

# Теория на електронните схеми

## Синтез на активни филтри: Каскадна реализация. Схеми с МООВ

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 Многоконтурна Отицателна Обратна Връзка (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!***



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”**

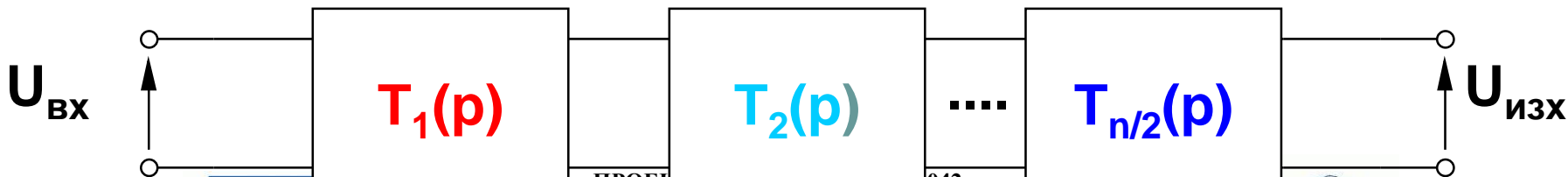
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
**Инвестира във вашето бъдеще!**



# 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

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



„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

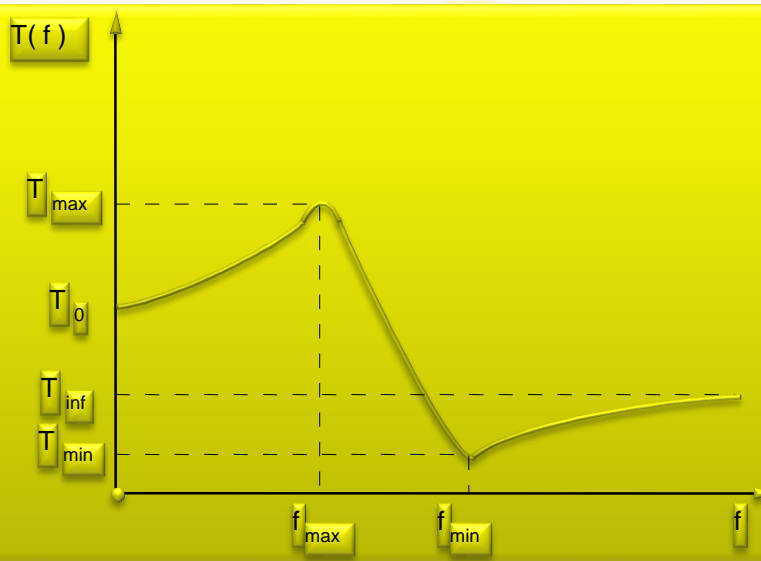
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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!*



Европейски социален фонд



# 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

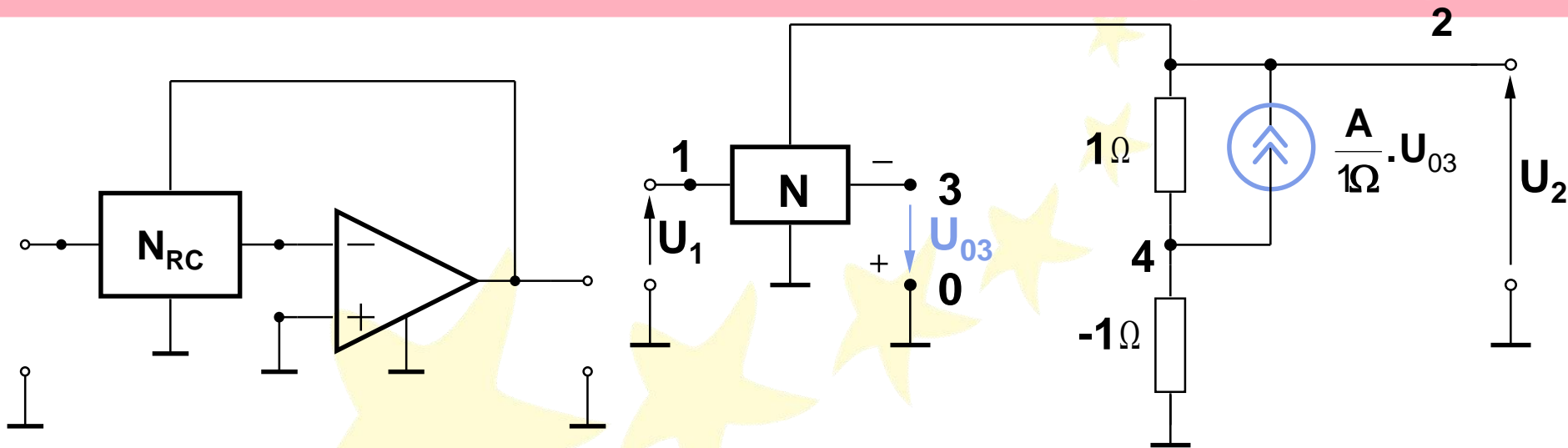
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„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!*



# Анализ и синтез на схеми с Многоконтурна Отрицателна Обратна Връзка (МООВ)



Проектирането на активни филтри с МООВ се свежда до проектирането на RC многополюсника.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

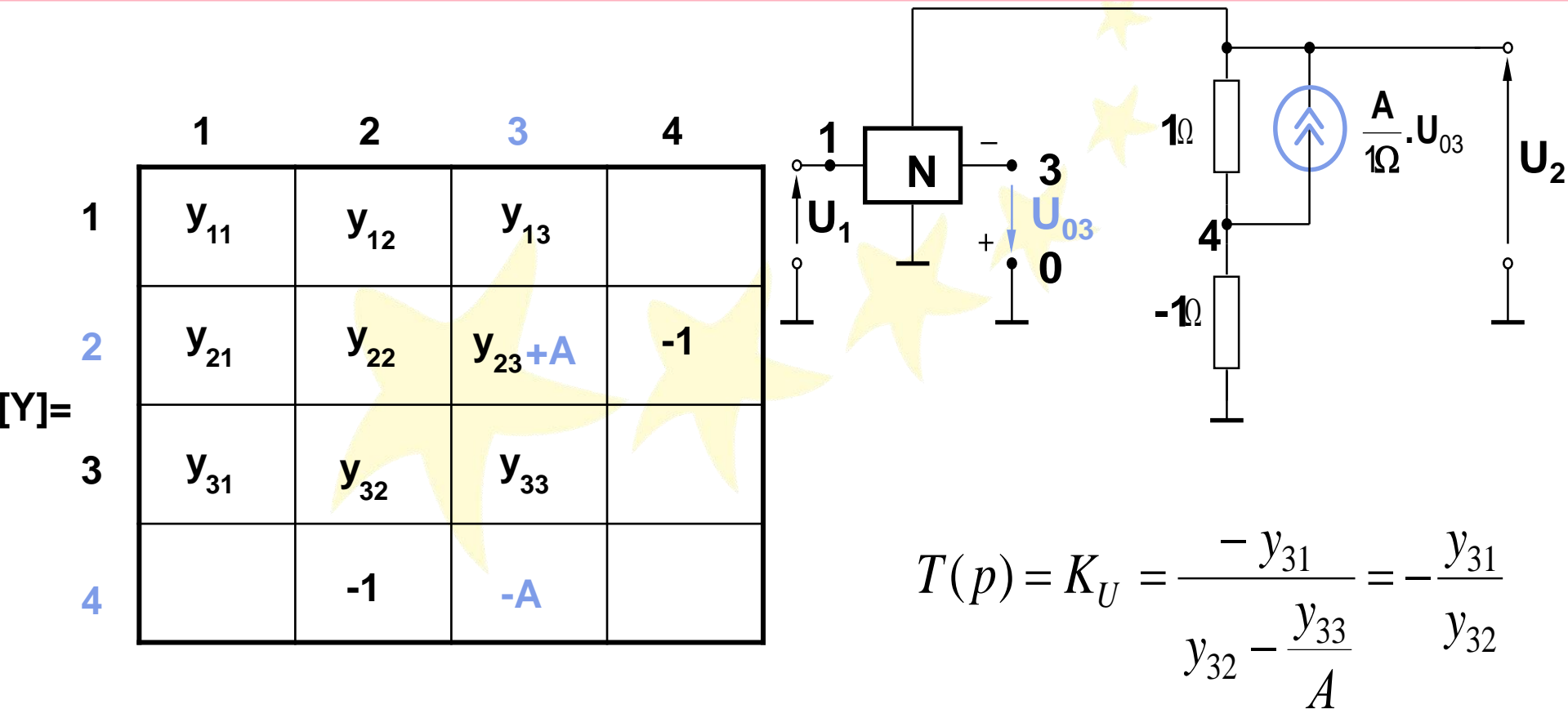
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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

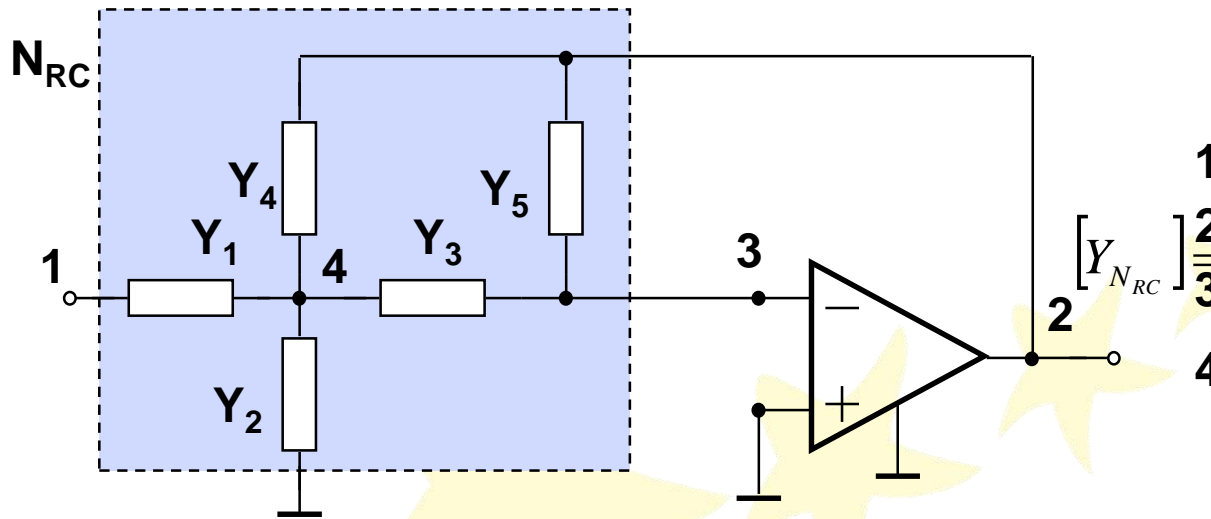
# Анализ и синтез на схеми с Многоконтурна Отрицателна Обратна Връзка (МООВ)



**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 МООВ



	1	2	3	4
1	$Y_1$	0	0	$-Y_1$
2	0	$Y_4 + Y_5$	$-Y_5$	$-Y_4$
3	0	$-Y_5$	$Y_3 + Y_5$	$-Y_3$
4	$-Y_1$	$-Y_4$	$-Y_3$	$\sum Y_i$

$$\sum_{i=1}^4 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4$$

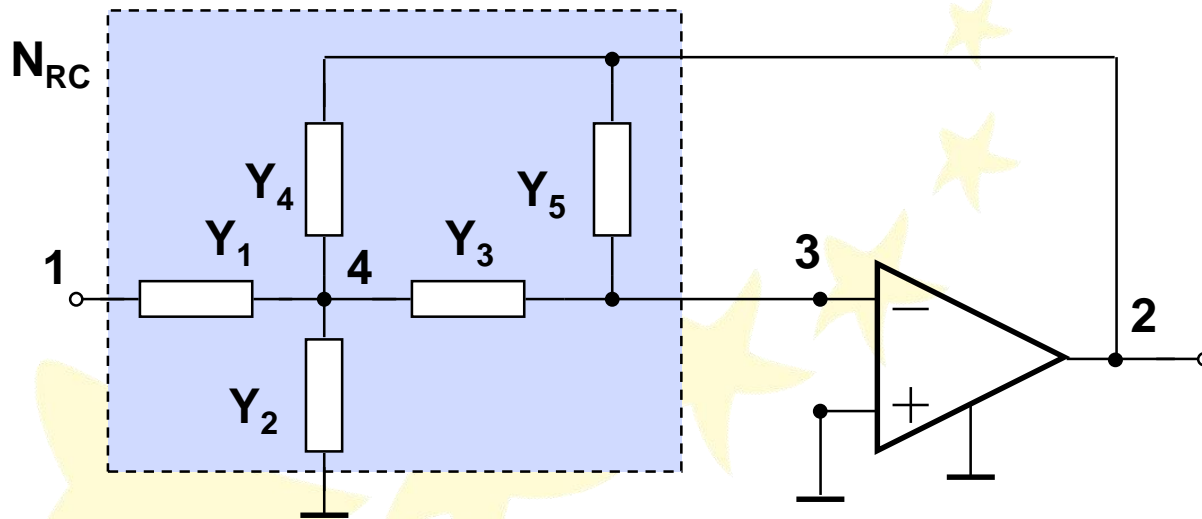
	1	2	3
1	$Y_1 - Y_1^2 / \sum Y_i$	$-Y_1 Y_4 / \sum Y_i$	$-Y_3 Y_1 / \sum Y_i$
2	$-Y_1 Y_4 / \sum Y_i$	$Y_1 + Y_5 - Y_4^2 / \sum Y_i$	$-Y_5 - Y_1 Y_4 / \sum Y_i$
3	$-Y_1 Y_3 / \sum Y_i$	$-Y_5 - Y_3 Y_4 / \sum Y_i$	$Y_3 + Y_5 - Y_3^2 / \sum Y_i$



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 МООВ



$$T(p) = -\frac{y_{31}(p)}{y_{32}(p)}$$

За да определим проводимостите  $y_{31}$   $y_{32}$  е необходимо да редуцираме в. 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

# Анализ и синтез на схеми с МООВ

$$T(p) = -\frac{y_{31}(p)}{y_{32}(p)}$$

$$y_{31} = -\frac{Y_1 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}$$

$$y_{32} = -\frac{Y_5(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 Y_4}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}$$

$$T(p) = K_U = -\frac{y_{31}}{y_{32}} = -\frac{Y_1 Y_3}{Y_5(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 Y_4}$$

$$Y_i \in \left( \frac{1}{R}, pC \right)$$



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



# Анализ и синтез на схеми с МООВ

$$T(p) = K_U = -\frac{y_{31}}{y_{32}} = -\frac{Y_1 Y_3}{Y_5 (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 Y_4}$$

Изразът за  $T(p)$  означава, че в зависимост от вида на елементите в многополюсника  $N$  (  $R$  или  $C$  ), схемата с МООВ може да реализира само полиномни предавателни функции от НЧ, ВЧ и лентов тип.



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

# Анализ и синтез на схеми с МООВ

Известни от  
апроксимацията са:

$\omega_p$  ,  $Q_p$  ,  $H$

$$T(p) = \frac{H\omega_p^2}{p^2 + p\left(\frac{\omega_p}{Q_p}\right) + \omega_p^2}$$

За да получим НЧ предавателна функция (с полином на Хурвиц в знаменателя и константа в числителя), избираме типа на елементите:



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

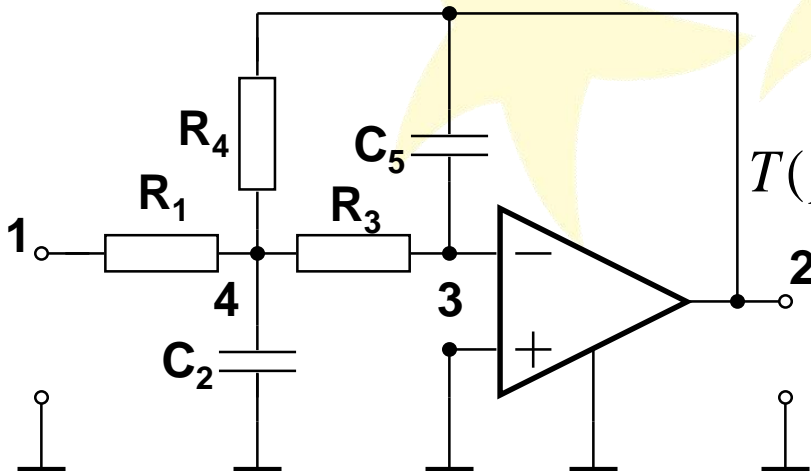
# Анализ и синтез на схеми с МООВ

Известни от  
апроксимацията са:

$\omega_p$  ,  $Q_p$  ,  $H$

$$T(p) = \frac{H\omega_p^2}{p^2 + p\left(\frac{\omega_p}{Q_p}\right) + \omega_p^2}$$

$$Y_1 = \frac{1}{R_1}; \quad Y_3 = \frac{1}{R_3}; \quad Y_4 = \frac{1}{R_2}; \quad Y_2 = pC_1; \quad Y_5 = pC_5$$



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



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

# Анализ и синтез на схеми с МООВ

Търсени параметри:

$R_1, R_3, R_4, C_2, C_5$

$$\omega_p^2 = \frac{1}{R_3 R_4 C_2 C_5}$$

$$\frac{1}{Q_p} = \frac{\left( \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_4 C_2} \right)}{\frac{1}{\sqrt{C_2 C_5 R_3 R_4}}}$$

$$|H\omega_p^2| = \frac{1}{R_1 R_3 C_2 C_5}$$

$$H = -\frac{R_4}{R_1}$$



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 НЧФ чрез схемата с МООВ – чувствителност на $\omega_p$ и $Q_p$

Определянето на функцията на относителната чувствителност на  $Q_p$  и  $\omega_p$  се прави чрез диференциране на съответните изрази от предавателната функция в символен вид спрямо параметрите  $R$  и  $C$  на схемните елементи:

$$S_{C_1}^{\omega_p} = S_{C_2}^{\omega_p} = S_{R_2}^{\omega_p} = S_{R_3}^{\omega_p} = -0,5$$

$$S_{C_1}^Q = 0,5 \quad S_{C_2}^Q = -0,5 \quad S_{R_1}^Q = Q(1/R_1)\sqrt{R_2 R_3 C_2 / C_1}$$

$$S_{R_2}^Q = -\frac{Q}{2} \left( \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{R_2 R_3 C_2}{C_1}} - \sqrt{\frac{R_3 C_2}{R_2 C_1}} + \sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_3 C_5}} \right)$$

$$S_{R_1}^H = -1$$

$$S_{R_3}^Q = -\frac{Q}{2} \left( \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{R_2 R_3 C_2}{C_1}} + \sqrt{\frac{R_3 C_2}{R_2 C_1}} - \sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_3 C_5}} \right)$$

$$S_{R_2}^H = 1$$



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

# МООВ: чувствителност на $\omega_p$ и $Q_p$

Оказва се, че функциите на чувствителността на честотата  $\omega_p$  към изменението на част от пасивните елементи има стойност 0, а към изменението на останалите е със стойност - 0,5. Това означава, че при изменение на съответния елемент с 2% граничната честота се променя с 1% и то в противоположна посока (знак “минус”).

Функциите на чувствителността на полюсния качествен фактор към пасивните елементи имат абсолютни стойности по - малки от единица, т. е.

$$\left| S_{R_1}^Q \right| < 1 \quad \left| S_{R_2}^Q \right| < 1 / 2 \quad \left| S_{R_3}^Q \right| < 1 / 2$$



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

# МООВ: чувствителност на $\omega_p$ и $Q_p$

Функциите на чувствителността на полюсния качествен фактор към пасивните елементи имат абсолютни стойности по - малки от единица, т. е.

$$\left| S_{R_1}^Q \right| < 1 \quad \left| S_{R_2}^Q \right| < 1/2 \quad \left| S_{R_3}^Q \right| < 1/2$$

От тези резултати следва, че едно от основните предимства на филтрите с МООВ, се състои в много ниската чувствителност на  $Q_p$  и  $\omega_p$  от изменението на пасивните елементи.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

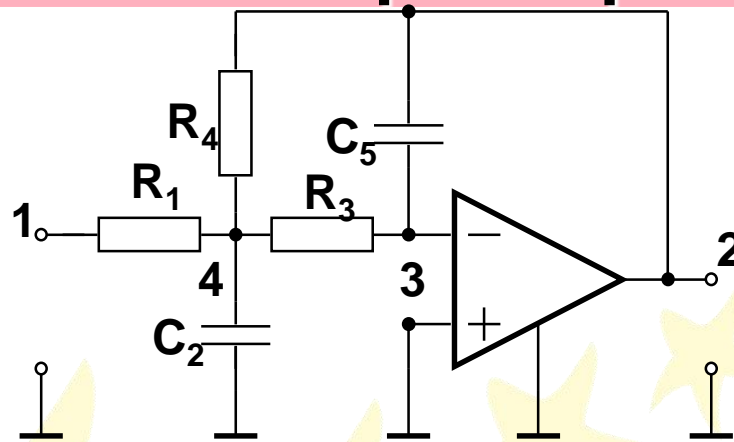
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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

# Анализ на физическите процеси в схемата на НЧ филтър с МООВ



Действието на схемата като нискочестотен филтър е следното.

- При честоти много по - малки от граничната честота  $f_p$ , капацитивните съпротивления на  $C_2$  и  $C_5$  са много по - големи от съпротивленията на резисторите  $R_3$ ,  $R_1$  и  $R_4$ .
- Резисторът  $R_3$  е последователно свързан на високоомния вход на ОУ и практически не оказва влияние върху работата на схемата.
- Резисторите  $R_4$  и  $R_1$  заедно с ОУ образуват схема на инвертиращ усилвател, в която усилването по напрежение е  $H=GAIN= - R_4/R_1$ .
- При честоти, близки, но по - малки от граничната честота  $f_p$ , съпротивлението на  $C_2$  става съизмеримо със съпротивлението на  $R_4$  и дълбочината на ООВ от веригата  $R_4 - C_2$  намалява, поради което изходното напрежение се стреми да нарасне.
- Същевременно намалява съпротивлението на  $C_5$ , с което дълбочината на втората ООВ ( от веригата  $C_5 - R_3$ ) се увеличава и обуславя стремеж към намаляване на изходното напрежение.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

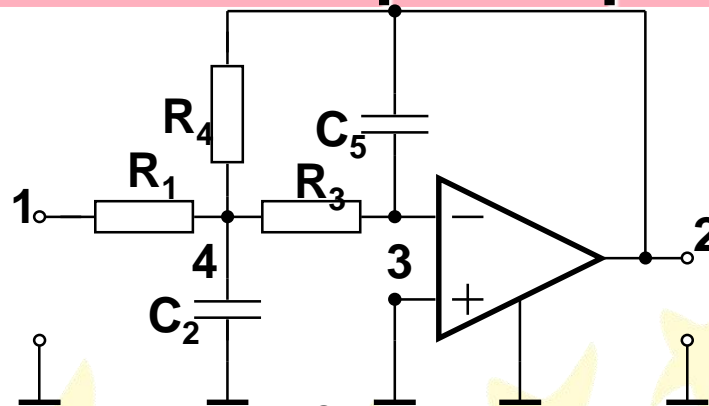
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд



# Анализ на физическите процеси в схемата на НЧ филтър с МООВ



- Капацитетът  $C_5$  обикновено е по - малък от  $C_2$ . В резултат на това, при честоти много по - малки от граничната, двете влияния взаимно се компенсират и изходното напрежение остава постоянно вместо да намалява, както би било при липса на  $C_2$ .
- Когато честотата стане по - голяма или равна на граничната честота, започва преобладаващото влияние на  $C_5$ . Следователно, намаляването на коефициента на предаване, определено от  $C_5$ , е по - голямо от увеличаването му поради  $C_2$ .
- Съвместното действие на двете ООВ предизвиква по - бързо намаляване на коефициента на предаване, т. е. увеличаване на стръмността в преходната област.
- За честоти малко преди граничната  $f_p$ , влиянието на  $C_2$  е по - силно от влиянието на  $C_5$ . В този случай се получава прекомпенсация на намаляването на коефициента на предаване и в АЧХ в лентата на пропускане се наблюдава отскок.
- Отскокът в АЧХ зависи от отношението  $C_1/C_2$ . Появата на отскок влошава плоския характер на АЧХ в лентата на пропускане, но води до увеличаване на стръмността на АЧХ в преходната област.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

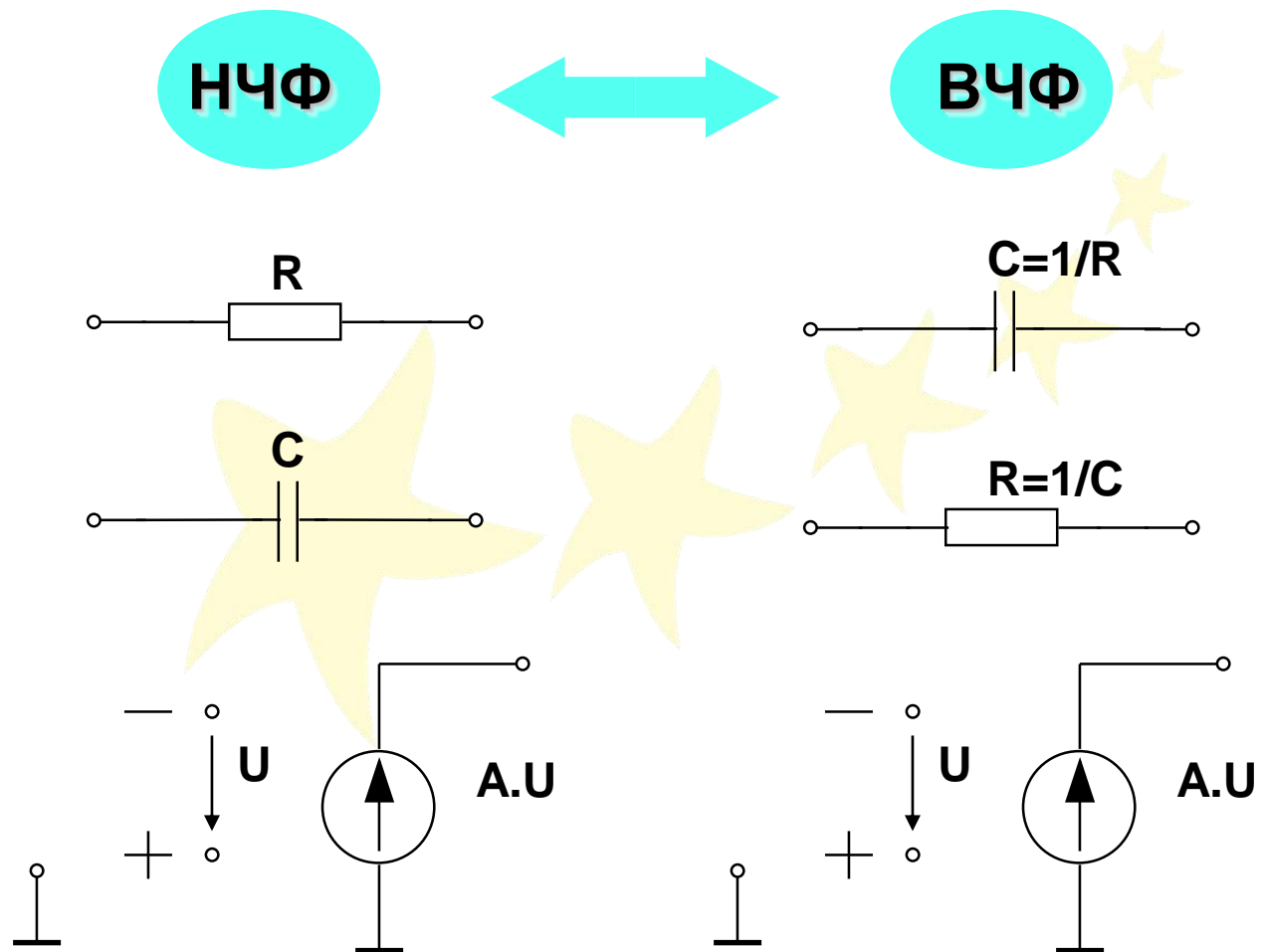
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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 ВЧФ чрез схемата с МООВ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

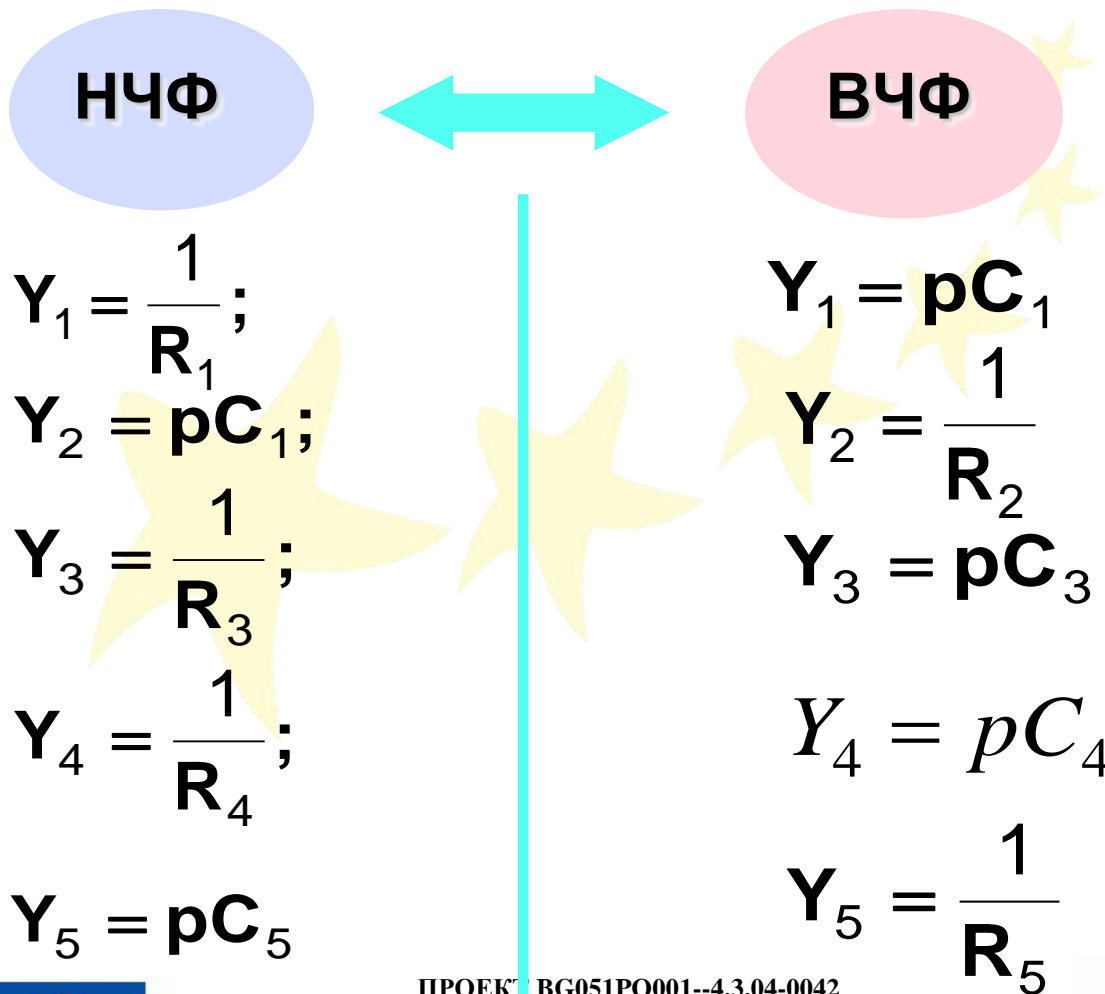
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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!*



Европейски социален фонд

# Реализация на ВЧФ чрез схемата с МООВ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

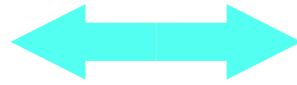
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



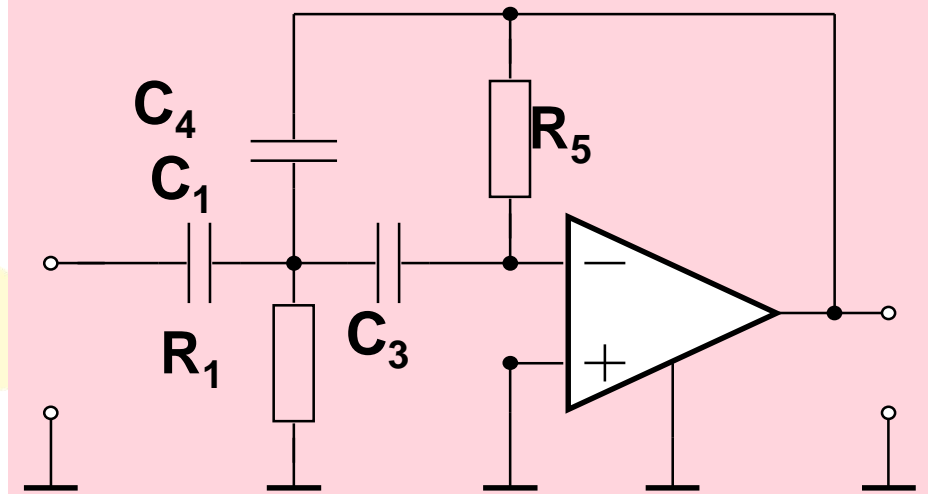
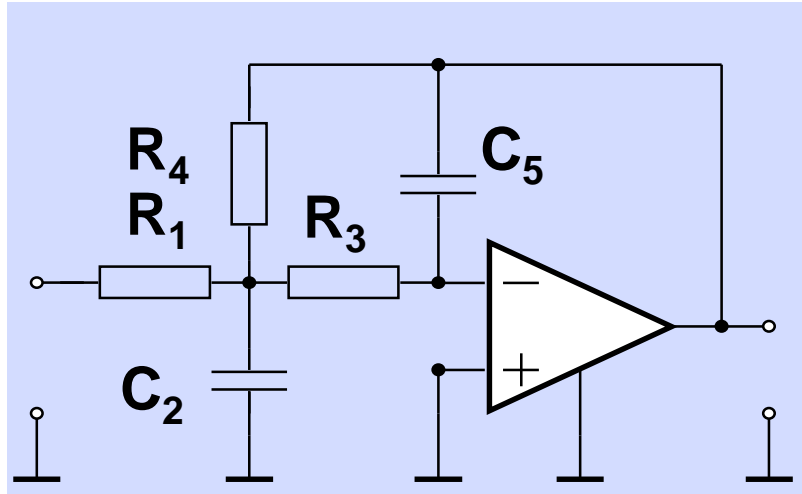
Европейски социален фонд

# Реализация на ВЧФ чрез схемата с МООВ

НЧФ



ВЧФ



$$T(p) = \frac{\frac{C_1}{C_4} p^2}{p^2 + p \left( \frac{C_1}{R_5 C_3 C_4} + \frac{1}{R_5 C_4} + \frac{1}{R_5 C_3} \right) + \frac{1}{R_2 R_5 C_3 C_4}}$$



Европейски съюз

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

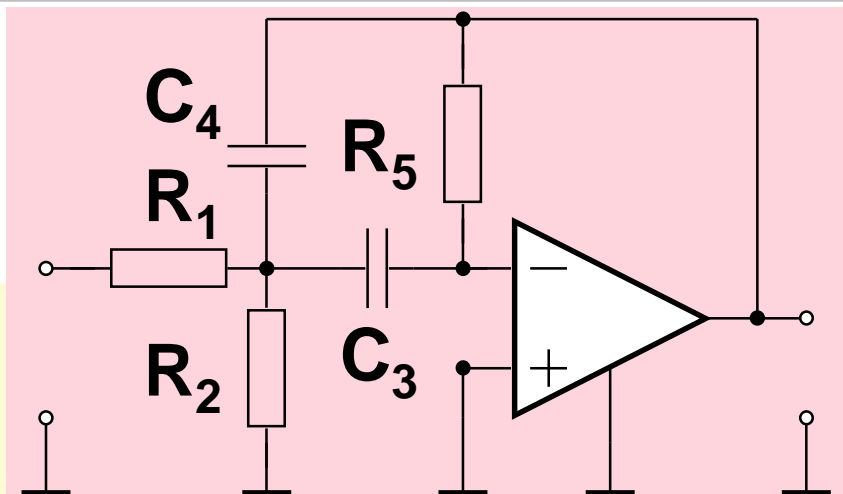
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

# Реализация на ЛФ чрез схемата с МООВ – Схема 1

$$Y_1 = \frac{1}{R_1} \quad Y_2 = \frac{1}{R_2} \quad Y_3 = pC_3 \quad Y_4 = pC_4$$



$$T(p) = K_U = - \frac{p \frac{1}{R_1 C_4}}{p^2 + p \left( \frac{1}{R_5 C_4} + \frac{1}{R_5 C_3} \right) + \frac{1}{R_1 R_5 C_3 C_4} + \frac{1}{R_2 R_5 C_3 C_4}}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG0511/0001/4.3.04/0042  
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през  
целия живот и развитие на компетенции”

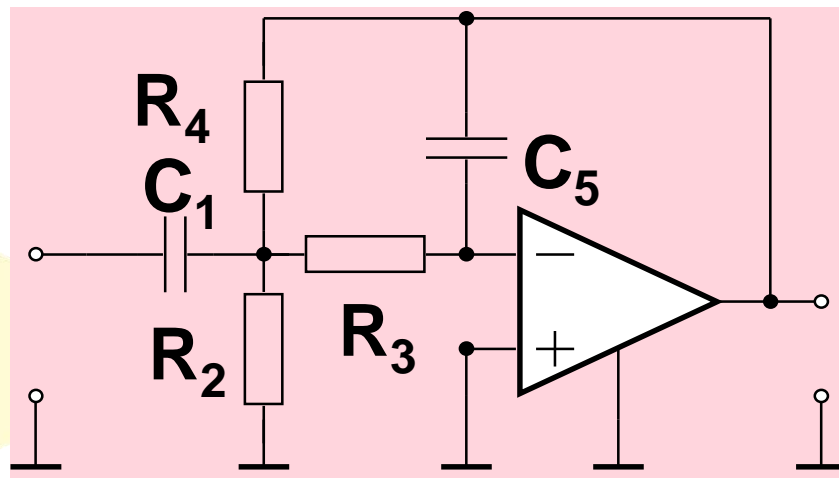
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

# Реализация на ЛФ чрез схемата с МООВ – Схема 2

$$Y_1 = pC_1 \quad Y_2 = \frac{1}{R_2} \quad Y_3 = \frac{1}{R_3} \quad Y_5 = pC_5 \quad Y_4 = \frac{1}{R_4}$$



$$T(p) = - \frac{\frac{1}{R_3 C_5} p}{p^2 + p \left( \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_4 C_1} \right) + \frac{1}{R_2 R_4 C_1 C_5}}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG0511/0001/4.3.04/0042  
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през  
целия живот и развитие на компетенции”

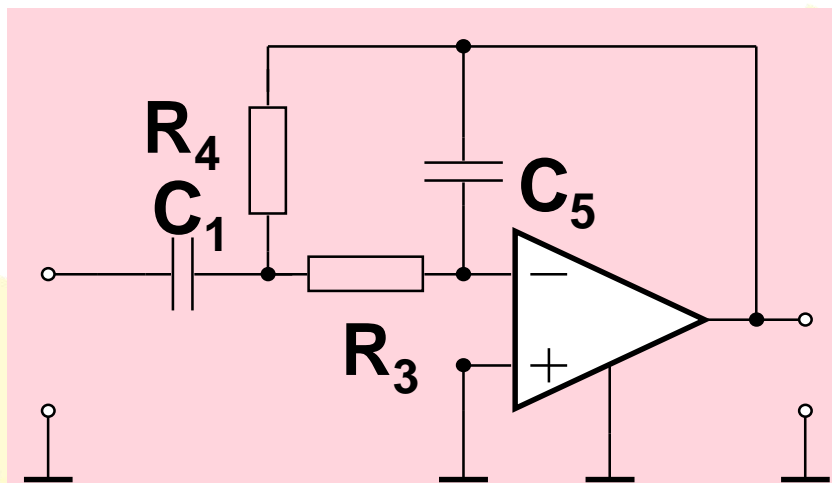
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

# Реализация на ЛФ чрез схемата с МООВ – Схема 3

$$Y_1 = pC_1 \quad Y_2 = 0 \quad Y_3 = \frac{1}{R_3} \quad Y_4 = \frac{1}{R_4} \quad Y_5 = pC_5$$



$$T(p) = - \frac{\frac{1}{R_3 C_5} p}{p^2 + p \left( \frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_4 C_1} \right) + \frac{1}{R_3 R_4 C_1 C_5}}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG05IF0001-4.5.04-0042  
„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

# Анализ на лентовото звено на Делиянис с МООВ

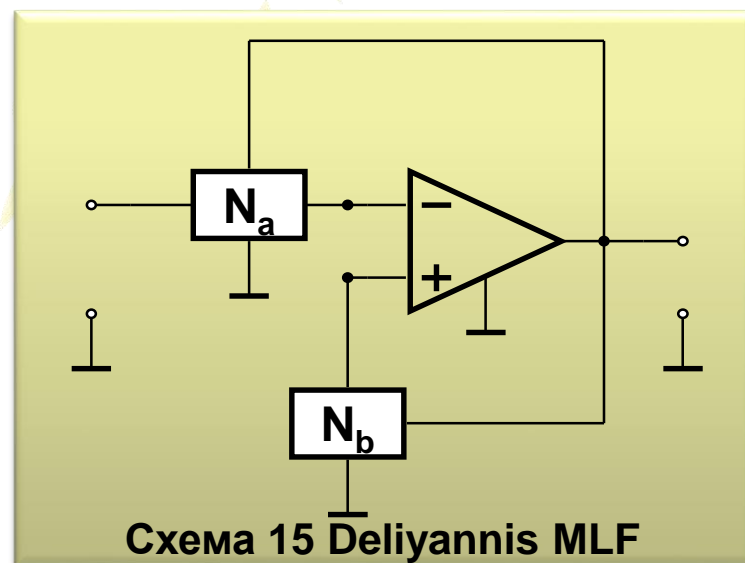
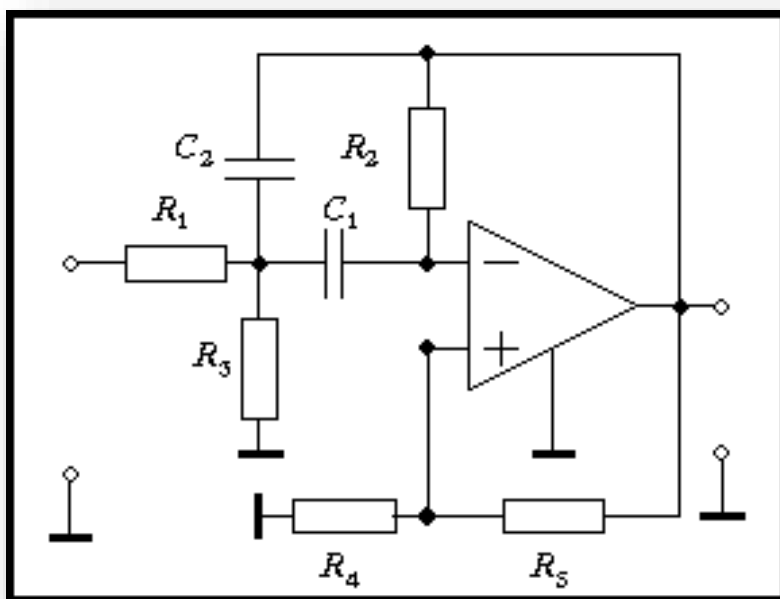


Схема 15 Deliyannis MLF



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

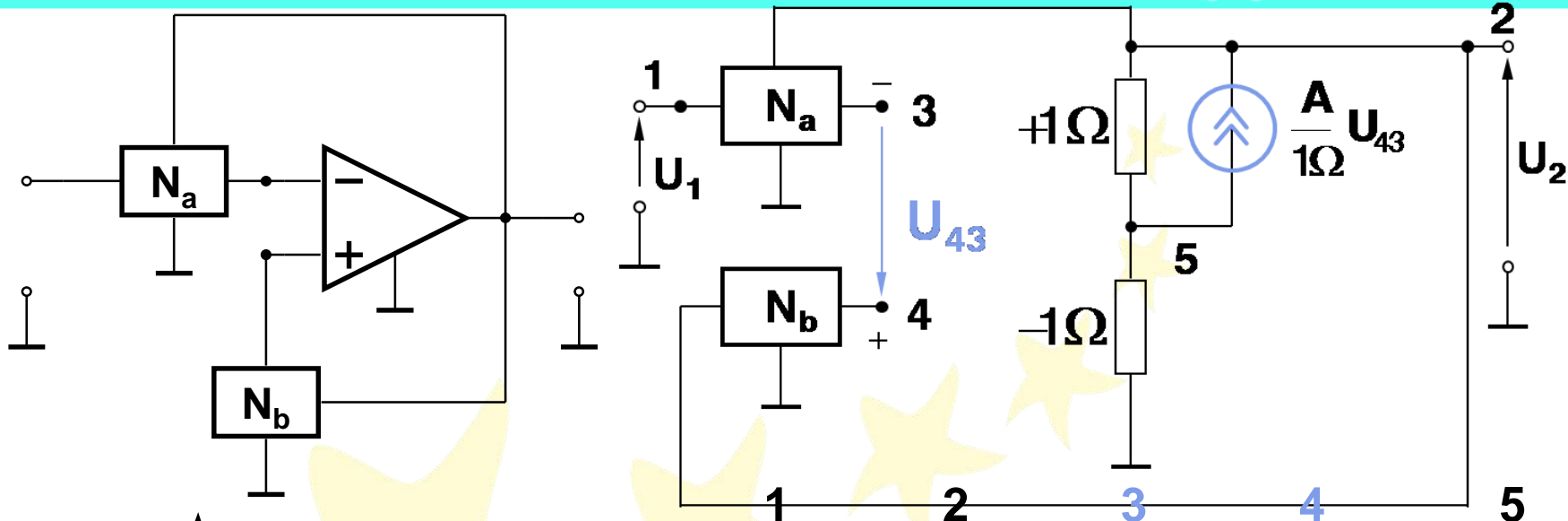
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд



# Анализ на лентовото звено на Дилянис



$$T(p) = K_U = \frac{\Delta_{12}}{\Delta_{11}} = - \frac{y_{31a}}{y_{32a} - \frac{y_{42b} y_{33a}}{y_{44b}}}$$

$$[Y] = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix}$$

1	$y_{11a}$	$y_{12a}$	$y_{13a}$		
2	$y_{21a}$	$y_{22a} + 1$	$y_{23a} + A$	$y_{24b} - A$	-1
3	$y_{31a}$	$y_{32a}$	$y_{33a}$		
4		$y_{42b}$		$y_{44b}$	
5		-1	-A	+A	



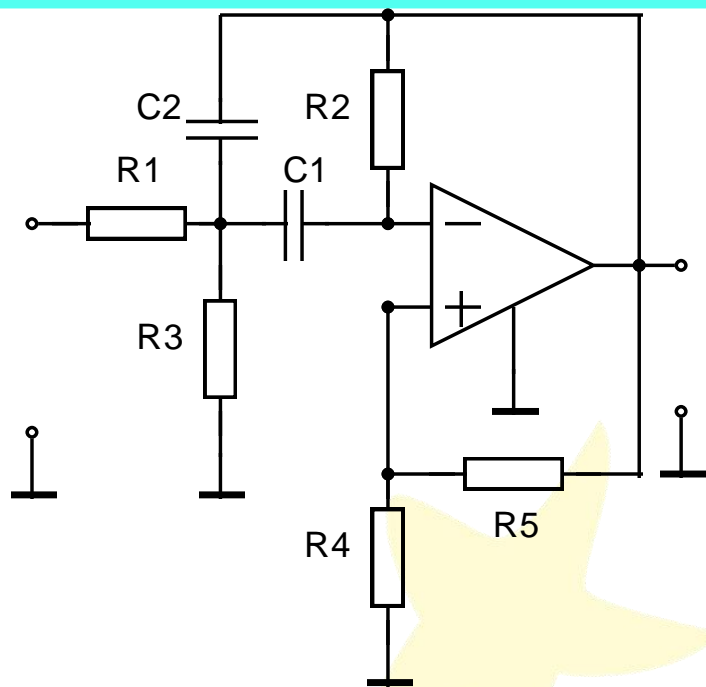
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!*



# Анализ на лентовото звено на Дилянис



$$T(p) = K_U = \frac{\Delta_{12}}{\Delta_{11}} = - \frac{y_{31a}}{y_{32a} - \frac{y_{42b} y_{33a}}{y_{44b}}}$$

Проводимостите на RC-многополюсника Na се определят след редуциране на вътрешния му възел. Тогава за  $T(p)$  следва:

$$p \frac{1}{R_1 C_1} \left( \frac{R_4}{R_5} + 1 \right)$$

$$T(p) = K_U = - \frac{R_{13}}{p^2 + p \left( \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{1}{R_{13} C_1} \cdot \frac{R_4}{R_5} \right) + \frac{1}{R_{13} R_2 C_1 C_2}}$$

$$R_{13} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}$$



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 схемите на АФ с МООВ:

- В зависимост от вида на елементите в многополюсника  $N$  (  $R$  или  $C$  ), схемата с МООВ е възможно да реализира трите основни типа звена - носкочестотно, високочестотно и лентово.
- Предавателната функция по напрежение е без комплексни нули.
- Полусният качествен фактор на лентовото звено на Делиянис зависи от отношението  $R4/R5$  . Това означава, че той може да се променя независимо от промяната на полюсната честота. Повишаването на  $Q$ , което се постига с тази схема, става за сметка на увеличената чувствителност към пасивните елементи на схемата.



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](mailto: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