

Теория на електронните схеми

Синтез на активни филтри: Каскадна реализация. Схеми с ЕООВ

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

- Каскаден метод
- Основни схеми на активни филтри (АФ) с един ОУ
- Анализ и синтез на схеми с Едноконтурна Отицателна Обратна Връзка (ЕООВ)



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

Образователни цели:

След изучаването на този раздел вие ще трябва да можете:

- Да формулирате същността на каскадната реализация
- Да прогнозирате и аргументирате качествата на основните схеми за реализация на звена от първи и втори ред
- Да анализирате, оценявате и обобщавате резултатите от синтеза



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

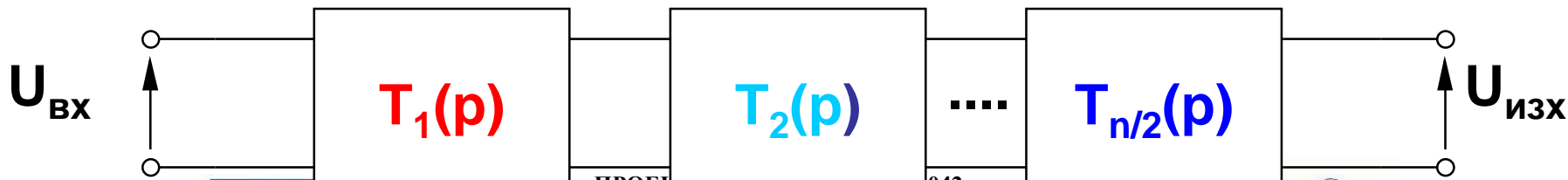
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Каскадна реализация

- Каскадната реализация на предавателни функции от висок ред е най-разпространеният метод за проектиране на активни RC–схеми. Това е основната стратегия в системите за автоматизиран синтез - Filter Synthesis и Filter Wiz
- Каскадната реализация се състои от два етапа:
 - Разлагане на предавателната функция на елементарни предавателни функции от първи и втори ред
 - Реализация на получените функции чрез каскадно свързани звена от първи и втори ред, взаимодействието между които е пренебрежимо малко

$$T(p) = \frac{U_{\text{изх}}}{U_{\text{вх}}} = T_1(p) \cdot T_2(p) \cdot \dots \cdot T_{n/2}(p) \quad \text{При } n \text{ четно}$$



ПРОЕКТ
042
„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!



Каскадна реализация

- Каскадният метод значително опростява задачата за реализация на общата предавателна функция, тъй като **съществуват краен брой различни по вид елементарни предавателни функции** от първи и втори ред:



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

Каскадна реализация- елементарни предавателни функции

$$T(p) = \frac{H}{p + b_0}$$

$$T(p) = \frac{Hp}{p + b_0}$$

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

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

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

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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

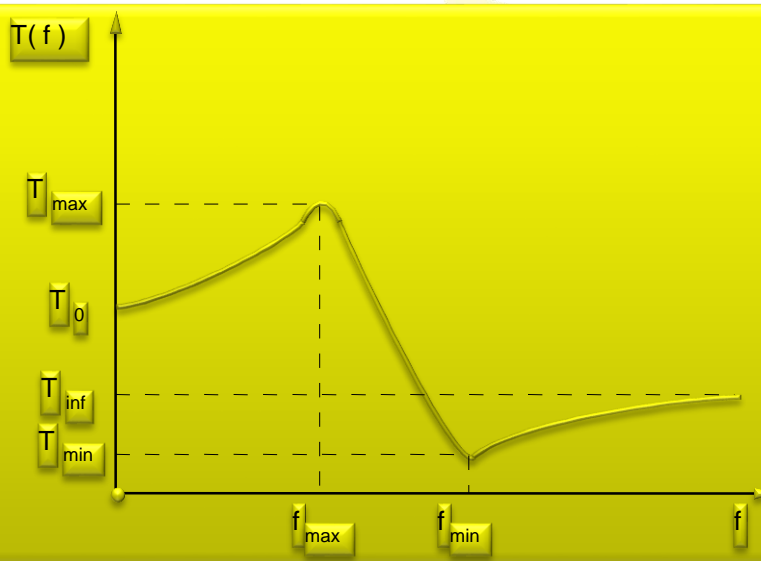
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



Каскадна реализация- елементарни предавателни функции

Биквадратна
предавателна
функция -
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

Каскадна реализация

- При разлагането на $T(p)$ съществуват три степени на свобода.
 1. Обединяване на полюсите и нулите на предавателната характеристика
 2. Разпределение на усилването
 3. Подреждане на звената в каскадната структура
- Тези степени на свобода се използват за оптимизация на характеристиките на получената схема.



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!



Каскадна реализация

Тези степени на свобода могат да се използват за **оптимална реализация** на АФ по следните четири основни критерии:

- Първият от тях е осигуряването на **максимален динамичен обхват**. Горната граница на динамичния обхват на схемата се определя от максимално допустимата амплитуда на изходния сигнал при допустимо ниво на изкривяванията, а долната граница - от нивото на собствения шум в изхода на схемата
- Вторият критерий е осигуряването на **максимално отношение сигнал - шум**. Той е особено важен при работа с малки входни сигнали, съизмерими с нивото на собствените шумове



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

Каскадна реализация

- Третият критерий е свързан с **минимизиране на чувствителността** на работните характеристики на схемата към изменение параметрите ѝ
- Четвъртият критерий засяга **удобството за настройка** на селективните схеми

Едновременното удовлетворяване на тези основни критерии за оптимална реализация е трудно осъществима задача, тъй като се появяват взаимно противоречиви изисквания, което налага допускането на разумни компромиси



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!



Каскадна реализация

- При каскадния метод за отстраняване на взаимодействието между звената всяко едно от тях трябва да има голямо входно съпротивление и малко изходно съпротивление, а усилвателят трябва да се характеризира с безкрайно голям коефициент на усилване K_u , т.е. това е **операционния усилвател**.
- На практика това се осигурява, като изходното напрежение на всяко звено се получава от изхода на **идеален източник на напрежение, управляван от напрежение или от изхода на операционен усилвател**.



Европейски съюз

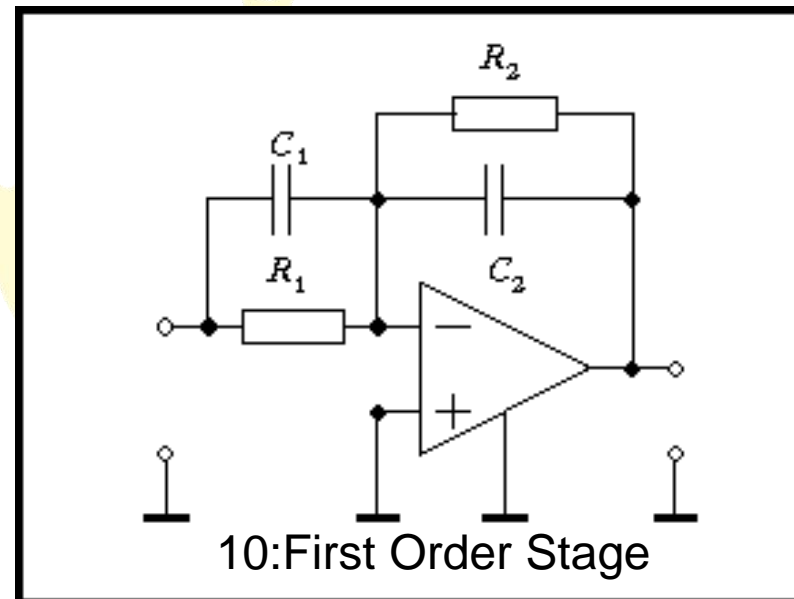
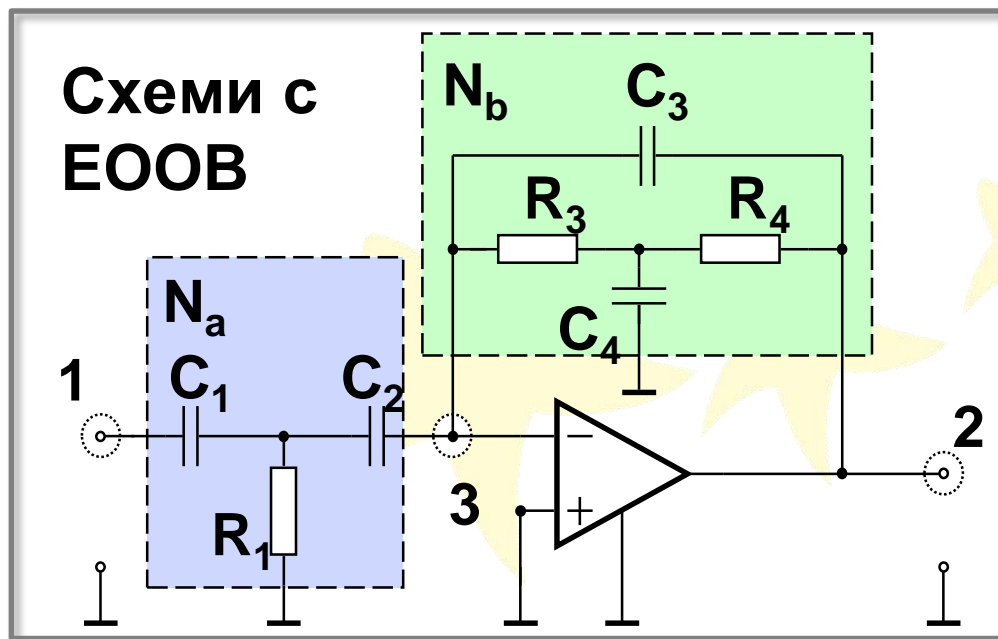
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



Основни схеми на АФ с един ОУ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

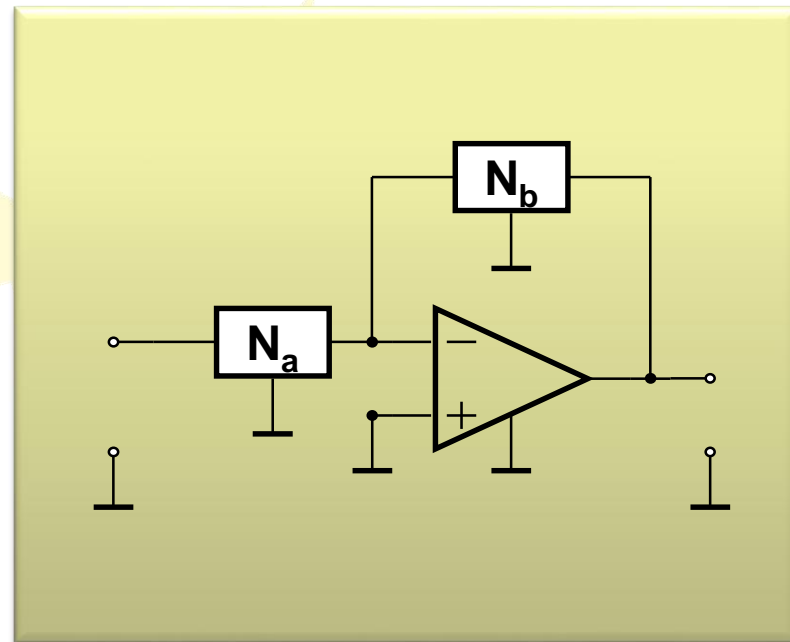
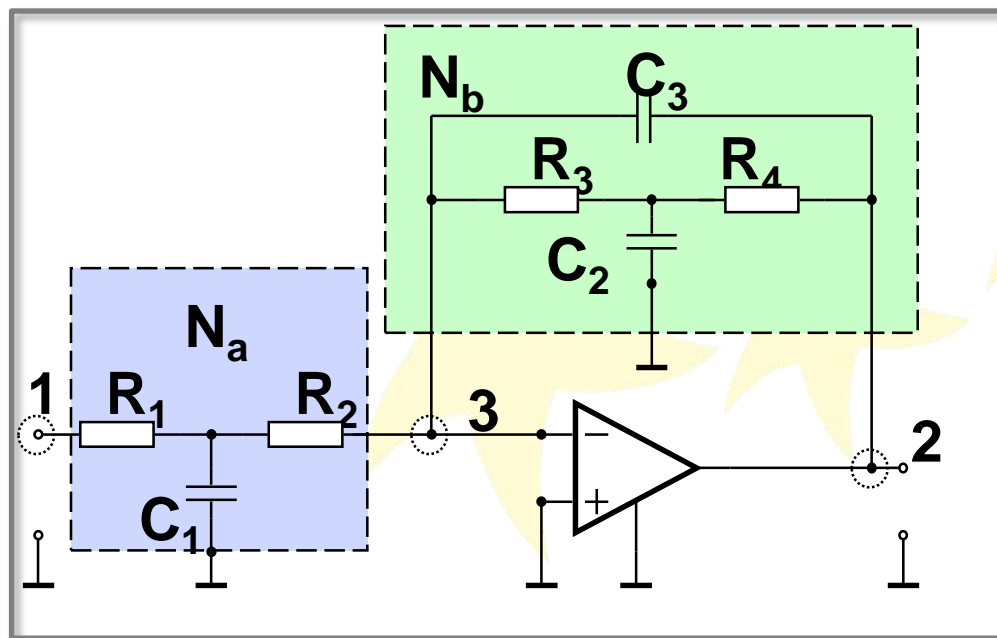
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Основни схеми на АФ с един ОУ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

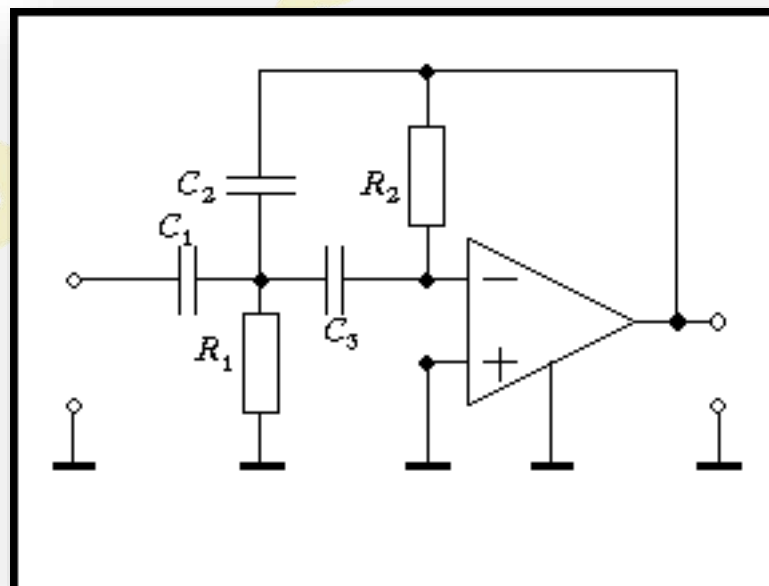
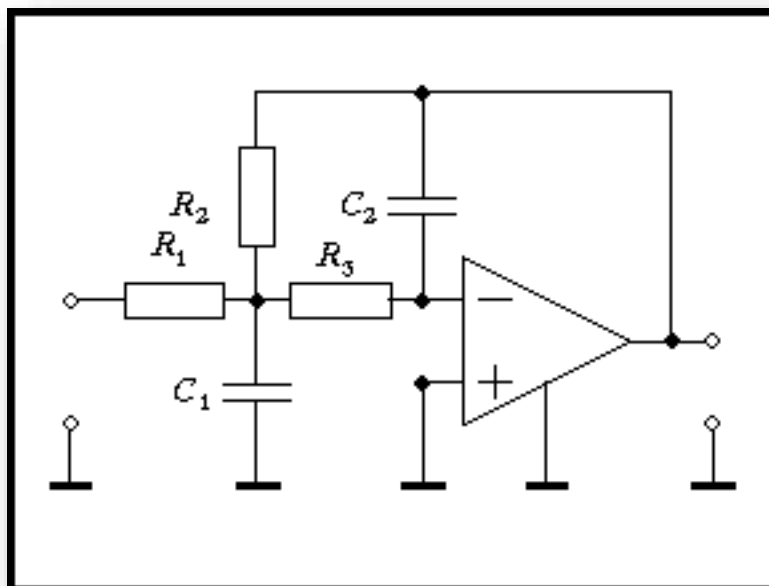
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Основни схеми на АФ с един ОУ

Схеми
с
МООВ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

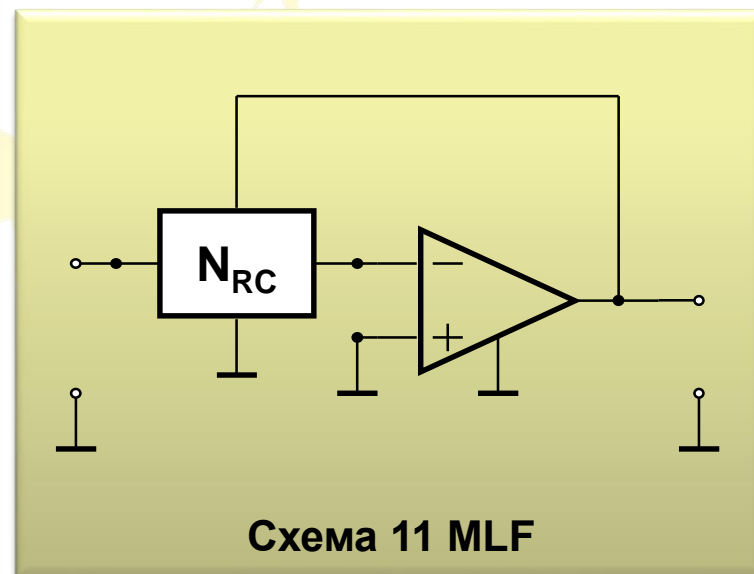
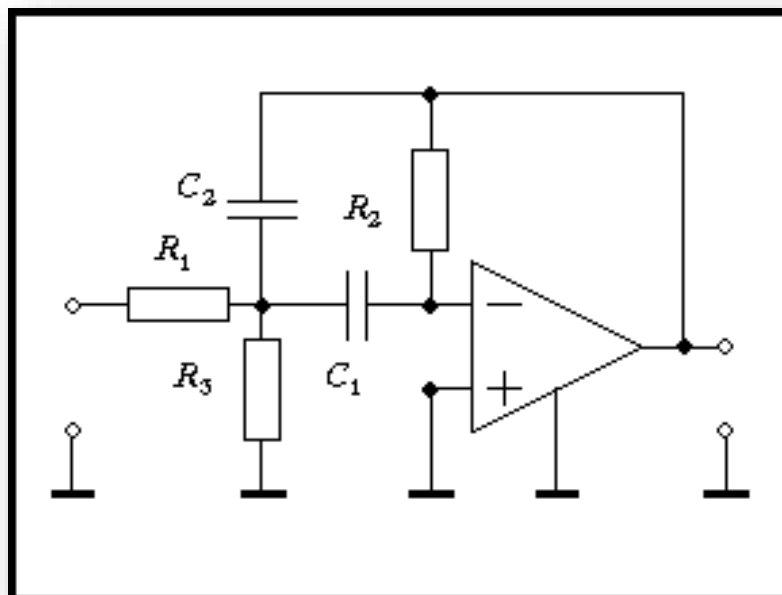
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*

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!



Основни схеми на АФ с един ОУ

Схеми
с
МООВ



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!



Основни схеми на АФ с един ОУ

Лентово звено на Дилианис

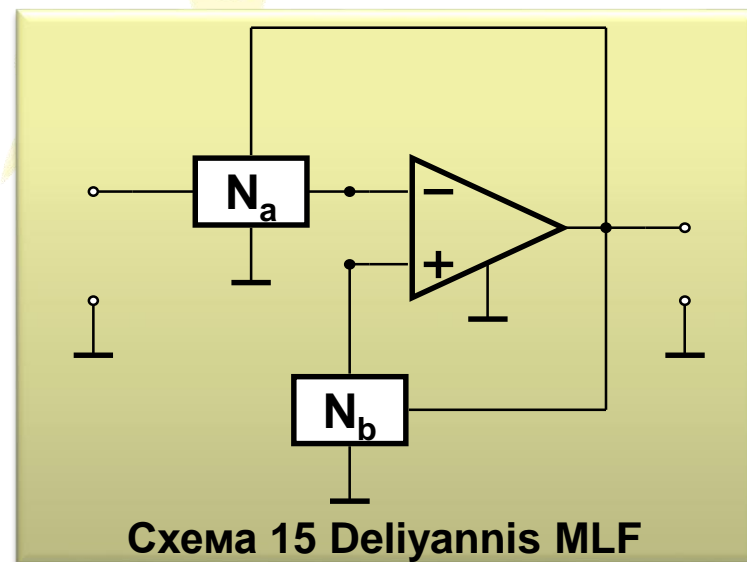
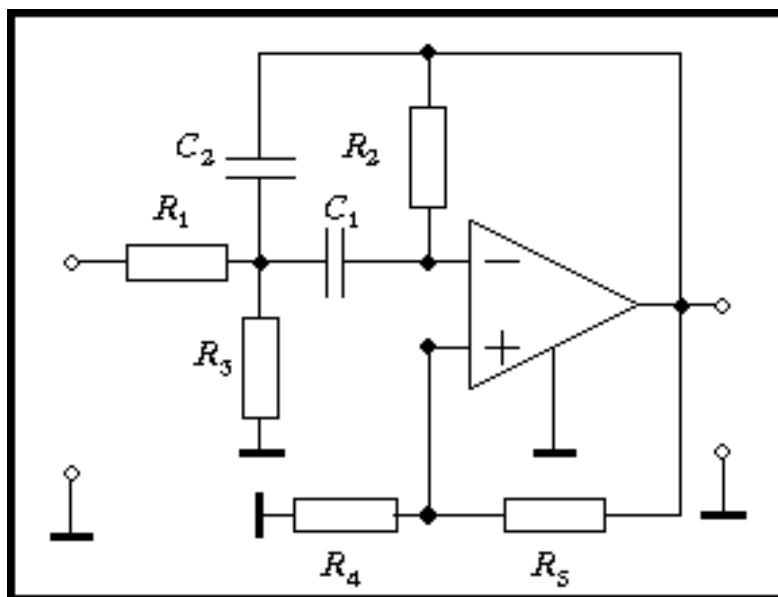


Схема 15 Deliyannis MLF



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

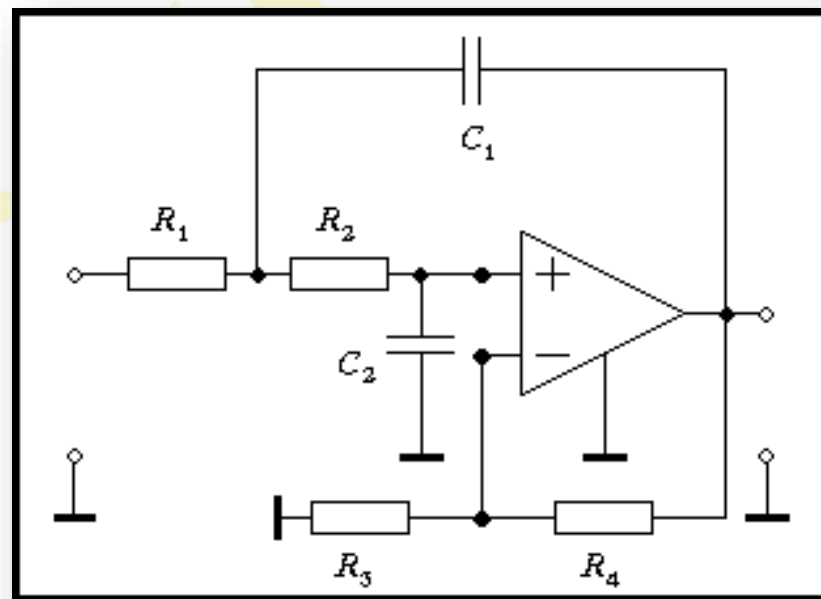
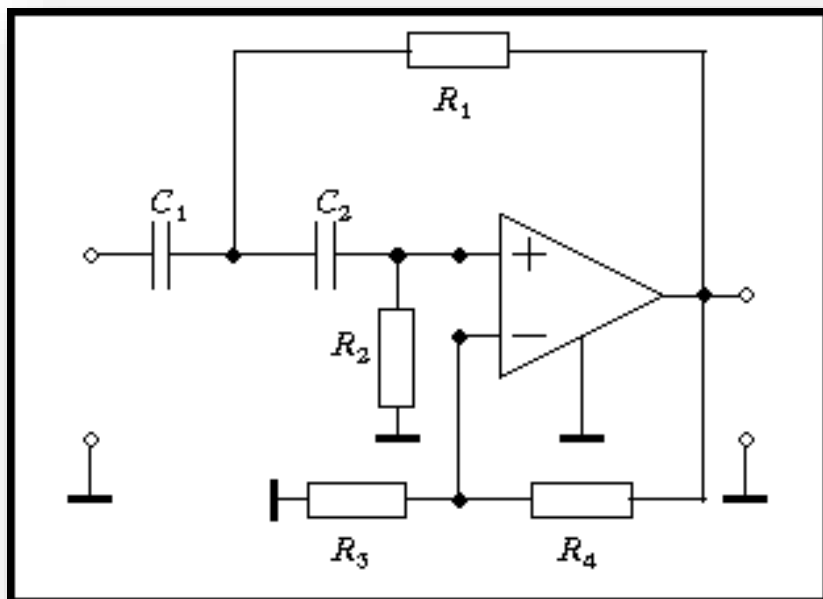
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Основни схеми на АФ с един ОУ

Схеми на Селен-Кий



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

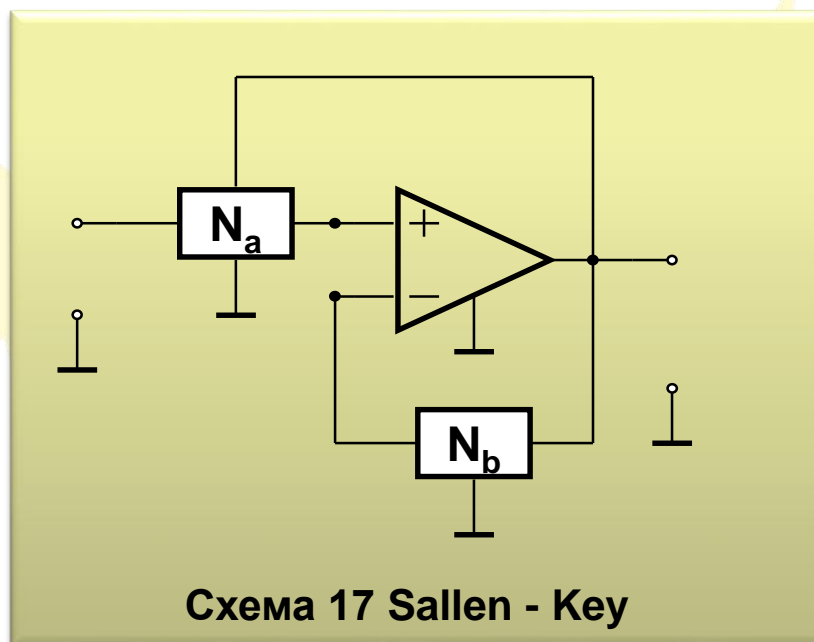
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



Основни схеми на АФ с един ОУ

Схеми на Селен-Кий



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

Основни схеми на АФ с един ОУ

Биквадратно звено с МООВ

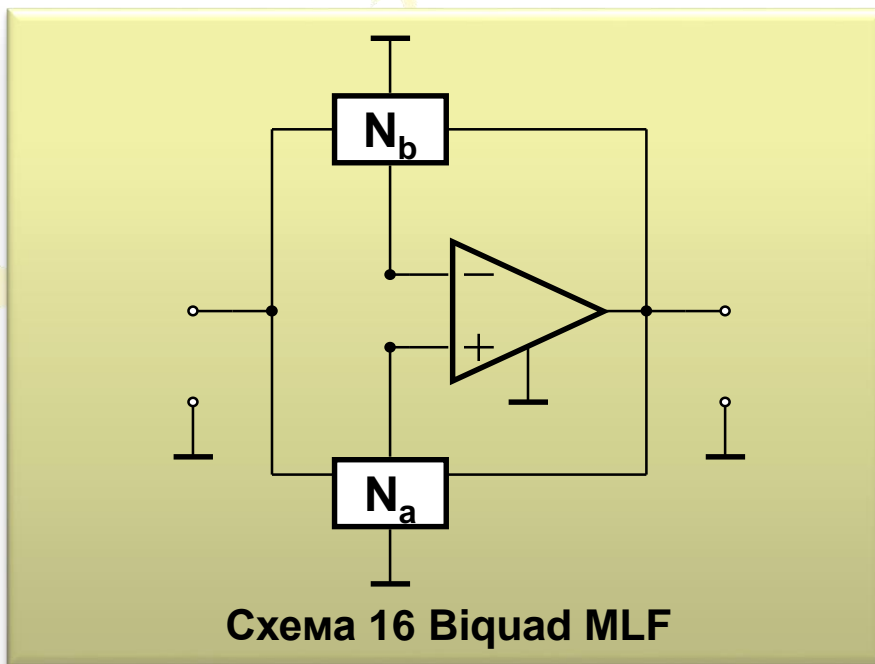
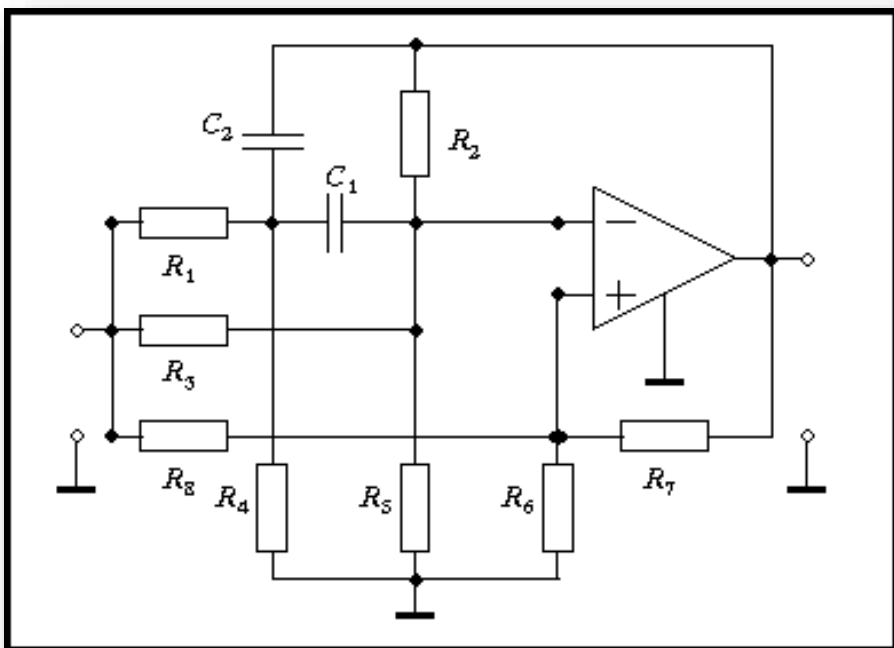


Схема 16 Biquad MLF



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

Основни схеми на АФ с един ОУ

Основна схема с МООВ на фазово звено (всепропускащо звено)

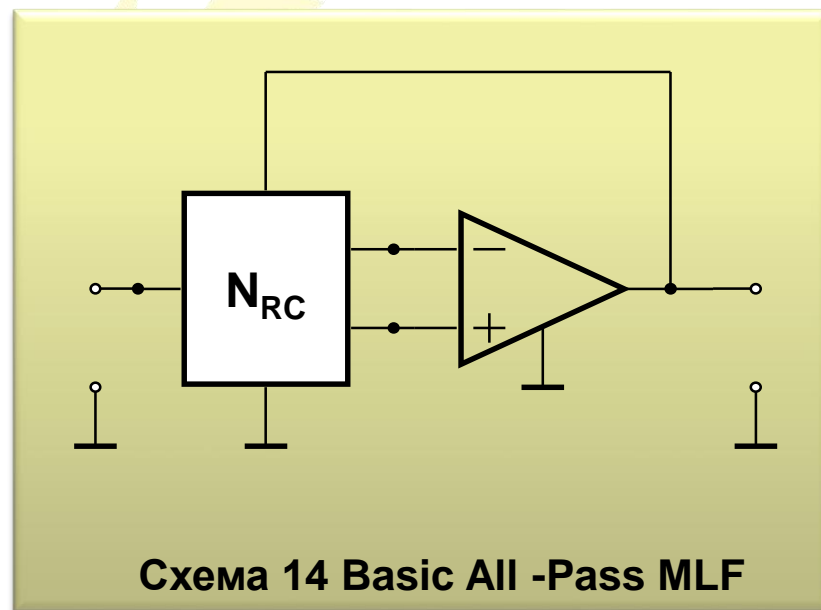
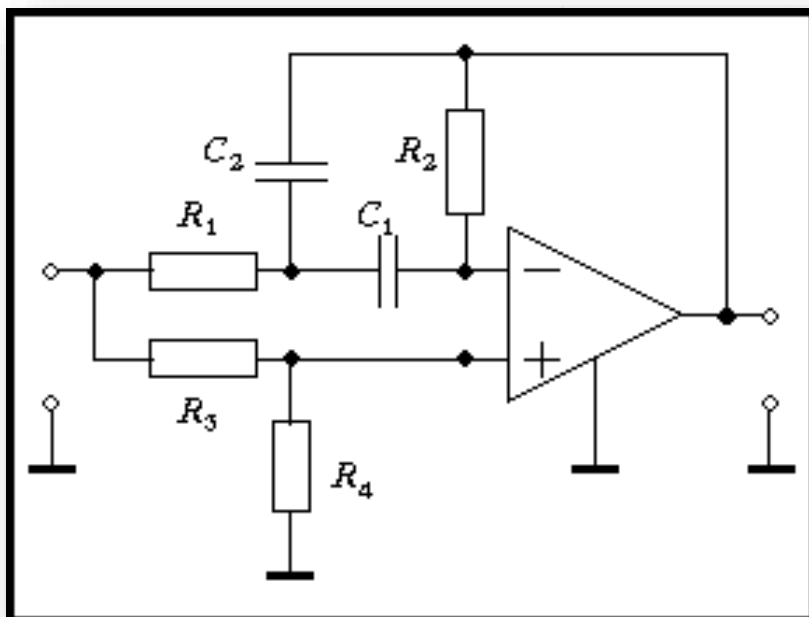


Схема 14 Basic All -Pass MLF



Европейски съюз

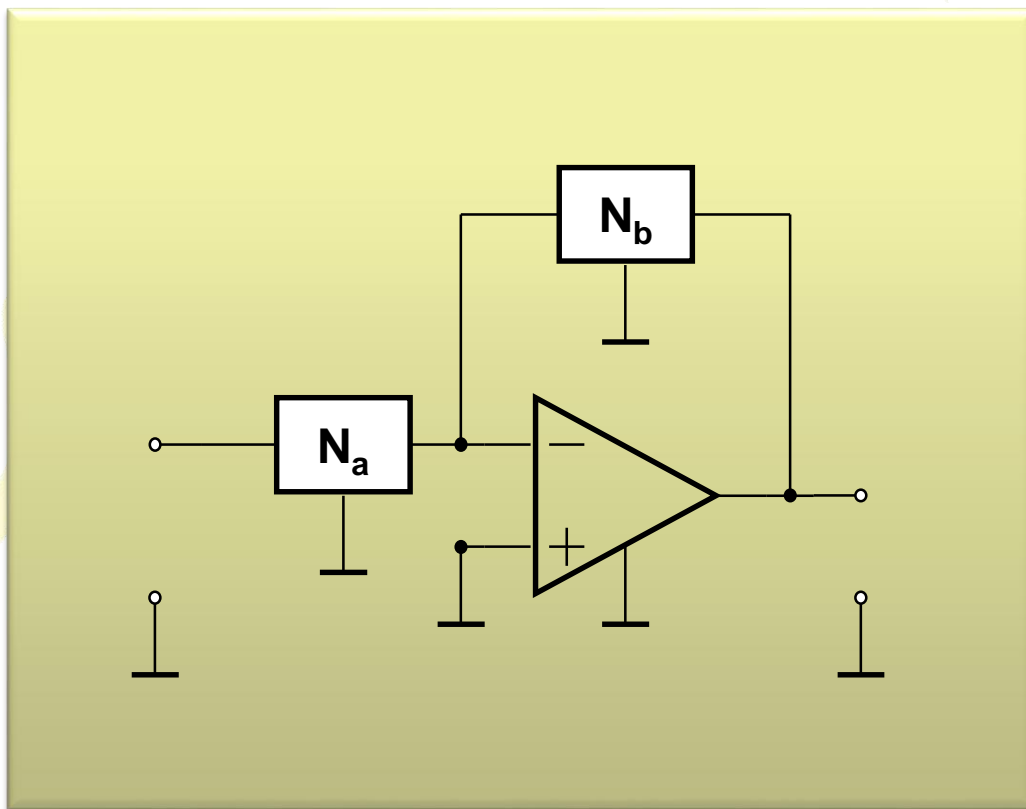
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



Анализ и синтез на схеми с Едноконтурна Отицателна Обратна Връзка (ЕООВ)



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

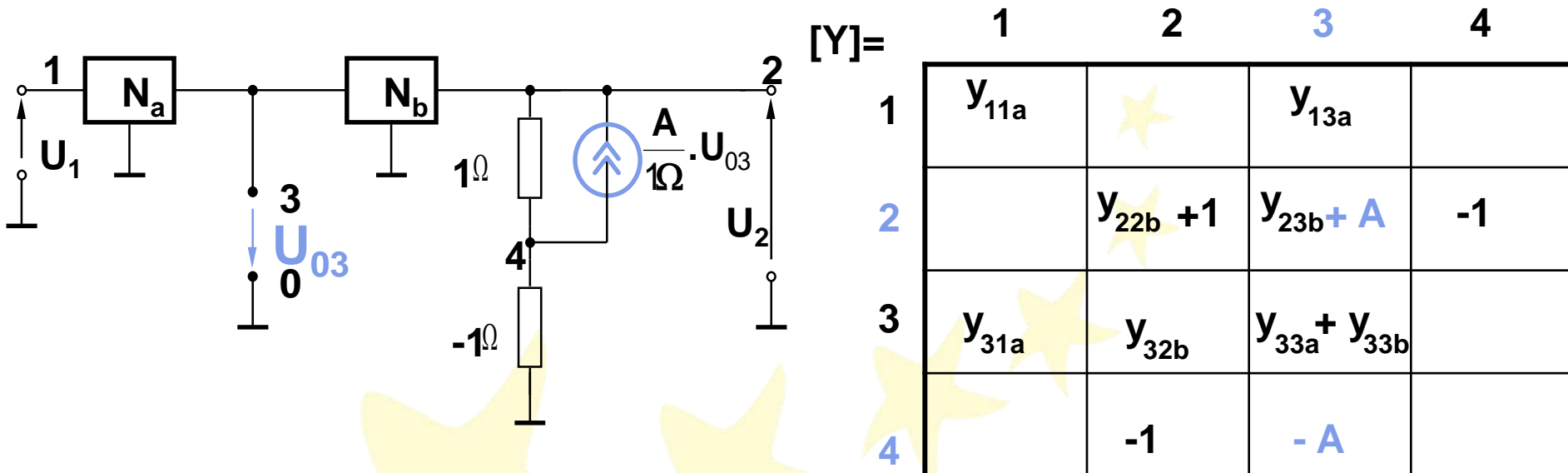
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

1. Матричен анализ на схеми с ЕООВ



При отворена верига в изхода на схемата и безкрайно голям коефициент на усилване по напрежение A на ОУ без ООВ, изразът за предавателната функция $T(p)$ се определя от $[Y]$:

$$T(p) = \frac{\Delta_{12}}{\Delta_{11}} = K_{Uov} = \frac{-y_{31a}}{y_{32b} - \frac{y_{33a} + y_{33b}}{y_{32b}}} = -\frac{y_{31a}}{y_{32b}}$$



Европейски съюз

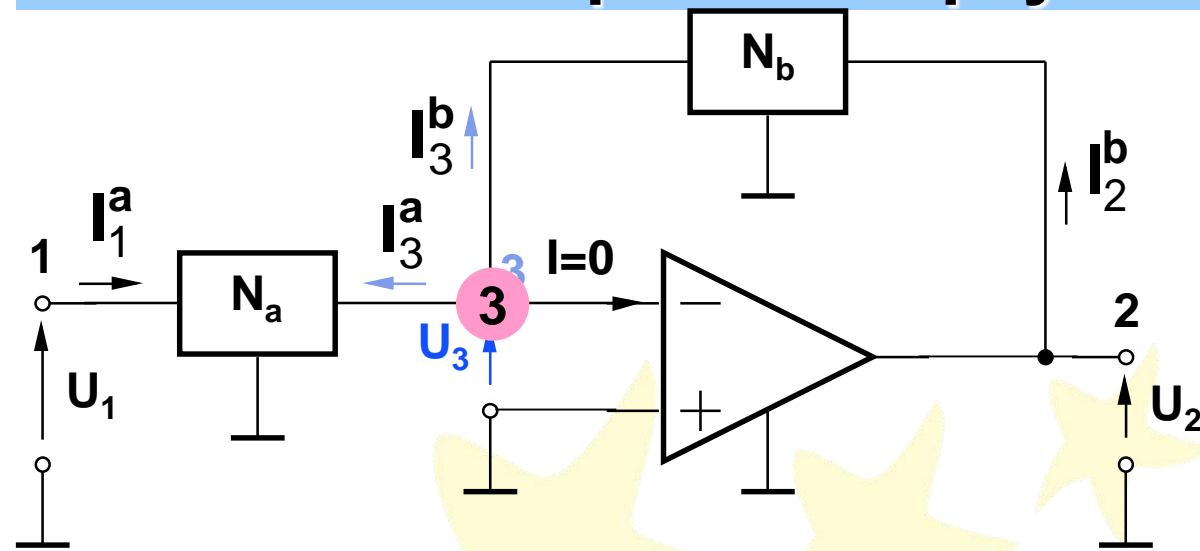
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



2. Анализ на схемата с ЕООВ чрез прилагане на I закон на Кирхов и виртуалната нула на в. 3



В. 3

$$-I_3^a - I_3^b = 0$$

$$-I_3^a = I_3^b$$

Виртуална нула $U_3 \approx 0$

$$N_a \Rightarrow \begin{bmatrix} I_1^a \\ I_3^a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11}^a & y_{13}^a \\ y_{31}^a & y_{33}^a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

$$I_3^a = y_{31}^a \cdot U_1$$

$$-y_{31}^a U_1 = y_{32}^b U_2$$

$$N_b \Rightarrow \begin{bmatrix} I_2^b \\ I_3^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{22}^b & y_{23}^b \\ y_{32}^b & y_{33}^b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

$$I_3^b = y_{32}^b \cdot U_2$$

$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{y_{31}^a}{y_{32}^b}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

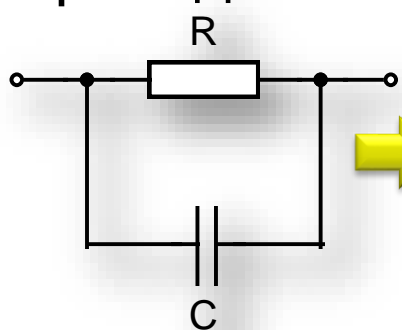
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Реализация на звена от първи ред чрез схемата с ЕООВ

Ако за реализацията на четириполусниците N_a и N_b изберем схемата на паралелното RC – звено, за проводимостите y_{31a} и y_{32b} се получава:

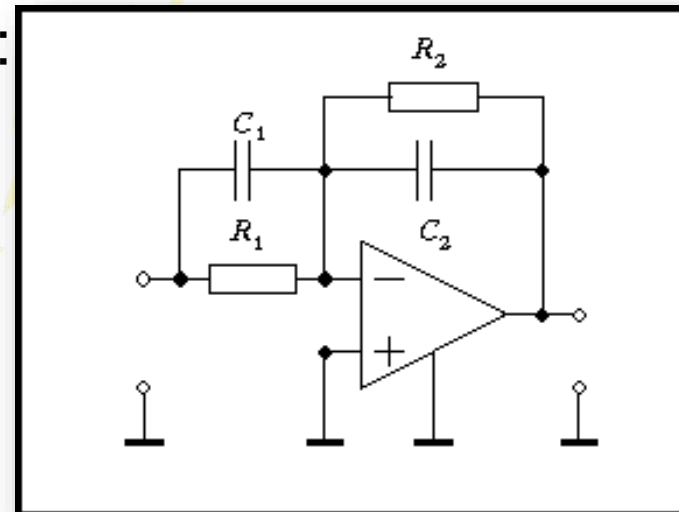


$$y_{31a} = pC_1 + \frac{1}{R_1}$$

$$y_{32b} = pC_2 + \frac{1}{R_2}$$

$$H = \frac{C_1}{C_2} \quad b_0 = \omega_p = \frac{1}{R_2 C_2} \quad a_0 = \omega_z = \frac{1}{R_1 C_1}$$

$$T(p) = -\frac{y_{31a}}{y_{32b}} = -\frac{pC_1 + \frac{1}{R_1}}{pC_2 + \frac{1}{R_2}} = -\frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{p + \frac{1}{R_1 C_1}}{p + \frac{1}{R_2 C_2}} = -H \cdot \frac{p + a_0}{p + b_0}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

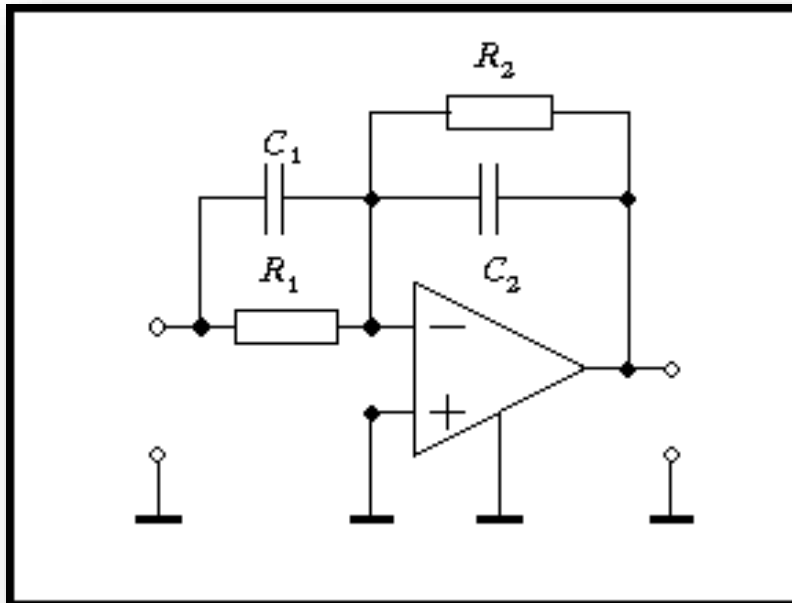
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Реализация на звена от първи ред чрез схемата с ЕООВ



$$H = \frac{C_1}{C_2}$$

$$b_0 = \omega_p = \frac{1}{R_2 C_2}$$

$$a_0 = \omega_z = \frac{1}{R_1 C_1}$$

Определяне на чувствителността на ω_p и H спрямо всеки от елементите R и C чрез диференциране на символния вид на параметъра:

$$S_{R_2}^{\omega_p} = S_{C_2}^{\omega_p} = -1 \quad S_{C_2}^H = -1 \quad S_{C_1}^H = 1$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

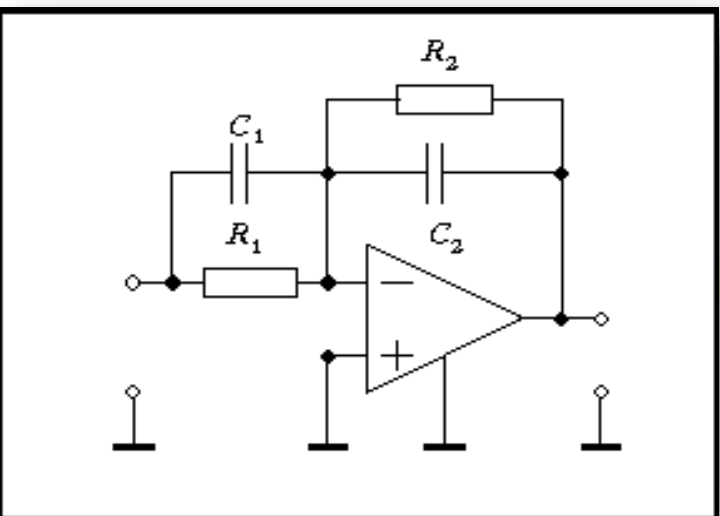
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Реализация на НЧ и ВЧ звена от първи ред чрез схемата с ЕООВ

$$T(p) = -\frac{pC_1 + \frac{1}{R_1}}{pC_2 + \frac{1}{R_2}}$$



➔ а) НЧ - звено от първи ред:
 $C_1=0,$

$$T(p) = -\frac{y_{31a}}{y_{32b}} = -\frac{\frac{1}{R_1 C_2}}{p + \frac{1}{R_2 C_2}} = -\frac{a_0}{p + b_0}$$

➔ б) ВЧ - звено от първи ред:
 $\frac{1}{R_1} = 0$

$$T(p) = -\frac{y_{31a}}{y_{32b}} = \frac{pC_1}{pC_2 + \frac{1}{R_2}} = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{p}{p + \frac{1}{R_2 C_2}} = H \cdot \frac{p}{p + b_0}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

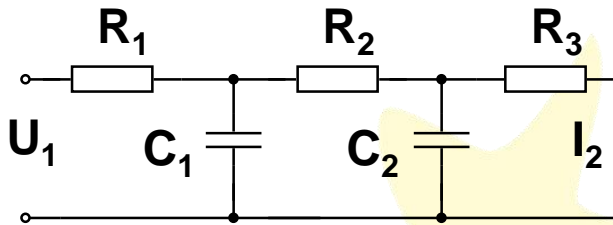
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!

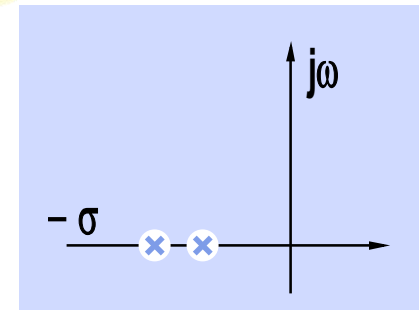


RC - многополюсници

Нискочестотен RC-филтър



$$Y_{21} = \frac{I_2}{U_1} = \frac{H}{p^2 + b_1 p + b_0}$$



$$H = \frac{1}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2} \quad b_1 = \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_3 C_2} \quad b_0 = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}$$

Реални полюси, разположени в лявата полуравнина на Гаус



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

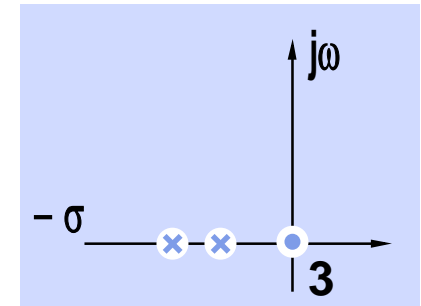
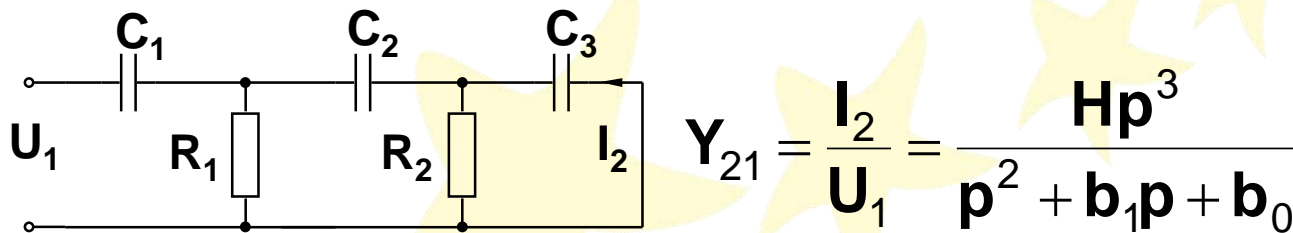
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

RC - многополюсници

Висококачествен RC-филтър



Реални полюси, разположени в лявата полуравнина на Гаус



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

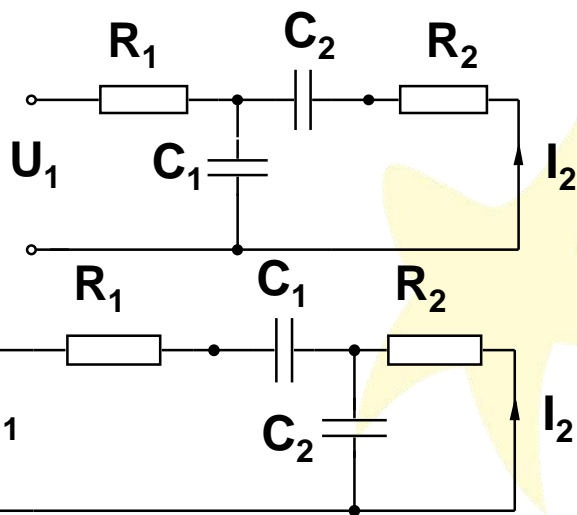
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



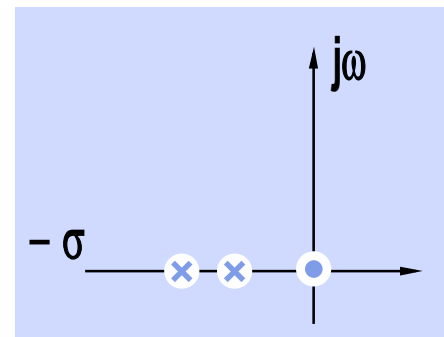
Европейски социален фонд

RC - многополюсници

Лентов RC-филтър



$$Y_{21} = \frac{I_2}{U_1} = \frac{pH}{p^2 + b_1p + b_0}$$



Реални полюси, разположени в лявата полуравнина на Гаус



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

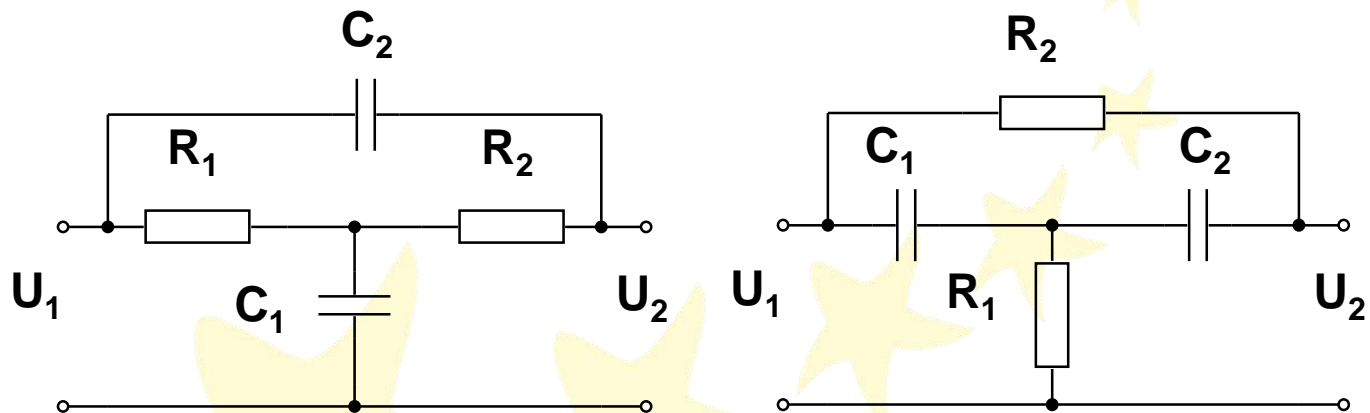
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



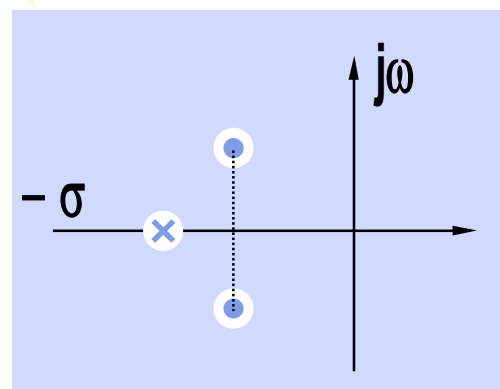
Европейски социален фонд

RC - многополюсници

Заграждащи RC-филтри



$$y_{21} = H \frac{p^2 + a_1 p + a_0}{p + b_0}$$



Комплексни нули, разположени в лявата полуравнина на Гаус



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

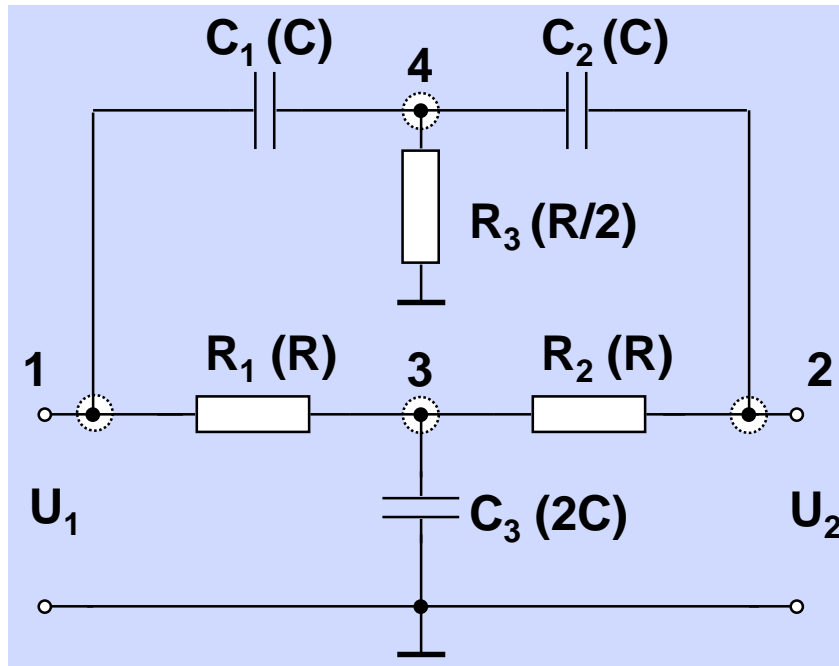
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

RC - Многополюсници

Двоен T-мост (заграждащ филтър)



$$[Y] =$$

	1	2	3	4
1	$\frac{1}{R_1} + pC_1$		$-\frac{1}{R_1}$	$-pC_1$
2		$\frac{1}{R_2} + pC_2$	$-\frac{1}{R_2}$	$-pC_2$
3	$-\frac{1}{R_1}$	$-\frac{1}{R_2}$	$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + pC_3$	
4	$-pC_1$	$-pC_2$		$\frac{1}{R_3} + p(C_1 + C_2)$

$$[y] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta_{11,22}} \begin{bmatrix} \Delta_{22} & -\Delta_{21} \\ -\Delta_{12} & \Delta_{11} \end{bmatrix}$$

$$y_{21} = -\frac{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{b_2 p^2 + b_1 p + b_0} = -\frac{(a'_2 p^2 + a'_1 p + a'_0)(p + z_1)}{(p + \sigma_1)(p + \sigma_2)}$$

Комплексни нули, разположени в лявата полуравнина на Гаус



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

Реализация на звена от втори ред чрез схемата с ЕООВ

$$T(p) = -\frac{y_{31}^a}{y_{32}^b} \Rightarrow y_{31}^a = \frac{A^a(p)}{B^a(p)} \quad y_{32}^b = \frac{A^b(p)}{B^b(p)}$$

$$T(p) = -\frac{y_{31}^a}{y_{32}^b} = -\frac{A^a(p) B^b(p)}{A^b(p) B^a(p)}$$

$$B^a(p) = B^b(p)$$

Проектирането на активни филтри от втори ред с ЕООВ изисква двата РС-многополюсника да реализират еднакви собствени честоти, т.е. да се съкратят еднаквите им знаменатели:

$$T(p) = -\frac{A^a(p)}{A^b(p)}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

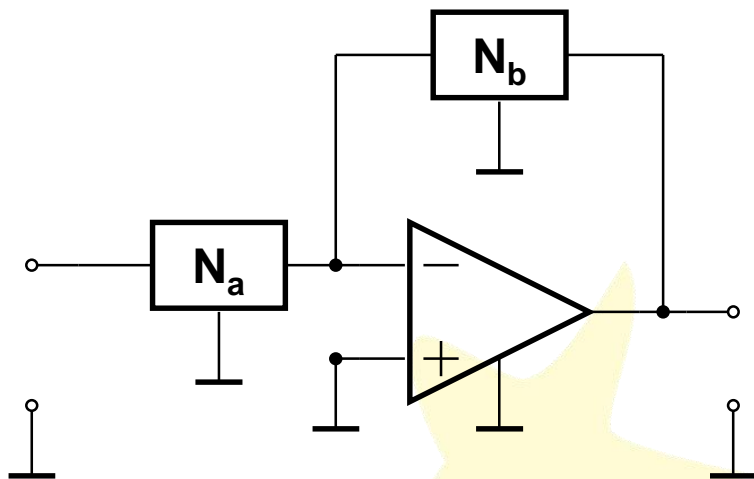
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Реализация на звена от втори ред чрез схемата с ЕООВ



$$T(p) = -\frac{A^a(p)}{A^b(p)}$$

- Резултатът за $T(p)$ означава, че числителят $A^b(p)$ на предавателната функция на многополюсника N_a трябва да реализира нулите на $T(p)$, а числителят на предавателната функция на N_b – полюсите на $T(p)$.



Европейски съюз

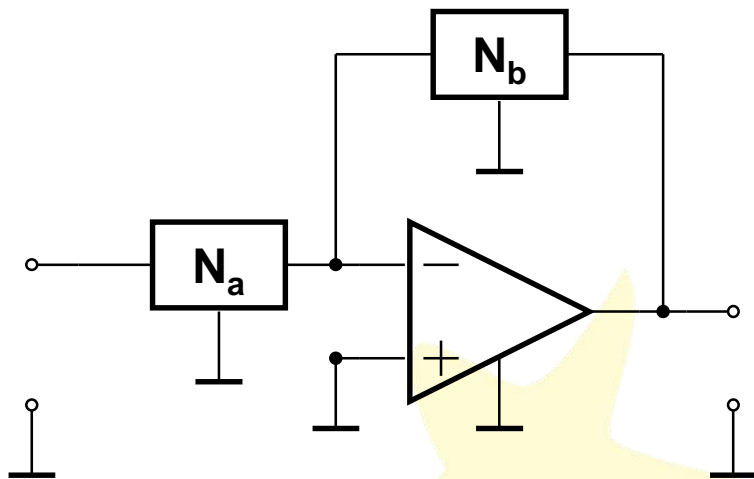
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„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!



Реализация на звена от втори ред чрез схемата с ЕООВ



$$T(p) = -\frac{A^a(p)}{A^b(p)}$$

- Следователно, многополюсникът N_b във веригата на ООВ на ОУ, винаги е **замостен RC-филтър (заграждащ филтър)**, който има комплексни нули. Тяхното инвертиране в общата предавателна функция позволява реализирането на **комплексните полюси на $T(p)$**



Европейски съюз

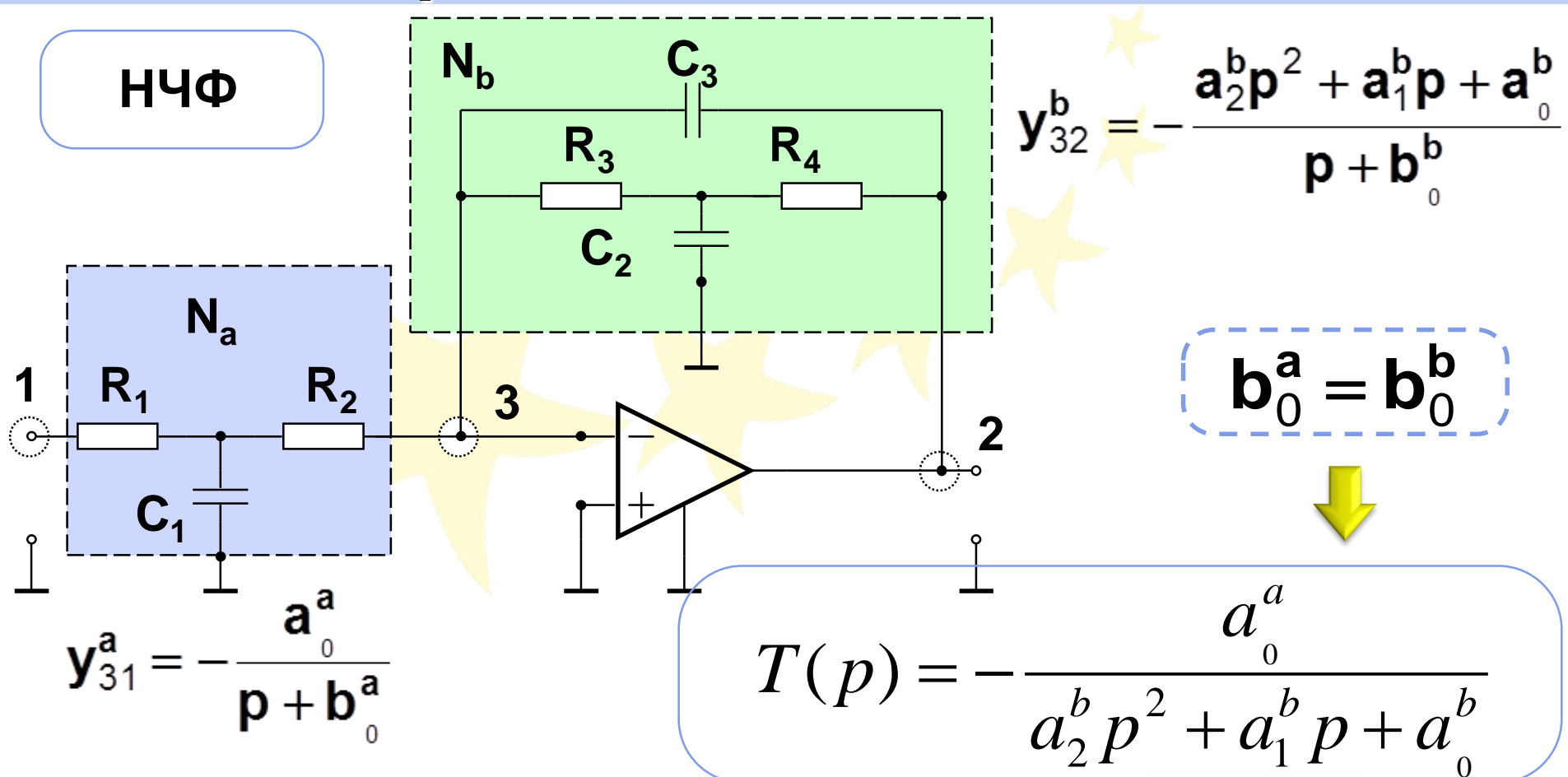
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



Реализация на НЧ филтър от втори ред чрез схемата с ЕООВ



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

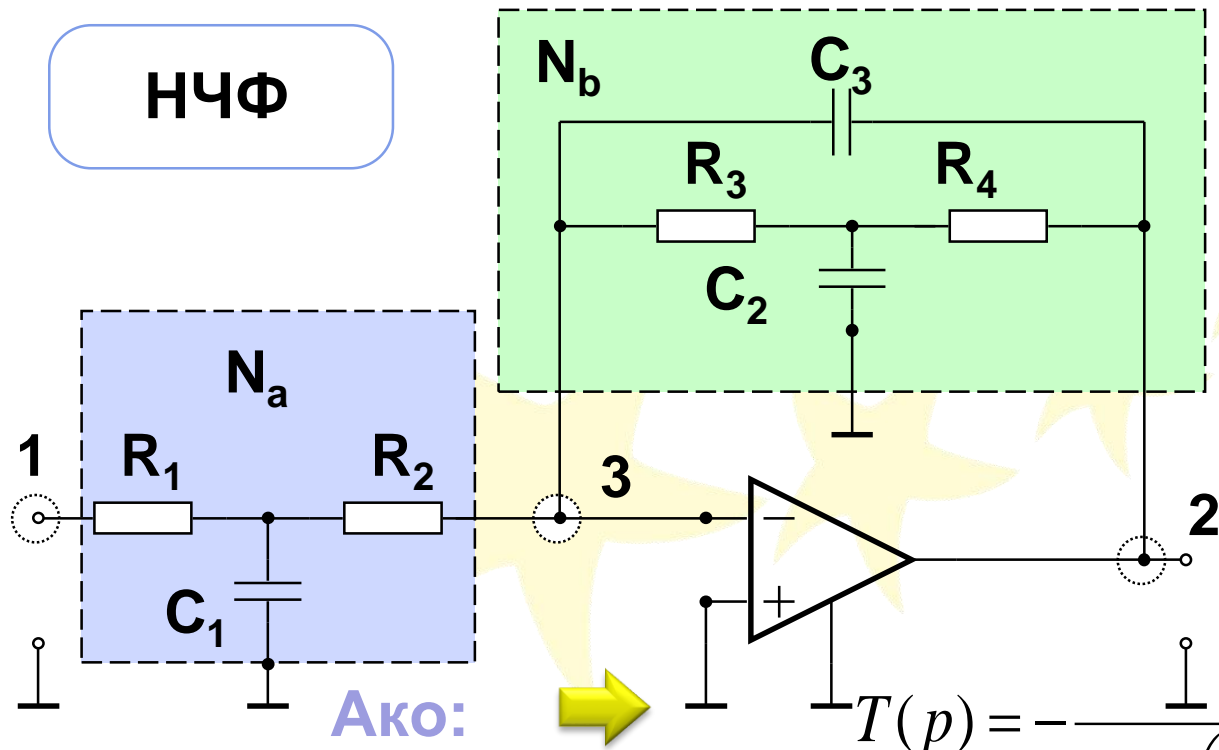
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



Реализация на НЧ филтър от втори ред чрез схемата с ЕООВ0

НЧФ



Ако:

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) + C_1 \cdot p = \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) + C_2 \cdot p$$

$$T(p) = \frac{1}{C_2 C_3 R_3 R_4} \cdot \frac{1}{p^2 + \left(\frac{1}{C_3 R_4} + \frac{1}{C_3 R_3} \right) p + \frac{1}{C_2 C_3 R_3 R_4}}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042

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

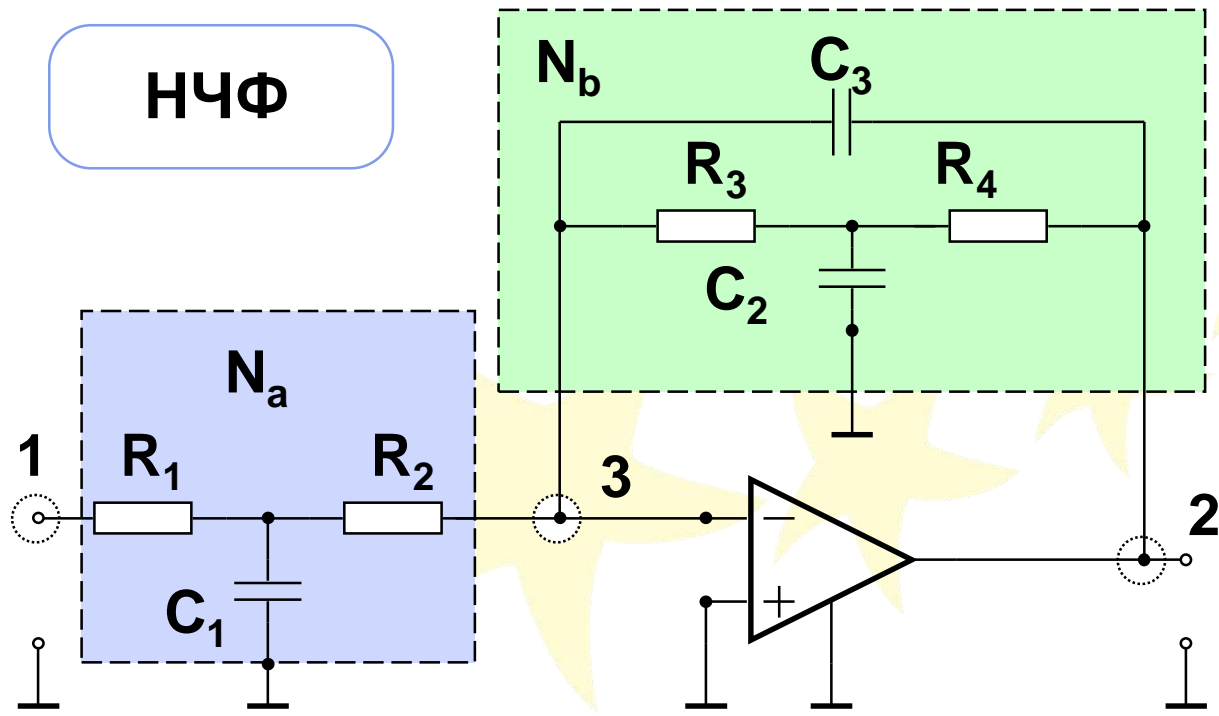
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Реализация на НЧ филтър от втори ред чрез схемата с ЕООВ0

НЧФ



Ако:

$$C_1 \cdot p = C_2 \cdot p$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$



$$T(p) = - \frac{1}{C_2 C_3 R_3 R_4} \cdot \frac{1}{p^2 + \left(\frac{1}{C_3 R_4} + \frac{1}{C_3 R_3} \right) p + \frac{1}{C_2 C_3 R_3 R_4}}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

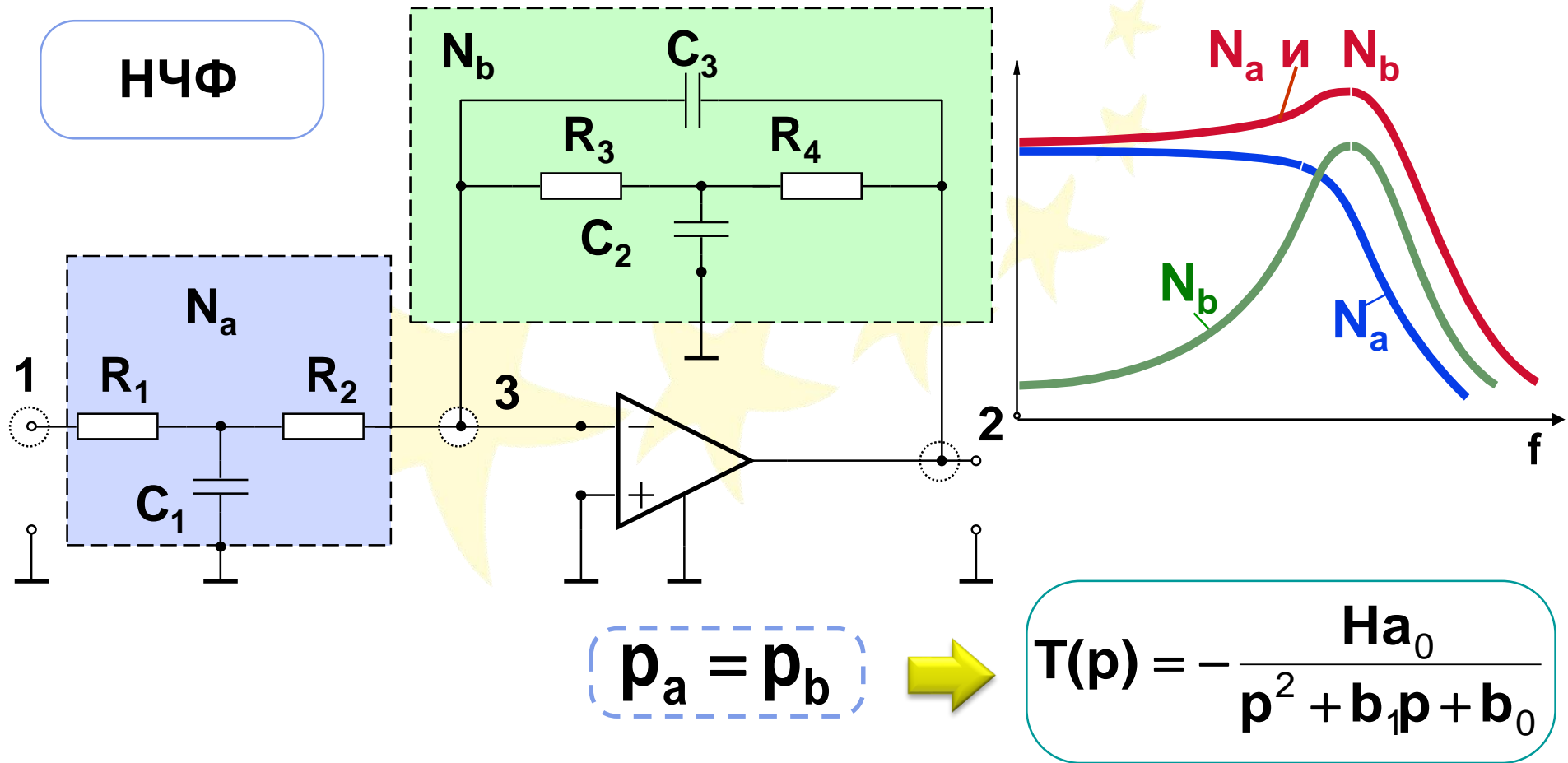
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Реализация на НЧ филтър от втори ред чрез схемата с ЕООВ0

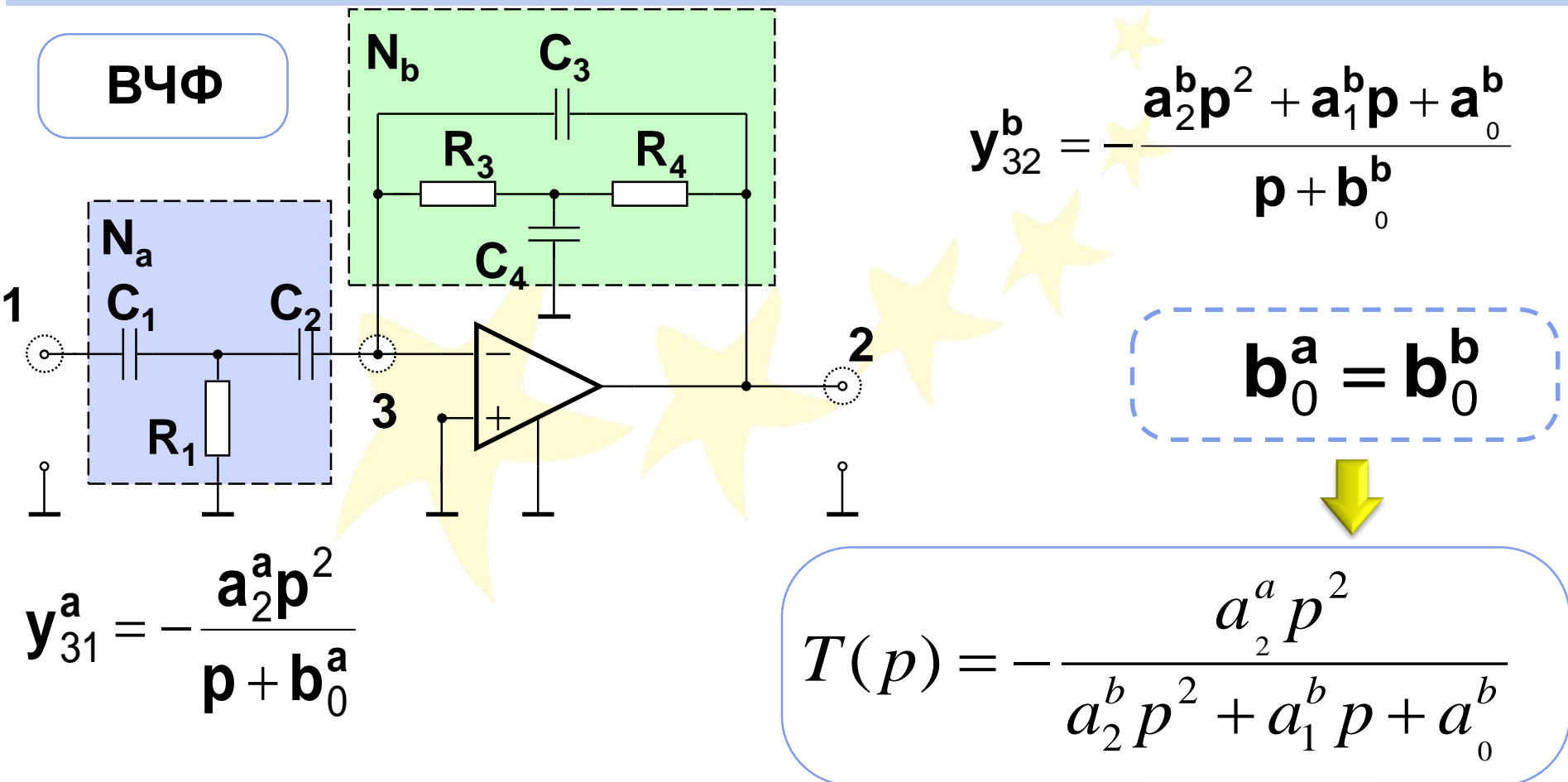


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”

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!



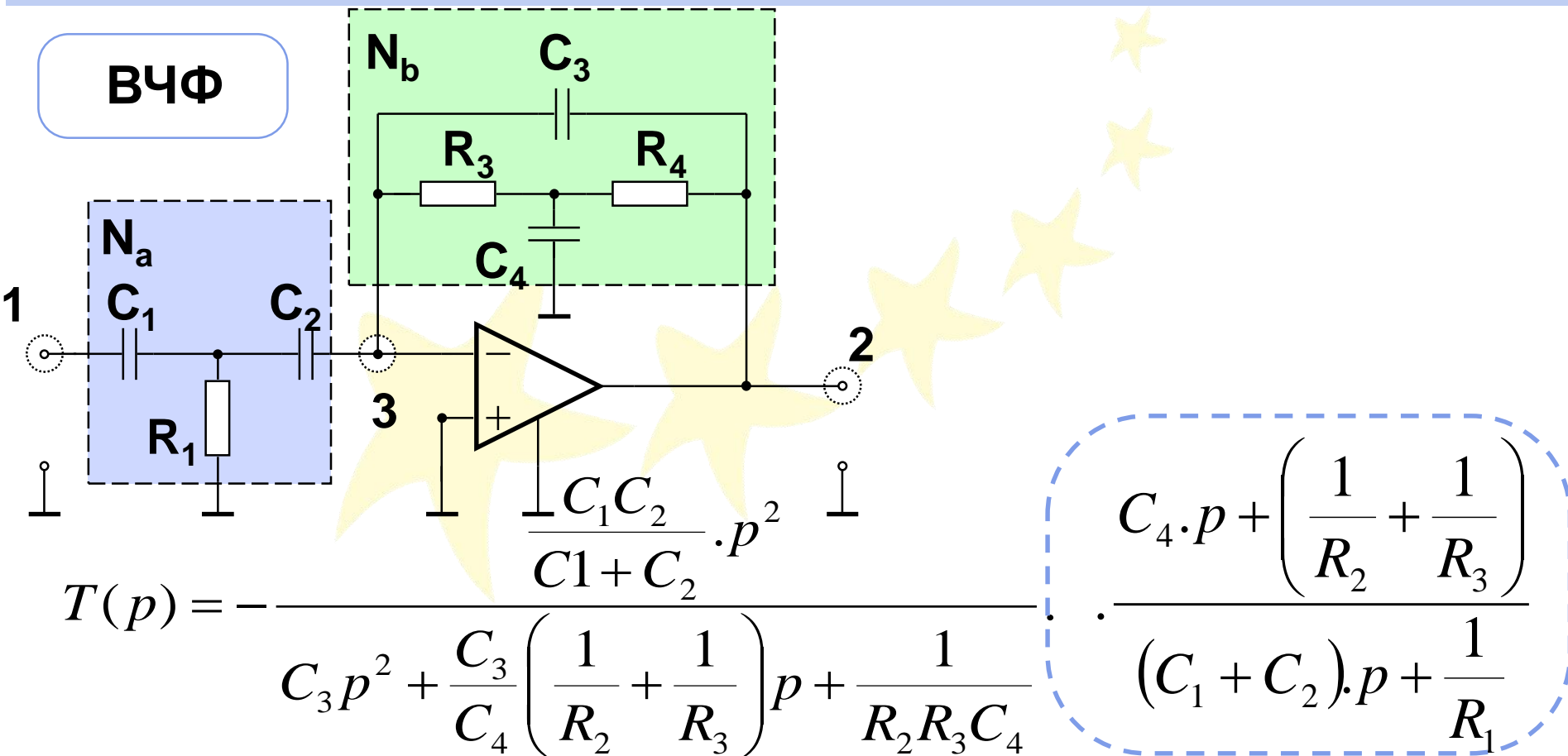
Реализация на ВЧ филтър от втори ред чрез схемата с ЕООВ



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!



Реализация на ВЧ филтър от втори ред чрез схемата с ЕООВ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

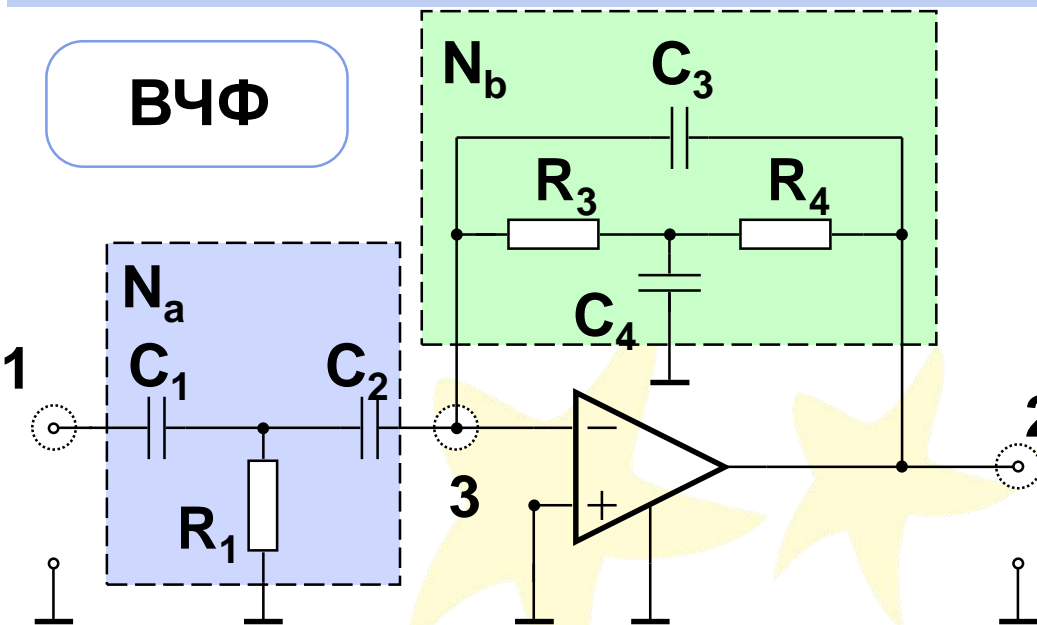
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Реализация на ВЧ филтър от втори ред чрез схемата с ЕООВ



ВЧФ

Ако:

$$(C_1 + C_2) \cdot p = C_4 \cdot p$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \cdot p^2$$



$$T(p) = \frac{\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \cdot p^2}{C_3 p^2 + \frac{C_3}{C_4} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) p + \frac{1}{R_2 R_3 C_4}}$$



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

Изводи за схемата с ЕООВ:

- Схемата с ЕООВ може да реализира НЧФ, ВЧФ, ЛФ и Зф при подходящ избор на РС-многополюсниците
- Многополюсникът **Na**, който е включен по пътя на входния сигнал, определя типа на предавателната характеристика
- Многополюсникът **Nb**, който е включен във веригата на ООВ, винаги е замостен РС-филтър и определя полюсите на предавателната характеристика



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!





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