (\omega^2 + z_1^2)}{(\omega^2 + p_n^2) \dots (\omega^2 + p_k^2) \dots (\omega^2 + p_1^2)}$$

Числителят и знаменателят на квадрата на модула на предавателната характеристика, която се търси в етапа апроксимация, са функции на квадрата на честотата, имат реални коефициенти и значението им за всяка реална честота е по - голямо или равно на нула.



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

Реализуемост на схемните функции

- Към проблема **реализуемост** се отнасят въпросите, свързани с намирането и формализирането на условията, които трябва да удовлетворява намерената в етапа апроксимация дробно-рационална функция на комплексната променлива p , за да може по нея да се реализира електронна схема
- Различават се условия за **физическа** реализуемост и условия за **схемна** реализуемост



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!



Реализуемост на схемните функции

- Условието за физическа реализуемост изискват математическата функция $T(p)$ да удовлетворява условията за **причинност и устойчивост**



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

Реализуемост на схемните функции

- Физическата интерпретация на условието за **причинност** означава, че реакцията в изхода на схемата не може да изпреварва въздействието на входа



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

Реализуемост на схемните функции

- Една функция е устойчива, ако във всеки момент от времето е ограничена
- Съгласно критерия на Хурвиц, математическата функция е физически реализуема чрез устойчива схема, ако нейните полюси имат отрицателна реална част или са разположени върху имагинерната ос, т.е. полиномът в знаменателя е полином на Хурвиц



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!



Реализуемост на схемните функции

Необходимите условия за това един полином да е полином на Хурвиц са:

- В полинома няма пропуснати степени на p
- Всички коефициенти са реални числа с еднакъв знак
- Полином, който отговаря на горните изисквания е полином на Хурвиц
- Произведението на полиноми на Хурвиц е също полином на Хурвиц



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!



Реализуемост на схемните функции

$$T(p) = \frac{1}{p^2 \tau^2 + b\tau p - c}$$

Функцията не удовлетворява условието за устойчивост

Функцията удовлетворява условието за устойчивост:

$$T(p) = \frac{p^2 + a_{11} p + a_{01}}{(p + b)(p^2 + b_{11} p + b_{01})(p^2 + b_{12} p + b_{02})}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

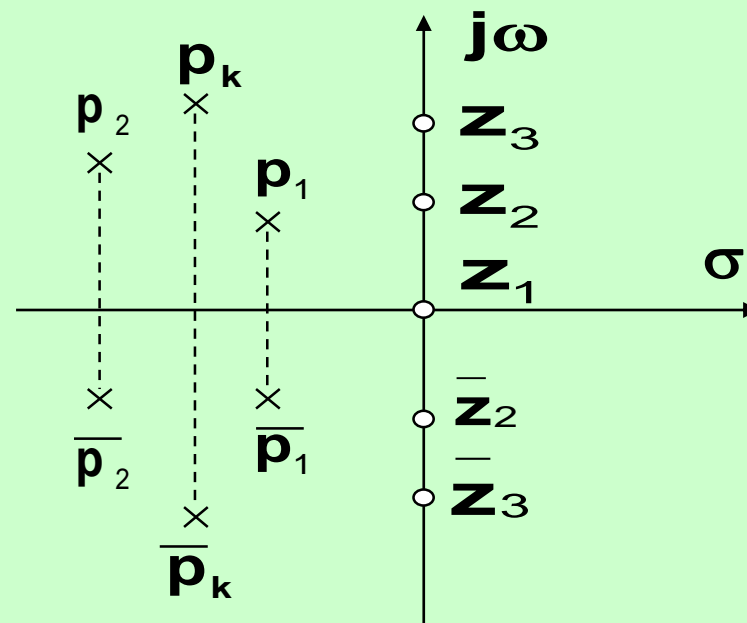
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Минимално-фазови функции

- Минимално-фазовите функции имат нули, разположени в лявата полуравнина на Гаус и върху имагинерната ос



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

Минимално-фазови функции

- Съответната схема се нарича минимално-фазова ако за нея съществува еднозначна зависимост между АЧХ и ФЧХ
- Следователно минимално-фазовите семи се проектират по зададени изисквания към АЧХ, а съответната ФЧХ се получава автоматично при апроксимация



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

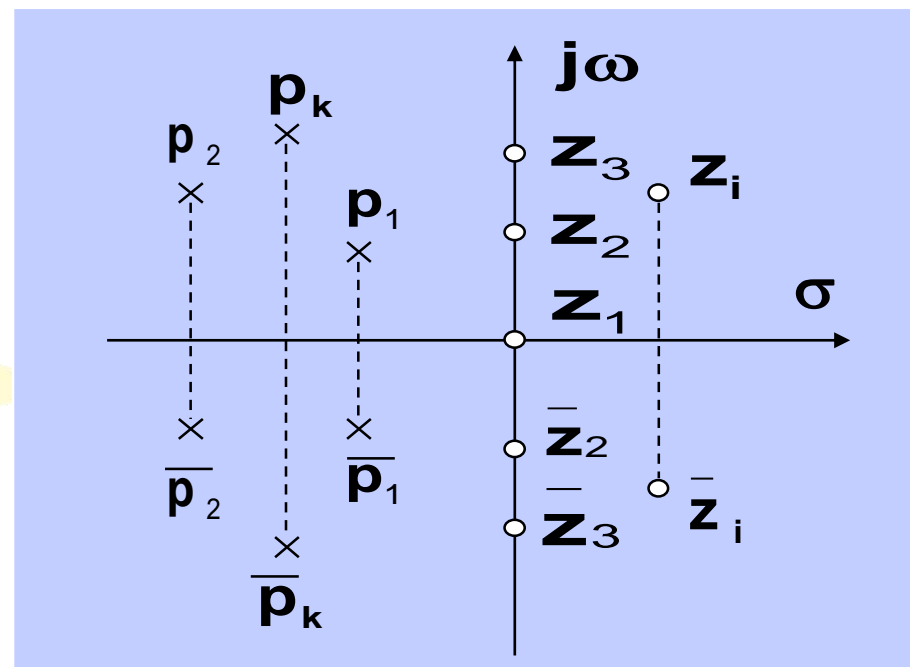
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



Неминимално-фазови функции

- Ако нулите са разположени по-свободно, включително и в дясната полуравнина на Гаус, функцията се нарича неминимално-фазова и за нея не съществува еднозначна зависимост между АЧХ и ФЧХ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

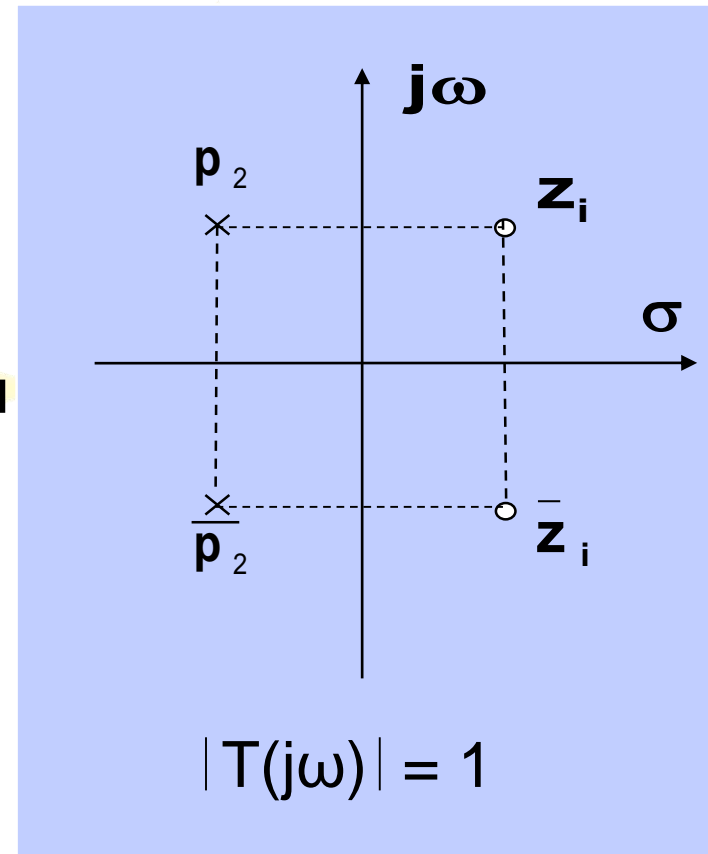
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Всепропускащи функции (фазови звена)

- Полюсите и нулите са разположени симетрично спрямо имагинерната ос
- На всяка двойка полюси в лявата полуравнина отговаря двойка нули в дясната полуравнина на Гаус
- АЧХ не зависи от честотата и е равна на **1**, а ФЧХ нараства монотонно с честотата (при $\omega = \infty$ клони към $n \cdot \pi$).



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!



Нормиране

В синтеза се прилага нормиране на:

- параметрите на схемните елементи
- нормиране на честотата
- нормиране на амплитудно-честотните характеристики



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

Нормиране

- Стойностите на параметрите на схемните елементи (в хенри, омове и фаради) и на честотата (в херци) се променят в широк обхват
- Поради това, параметрите на елементите се нормират по съпротивление (за всички) и по честота (само за реактивните елементи)



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

Нормиране по съпротивление и честота

Нормирането по съпротивление и честота означава смяна в мерните единици, т. е. за единици се избират стойностите на нормиращото съпротивление R_a и на нормиращата честота ω_a



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!



Нормиране по съпротивление и честота

Ако реалните параметри означим с R_p , L_p , C_p и ω , тъй като при нормирането по съпротивление и честота не трябва да променя импедансите, следват зависимостите:

$$R = \frac{R_p}{R_a}$$

$$X_L = \frac{X_{L_p}}{R_a} = \frac{\omega L_p}{R_a} = \frac{\omega \omega_a L_p}{\omega_a R_a} = \Omega L \quad L = \frac{\omega_a L_p}{R_a} \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_a}$$

$$X_c = \frac{X_{C_p}}{R_a} = \frac{1}{\omega C_p R_a} = \frac{1}{\frac{\omega}{\omega_a} \omega_a C_p R_a} = \frac{1}{\Omega C} \quad C = \omega_a C_p R_a$$



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

Нормиране по съпротивление и честота

Нормиране по съпротивление	$R = \frac{R_p}{R_a}$	$L = \frac{L_p}{R_a}$	$C = C_p R_a$	
Нормиране по честота		$L = \omega_a L_p$	$C = \omega_a C_p$	$\Omega = \frac{\omega}{\omega_a}$
Нормиране по съпротивление и честота	$R = \frac{R_p}{R_a}$	$L = \frac{\omega_a L_p}{R_a}$	$C = \omega_a C_p R_a$	$\Omega = \frac{\omega}{\omega_a}$
Денормиране по съпротивление	$R_p = R R_a$	$L_p = L R_a$	$C_p = \frac{C}{R_a}$	
Денормиране по честота		$L_p = \frac{L}{\omega_a}$	$C_p = \frac{C}{R_a}$	$\omega = \Omega \omega_a$
Денормиране по съпротивление и честота	$R_p = R R_a$	$L_p = \frac{L R_a}{\omega_a}$	$C_p = \frac{C}{\omega_a R_a}$	$\omega = \Omega \omega_a$



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!



Нормиране на АЧХ

- Модулът на предавателната функция (АЧХ) се нормира спрямо стойността му в лентата на пропускане, а честотата се нормира спрямо характерната гранична честота на филтъра в лентата на пропускане.
- За нискочестотната и високочестотната характеристика това е граничната честота f_1 в лентата на пропускане, а за лентовата и заграждащата - средната честота f_0 .



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

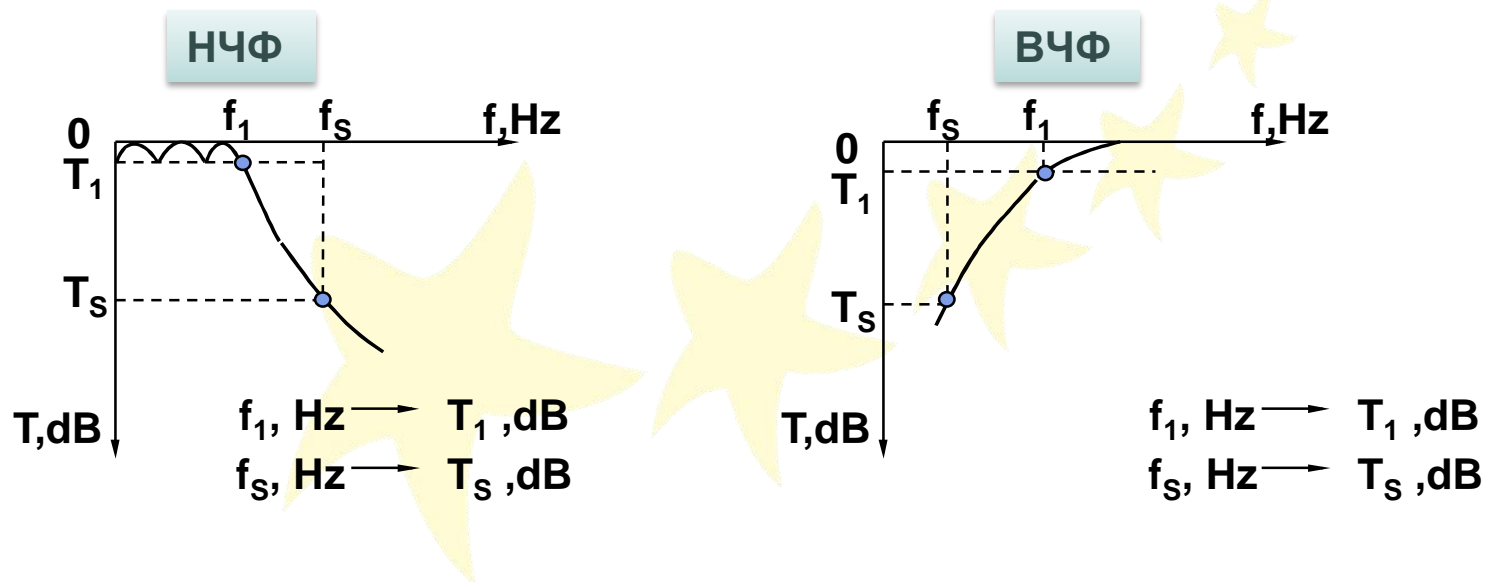
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Нормирани АЧХ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

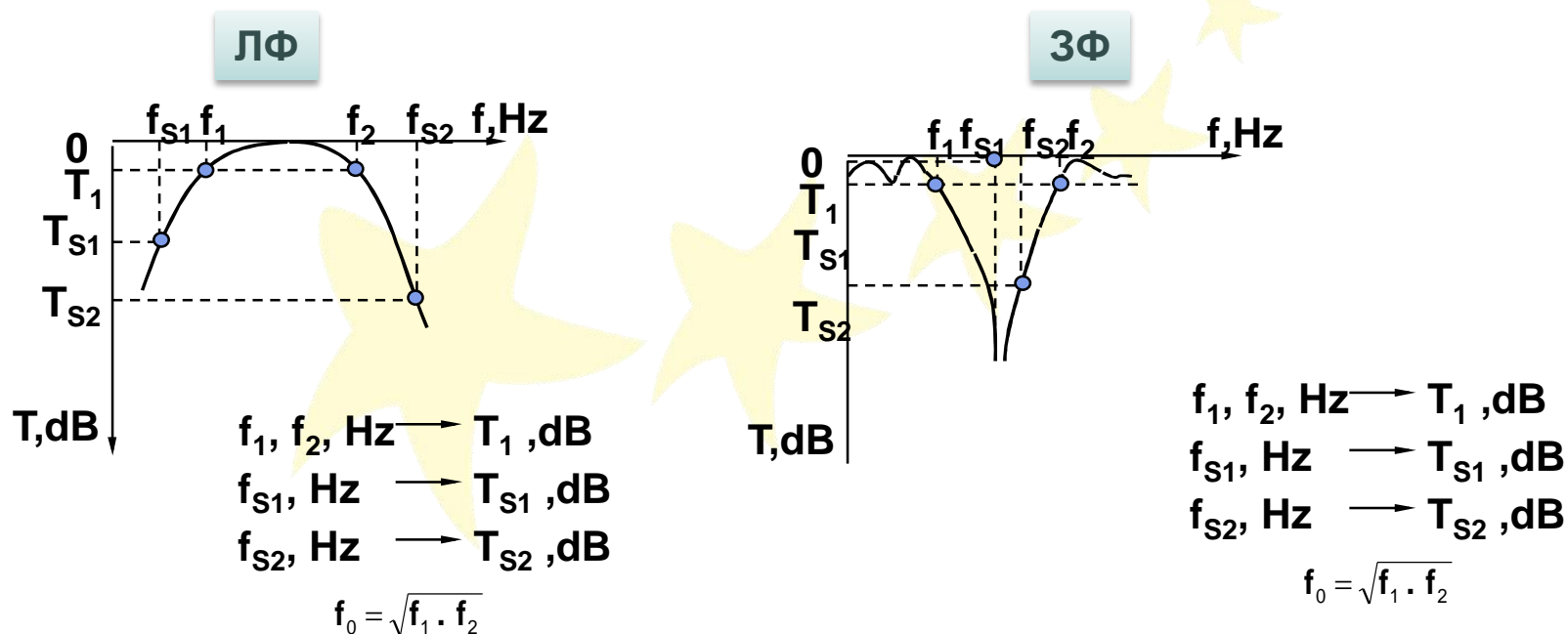
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Нормирани АЧХ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

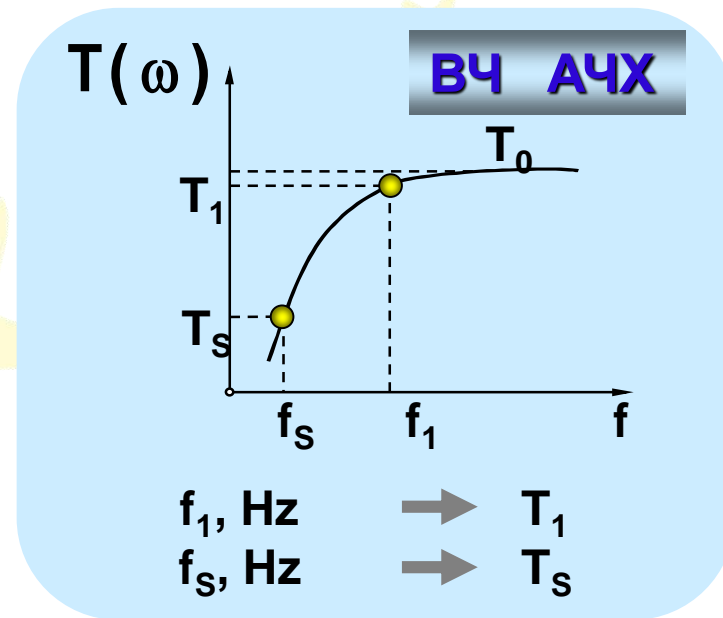
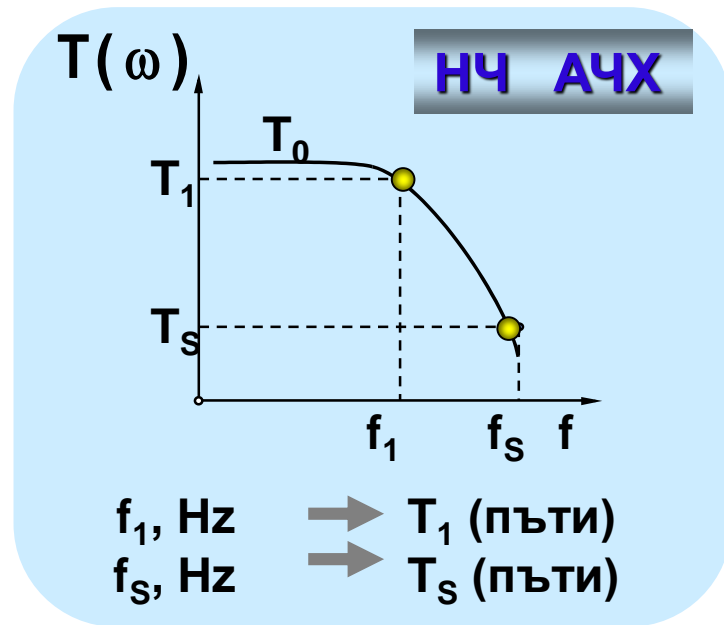
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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 АЧХ според честотата на сигналите, които преминават



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

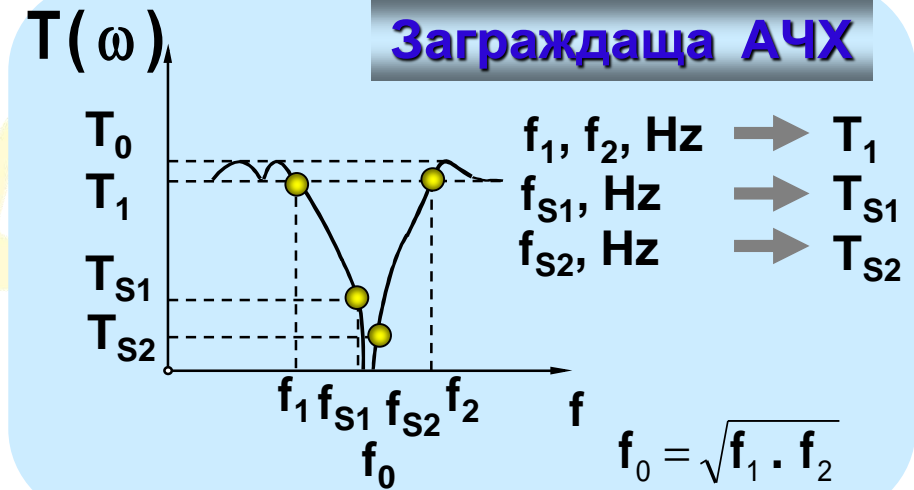
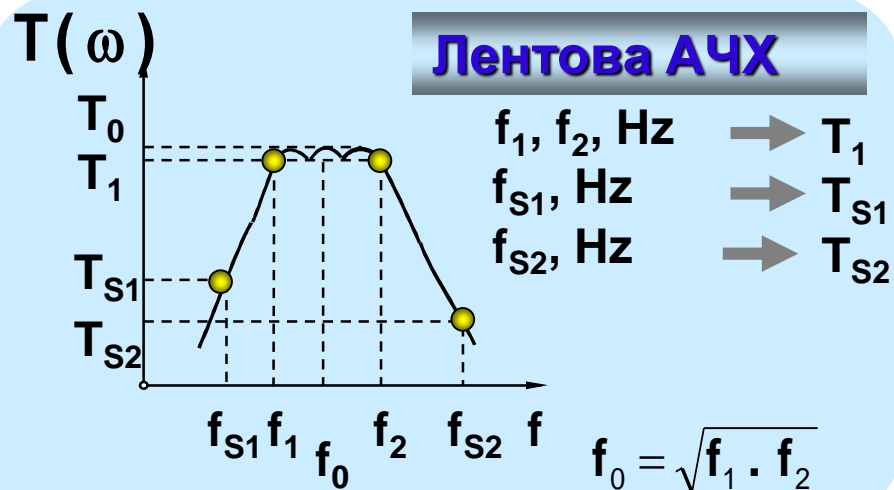
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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 АЧХ според честотата на сигналите, които преминават



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



ttodorov@tu-sofia.bg



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