

# Теория на електронните схеми

## Анализ на електронни схеми: Възлово уравнение. Съставяне на матрици на схеми със зависими източници

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!*



# Съдържание

- Образователни цели
- Уравнение на напреженията на сеченията (възлово уравнение)
- Метод на възловите напрежения. Съставяне на матрици на схеми със зависими източници
- Пример



**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 електронни схеми

Решение на възловото уравнение

Математически модел на схемата –  
*Възлово уравнение*

Топологични матрици и уравнения

Компонентни матрици и уравнения

Еквивалентна схема

**1** брой клони  
**у** брой сечения  
**v = у + 1** брой възли

$$[U] = [Y]^{-1}[J]$$

$$[J] = [Y].[U]$$

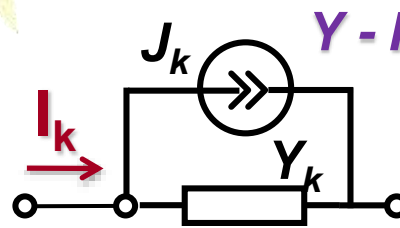
$u \times 1 \quad u \times u \quad u \times 1$

$$[\Pi] [I_k] = [0]$$

$u \times l \quad l \times 1 \quad u \times 1$

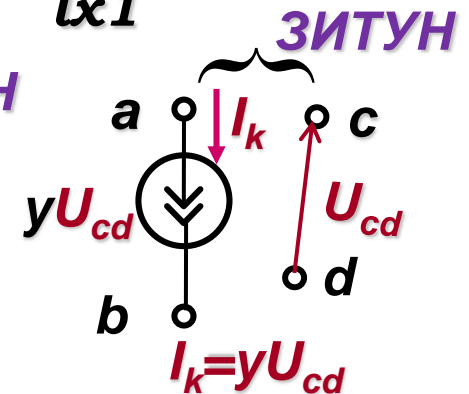
$$[I_k] = [Y_k] [U_k] + [J_k]$$

$l \times 1 \quad l \times l \quad l \times 1 \quad l \times 1$



$$I_k = Y_k U_k + J_k$$

Y - КЛОН



ЗИТУН



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 обяснявате получаването на възловото уравнение и неговото решение
- Практически да прилагате правилата за съставяне на матриците на проводимостите на схеми със зависими източници на ток, управлявани от напрежение



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!*



Математическият модел на схемата в координатната система на независимите възлови напрежения се получава като се обединят в едно компонентното уравнение  $[I_k]=[Y_k][U_k]+[J_k]$  и първото топологично уравнение  $[П][I_k]=[0]$

## ВЪЗЛОВО УРАВНЕНИЕ



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!*



# Възлово уравнение

- Когато схемата има само у-клони и ЗИТУН, за независими променливи служат напреженията на сеченията, т.е. напреженията на клоните на дървото
- Възловото уравнение се получава от обединението на:
  - информацията за схемните компоненти (т.е. компонентното уравнение  $[I_k]=[Y_k][U_k]+[J_k]$ ) и
  - информацията за топологията на схемата (т.е. първото топологично уравнение  $[П][I_k]=[0]$ )



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!*



# Възлово уравнение

- За целта компонентното уравнение се умножава *отляво* на матрицата на сеченията  $[П]$  и се взима под внимание първото топологично уравнение:

$$\begin{matrix} [I_k] & = & [Y_k][U_k] & + & [J_k] & & | & [П] \\ 1 \times 1 & & 1 \times 1 & & 1 \times 1 & & & \nu \times 1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} [П][I_k] & = & [П][Y_k][U_k] & + & [П][J_k] \\ \nu \times 1 & 1 \times 1 & \nu \times 1 & 1 \times 1 & 1 \times 1 & \nu \times 1 & 1 \times 1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} [П][I_k] & = & [0] \\ \nu \times 1 & 1 \times 1 & \nu \times 1 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} [U_k] & = & [П]^t [U] \\ 1 \times 1 & 1 \times \nu & \nu \times 1 \end{matrix}$$



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

# Възлово уравнение

$$\begin{matrix}
 [\Pi][U_k] = [\Pi][Y_k][U_k] + [\Pi][J_k] \\
 \nu \times 1 \quad l \times 1 \quad \nu \times 1 \quad l \times 1 \quad l \times 1 \quad \nu \times 1 \quad l \times 1
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 [\Pi][U_k] = [0] \\
 \nu \times 1 \quad l \times 1 \quad \nu \times 1
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 [U_k] = [\Pi]^t [U] \\
 l \times 1 \quad l \times \nu \quad \nu \times 1
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 -[\Pi][J_k] = [J] \\
 \nu \times 1 \quad l \times 1 \quad \nu \times 1
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 [0] = [\Pi][Y_k][\Pi]^t [U] - [J] \\
 \nu \times 1 \quad \nu \times 1 \quad l \times 1 \quad l \times \nu \quad \nu \times 1 \quad \nu \times 1
 \end{matrix}$$

$$[Y] = [\Pi][Y_k][\Pi]^t$$

$$\begin{matrix}
 [J] = [Y] \cdot [U] \\
 \nu \times 1 \quad \nu \times \nu \quad \nu \times 1
 \end{matrix}$$



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



# Възлово уравнение

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

$n \times 1$        $n \times n$        $n \times 1$

- При канонична форма на сеченията, векторът на напреженията на сеченията  $[U]$  е тъждествено равен на вектора на напреженията на възлите спрямо един базисен възел
- В този случай уравнението  $[J]=[Y][U]$  става уравнение на напреженията на възлите на схемата и се нарича възлово уравнение, а векторът  $[U]$  – вектор на възловите напрежения



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

# Възлово уравнение

$$\begin{matrix} [J] & = & [Y] \cdot [U] \\ \nu \times 1 & & \nu \times \nu \quad \nu \times 1 \end{matrix}$$

- Матрицата на проводимостите  $[Y]$  и векторът на задаващите токове  $[J]$  са известните при анализа матрично-векторни параметри на схемата, а векторът  $[U]$  – е неизвестен.
- $[Y]$  и  $[J]$  имат най-прост вид при избор на канонична форма на сеченията, с която най-често се работи на практика



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



# МЕТОД НА ВЪЗЛОВИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ



**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!*



# Метод на възловите напрежения за анализ на електронни схеми

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

$n \times 1$        $n \times n$        $n \times 1$

- При анализа на електронни схеми най-напред се съставят матрично-векторните параметри на схемата  $[Y]$  и  $[J]$ , след което се решава уравнението  $[J]=[Y][U]$  по отношение на неизвестния вектор на възловите напрежения  $[U]$
- В скаларен вид това означава да се реши система линейни алгебрични уравнения, за което са разработени редица методи, отличаващи се с различна ефективност и обем изчислителна работа



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

# Метод на възловите напрежения за анализ на електронни схеми

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

$n \times 1$        $n \times n$        $n \times 1$

- Поради формалната простота на записа, тук се използва методът с обратната матрица
- За целта, двете страни на възловото уравнение  $[J]=[Y][U]$  се умножават отляво с обратната матрица  $[Y]^{-1}$ :

$$[J]=[Y][U] \quad | \quad [Y]^{-1}$$

$$[Y]^{-1}[J] = [Y]^{-1}[Y][U]$$

$$[Y]^{-1}[J] = [1][U]$$



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

# Метод на възловите напрежения за анализ на електронни схеми

- Тъй като  $[Y]^{-1}[Y] = [1]$ , а умножаването на вектора  $[U]$  с единичната матрица не го променя, се получава:

$$[Y]^{-1}[J] = [1][U] \quad \longrightarrow \quad [U] = [Y]^{-1}[J]$$

- В развит вид уравнението за вектора на възловите напрежения  $[U]$  е:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_y \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{y1} \\ \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{y2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{1y} & \Delta_{2y} & \dots & \Delta_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \dots \\ J_y \end{bmatrix}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

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



# Метод на възловите напрежения за анализ на електронни схеми

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_n \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{n1} \\ \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{1n} & \Delta_{2n} & \dots & \Delta_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \dots \\ J_n \end{bmatrix}$$

- Където:

$$\Delta = \det$$

$Y_{11}$	$Y_{12}$	.....	$Y_{1n}$
$Y_{21}$	$Y_{22}$	.....	$Y_{2n}$
.....	.....	.....	.....
$Y_{n1}$	$Y_{n2}$	.....	$Y_{nn}$

Детерминанта  
на матрицата  
[Y]



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

# Метод на възловите напрежения за анализ на електронни схеми

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_n \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{n1} \\ \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{1n} & \Delta_{2n} & \dots & \Delta_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \dots \\ J_n \end{bmatrix}$$

- Където:

$\Delta_{ij}$  е адюнгирано количество на елемента  $Y_{ij}$

$$\Delta_{ij} = (-1)^{i+j} M_{ij}$$

$M_{ij}$  - минор, получен от зачертаването на ред  $i$  и стълб  $j$  на матрицата  $[Y]$



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



# Метод на възловите напрежения за анализ на електронни схеми

$$\begin{array}{|c|} \hline U_1 \\ \hline U_2 \\ \hline \dots \\ \hline U_y \\ \hline \end{array} = \frac{1}{\Delta} \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{y1} \\ \hline \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{y2} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline \Delta_{1y} & \Delta_{2y} & \dots & \Delta_{yy} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline J_1 \\ \hline J_2 \\ \hline \dots \\ \hline J_y \\ \hline \end{array}$$

- На това матрично уравнение съответства система от  $y$  броя скалярни уравнения за възловите напрежения

$$U_i = \frac{1}{\Delta} (\Delta_{1i} J_1 + \Delta_{2i} J_2 + \dots + \Delta_{yi} J_y)$$

$$U_i = \frac{1}{\Delta} \sum_{s=1,2..y} \Delta_{si} J_s$$



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



# МАТРИЧНО-ВЕКТОРНИ ПАРАМЕТРИ



**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!*



# Матрично-векторни параметри

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

**[J]** – вектор-стълб на независимите задаващи токове в схемата с размер равен на броя независими сечения ( $y \times 1$ )

**[Y]** – квадратна матрица на проводимостите на схемата с размер равен на броя независими сечения ( $y \times y$ )

**[U]** – вектор-стълб на независимите възлови потенциали в схемата с размер равен на броя независими сечения ( $y \times 1$ )



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

# Матрично-векторни параметри

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

$n \times 1$        $n \times n$        $n \times 1$

- За практическото използване на метода на възловите напрежения е полезно да се познават някои свойства на матрично-векторните параметри  $[J]$  и  $[Y]$  и правилата за тяхното съставяне, които следват от начина, по който те са получени



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!*



# Вектор на задаващите токове

$$-[P][J_k]=[J]$$

$\nu \times 1 \quad 1 \times 1 \quad \nu \times 1$

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

$\nu \times 1 \quad \nu \times \nu \quad \nu \times 1$

- Векторът на задаващите токове на схемата  $[J]$  е  $U$  – мерен вектор-стълб, чийто елементи са линейна комбинация на задаващите токове в клоните

$$[J] = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ \nu \end{matrix} \begin{matrix} J_1 \\ J_2 \\ \dots \\ J_\nu \end{matrix}$$



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!*



# Вектор на задаващите токове

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

$$\nu \times 1 \quad \nu \times \nu \quad \nu \times 1$$

- За вектора на задаващите токове  $[J]$ , който се дефинира от произведението на топологичната матрица и вектора на задаващите токове в клоните

$$[J] = -[\Pi][J_k]$$

$$\nu \times 1 \quad \nu \times 1 \quad 1 \times 1$$

следва:

- Всеки елемент  $J_i$  е равен на алгебричната сума на задаващите токове в клоните, принадлежащи към сечение (възел)  $i$
- При съвпадение на посоката на задаващия ток в клоната и посоката на сечението, знакът е положителен, а при несъвпадение - знакът е отрицателен



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

# Матрица на проводимостите

$$[Y] = [N][Y_k][N]^t$$

$n \times n$     $n \times 1$     $1 \times 1$     $1 \times n$

$$[J] = [Y] \cdot [U]$$

$n \times 1$     $n \times n$     $n \times 1$

- Матрицата на проводимостите на схемата  $[Y]$  е квадратна, с размери  $n \times n$  и елементи, които представляват линейна комбинация на проводимостите на клоните
- Матрицата  $[Y]$  обединява информацията за параметрите на схемните елементи и за топологията на схемата (взаимната връзка между клони и сечения)



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

# Матрица на проводимостите

- Елементът  $Y_{ii}$ , разположен по главния диагонал, е равен на сумата от проводимостите на  $u$ -клоните, които принадлежат на сечение(възел)  $i$
- Проводимостта  $Y_{ij}$  се нарича собствена проводимост на сечение  $i$  и има положителен знак

$[Y] =$

	1	2	$i$	$j$	$u$
1	$+Y_{11}$	$-Y_{12}$	$-Y_{1i}$	$-Y_{1j}$	$-Y_{1u}$
2	$-Y_{21}$	$+Y_{22}$	$-Y_{2i}$	$-Y_{2j}$	$-Y_{2u}$
$i$	...		$+Y_{ii}$	$-Y_{ij}$	...
$j$			$-Y_{ji}$	$+Y_{jj}$	
$u$	$-Y_{u1}$	$-Y_{u2}$	$-Y_{ui}$	$-Y_{uj}$	$+Y_{uu}$



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!*





# Матрица на проводимостите

- Елементът  $Y_{ij}$ , разположен на мястото на пресичане на ред  $i$  и стълб  $j$ , е равен на сумата от проводимостите на  $u$ -клоните, които са общи за сеченията  $i$  и  $j$
- Проводимостта  $Y_{ij}$  се нарича взаимна проводимост на двете сечения и при канонична форма на сеченията има отрицателен знак

$[Y] =$

	$i$	$j$	$u$
1	$+Y_{11}$	$-Y_{12}$	$-Y_{1u}$
2	$-Y_{21}$	$+Y_{22}$	$-Y_{2u}$
$i$	...	$+Y_{ii}$	...
$j$		$-Y_{ji}$	$+Y_{jj}$
$u$	$-Y_{u1}$	$-Y_{u2}$	$+Y_{uu}$



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!*



# ЗИТУН в матрицата на проводимостите

- При наличието на зависим източник на ток, управляван от напрежение тип  $yU$ , правилата за неговото включване в матрицата на проводимостите на схемата са по-сложни. На практика е необходимо да се отговори на три въпроса:
  - **Какво? ( $y$ )**
  - **Къде се включва параметърът  $y$  на проводимостта на ЗИТУН в матрицата на проводимостите?**
  - **Какъв е алгебричният знак, с който се записва проводимостта  $y$  на ЗИТУН?**



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

# ЗИТУН в матрицата на проводимостите

## Къде?

- Номерата на сеченията, към които е включен ЗИУН  $yU$ , определят номерата на редовете в матрицата  $[Y]$ , където той ще участва
- Номерата на сеченията, чиито напрежения управляват зависимия източник, определят номерата на съответните стълбове в матрицата  $[Y]$

## Какво?

- В клетките, образувани от пресичането на така определените редове и стълбове, се записва параметърът  $y$



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

# ЗИТУН в матрицата на проводимостите

## С какъв знак?

- Алгебричният знак на проводимостта **у** е **минус**, когато посоките на зависимия източник и на управляващото напрежение едновременно съвпадат или едновременно не съвпадат с посоките на сеченията, в които участват
- При разнопосочност на зависимия генератор и управляващото напрежение спрямо сеченията, в които участват - знакът на проводимостта **у** е **плюс**



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!*



# ЗИТУН в матрицата на проводимостите

Редове: a, b

**Къде?**

Столбове: c, d

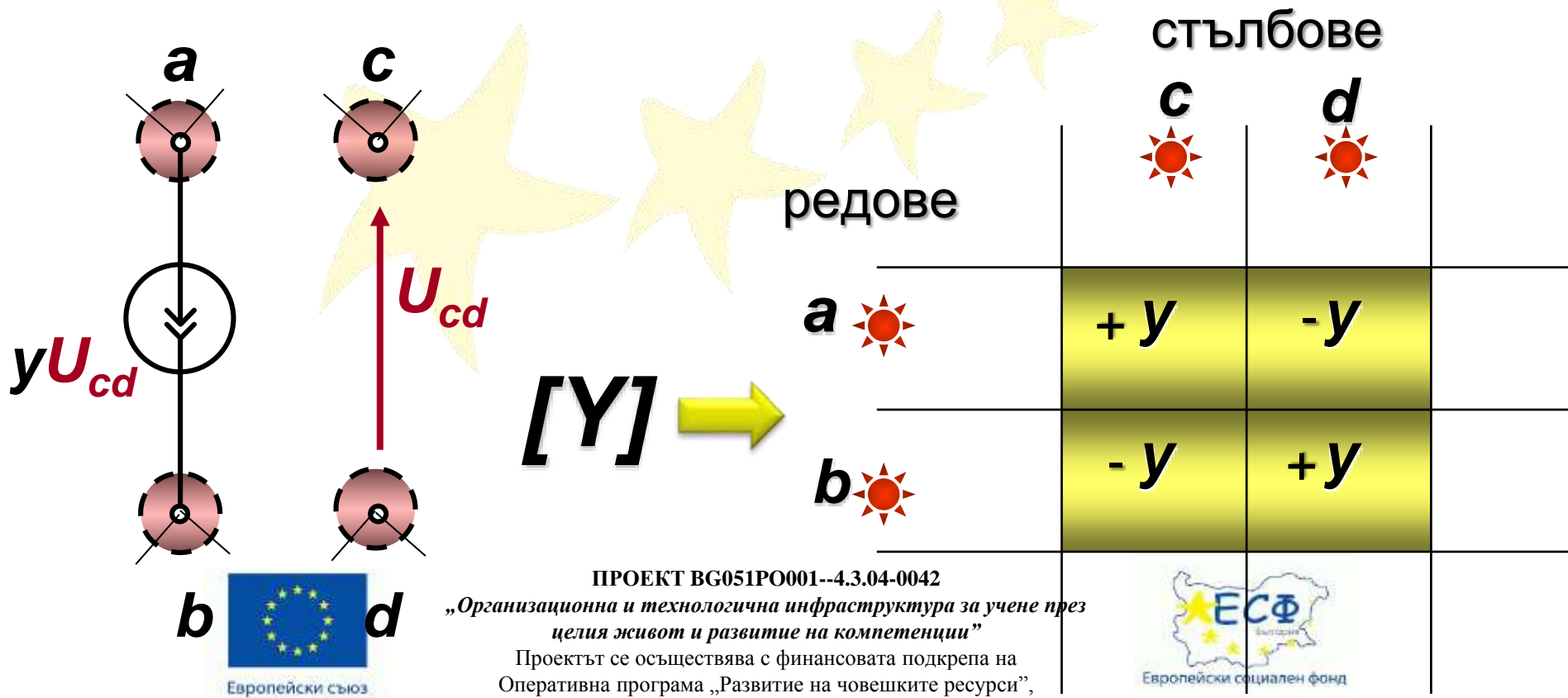
**Какво?**

Проводимостта  $y$  на ЗИТУН

**С какъв знак?**

$+ Y_{ac}; Y_{bd} - Y_{ad}; Y_{bc}$

## ЗИТУН



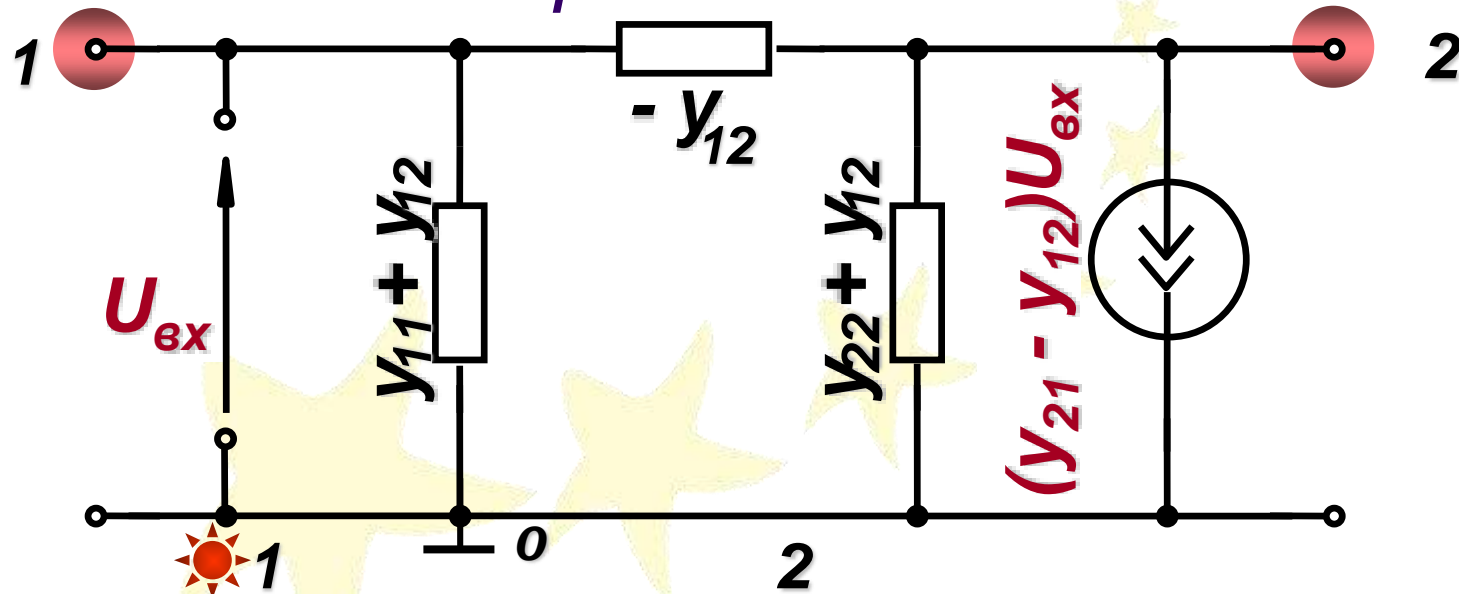
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

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



# Пример 1: Да се състави $[Y]$ на схемата на п-образния модел



$$[Y] = \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} \begin{matrix} Y_{11} + Y_{12} - Y_{12} & -(-Y_{12}) \\ -(-Y_{12}) + (Y_{21} - Y_{12}) & Y_{22} + Y_{12} - Y_{12} \end{matrix} = \begin{matrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{matrix}$$



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

Като се използват посочените свойства, матрично-векторните параметри  $[J]$  и  $[Y]$  могат да се съставят директно от схемата, без да е необходимо да се съставят  $[J_k]$ ,  $[Y_k]$ ,  $[P]$  и  $[P]^t$  и да се извършват съответните умножения

## ПРАКТИЧЕСКИ ПРАВИЛА ЗА АНАЛИЗ НА СХЕМА ПО МЕТОДА НА ВЪЗЛОВОТЕ НАПРЕЖЕНИЯ



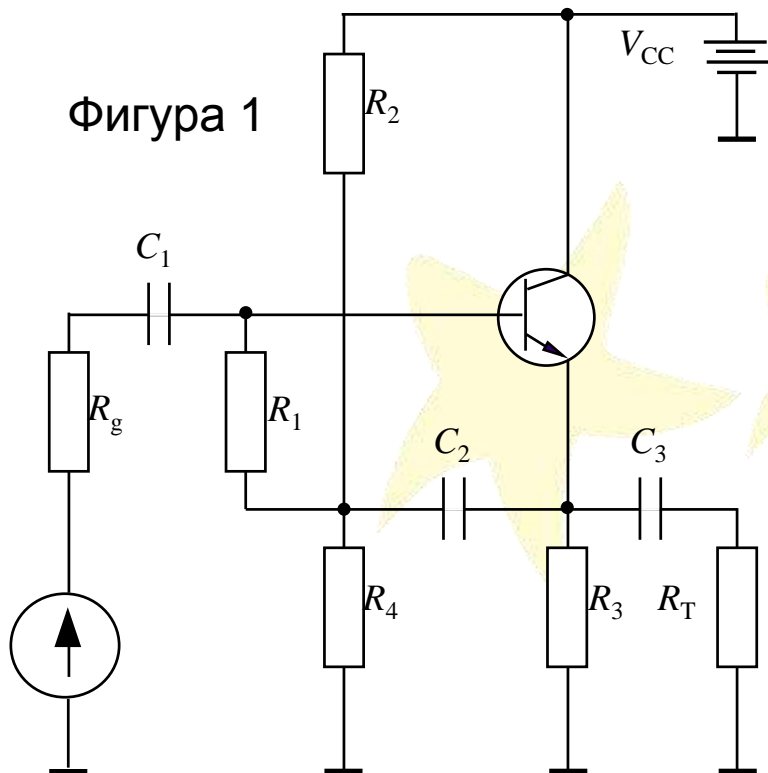
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Това е променливотоков усилвател в схема общ колектор с повишено входно съпротивление.



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!*





# Практически правила

## 1. Начертава се принципната електрическа схема по променлив ток

### 1.1. Постоянно-токовото захранване се свързва накъсо

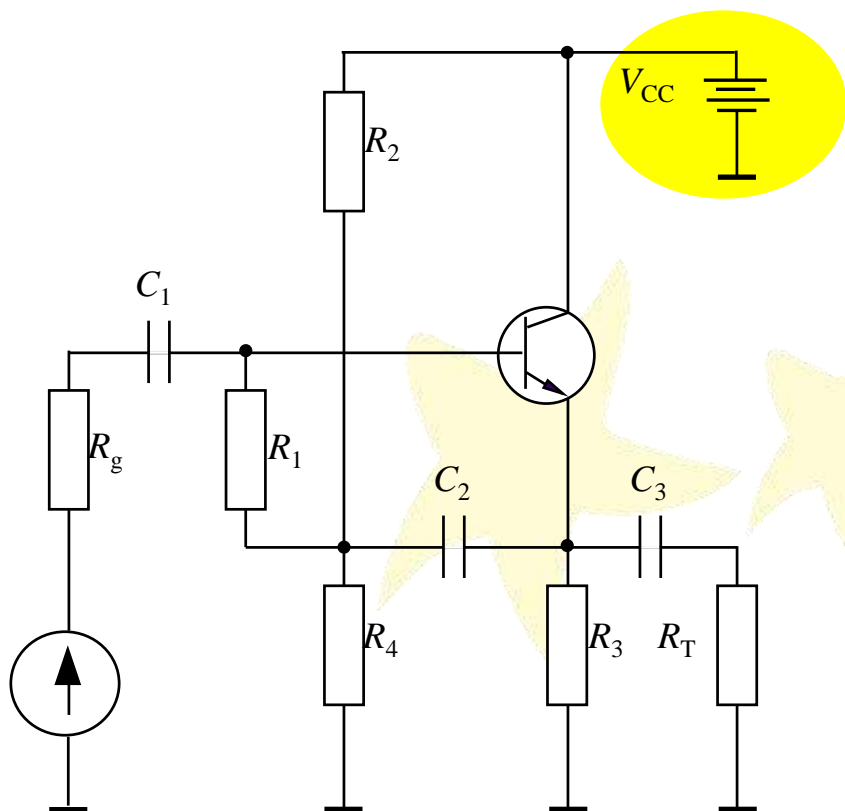


**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**  
**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”**

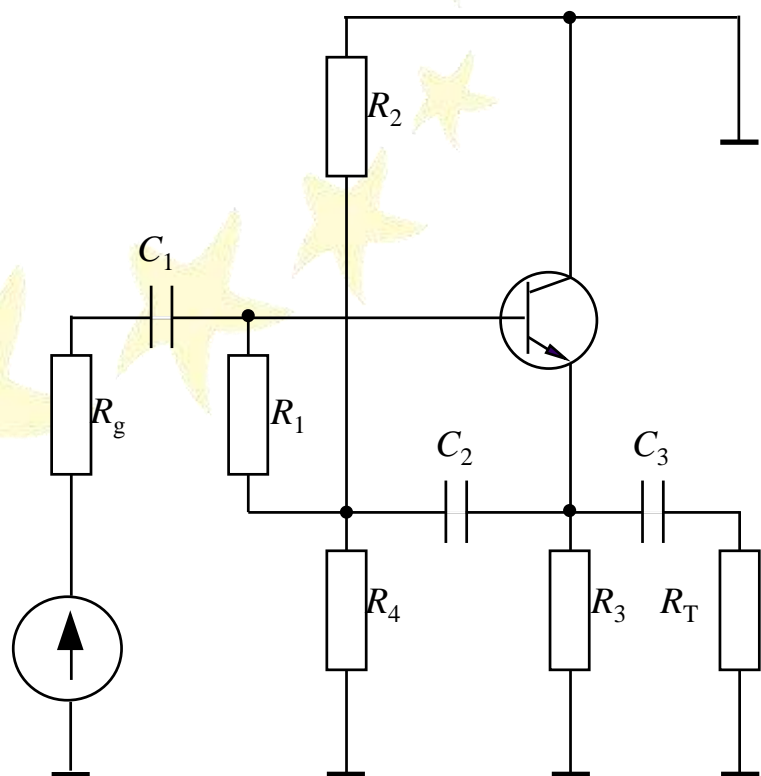
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
***Инвестира във вашето бъдеще!***



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Фигура 1



Фигура 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!*



# Практически правила

## 1. Начертава се принципната електрическа схема по променлив ток

1.1. Постоянно-токовото захранване се свързва накъсо

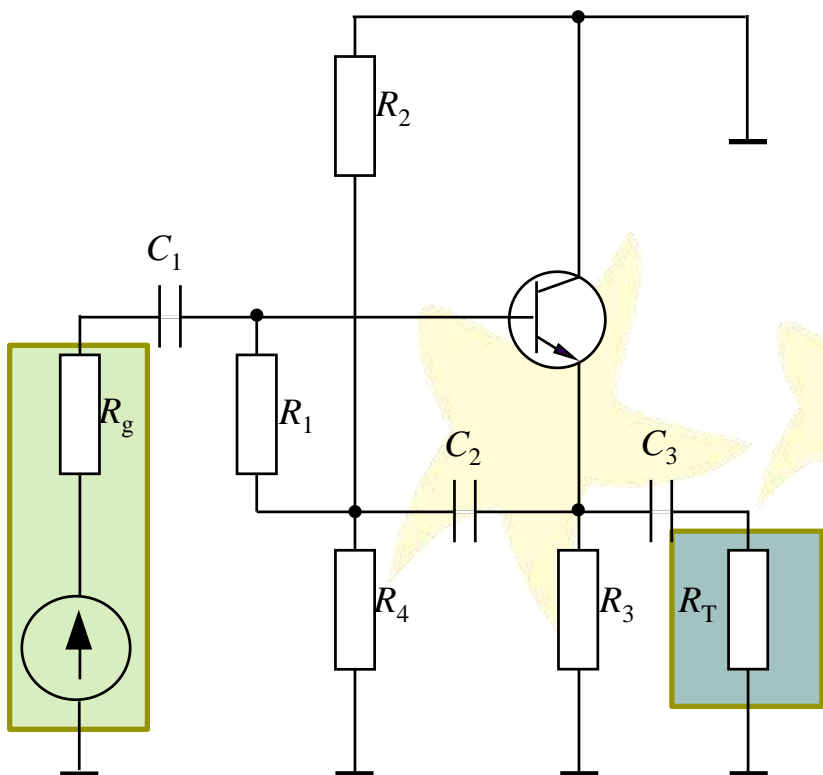
1.2. Премахват се елементите на входната и изходната верига, като се заместват с отворени вериги (вериги на празен ход)



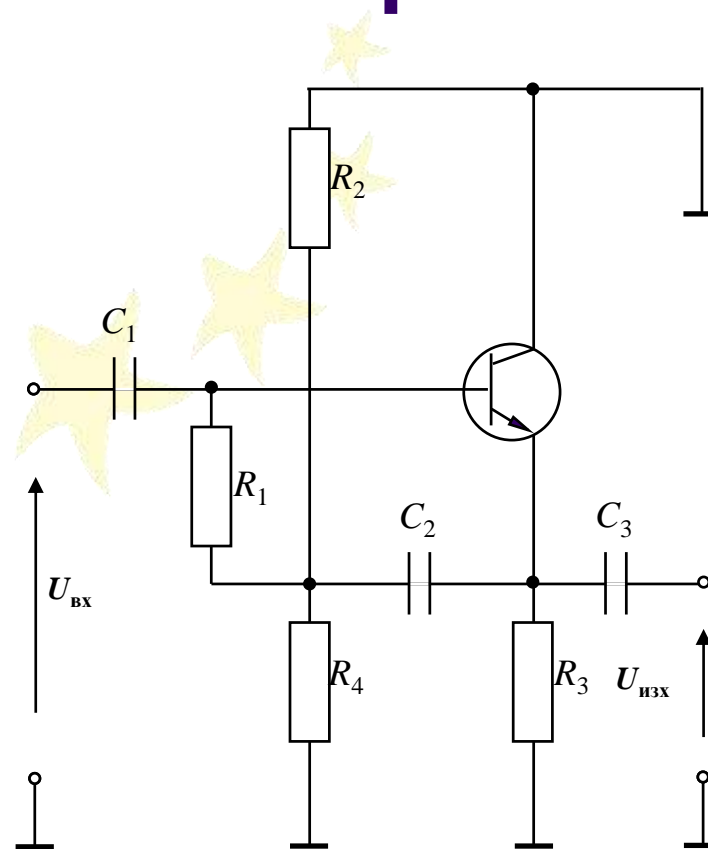
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042  
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*  
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Фигура 2



Фигура 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

# Практически правила

## 1. Начертава се принципната електрическа схема по променлив ток

1.1. Постоянно-токовото захранване се свързва на късо

1.2. Премахват се елементите на входната и изходната верига, като се заместват с отворени вериги (вериги на празен ход)

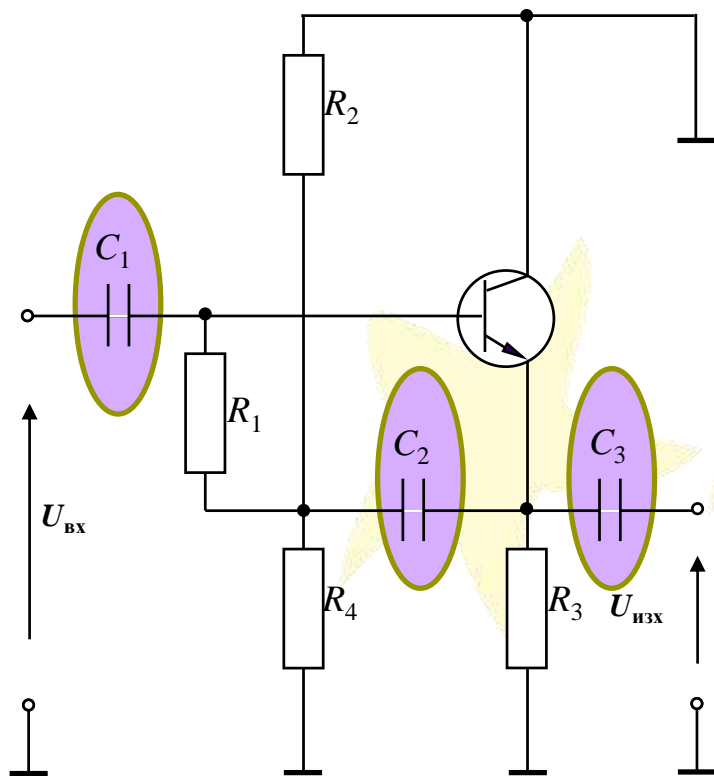
1.3. За анализ при ниски и средни честоти кондензаторите се заместват с късо съединение, а индуктивностите с отворена верига



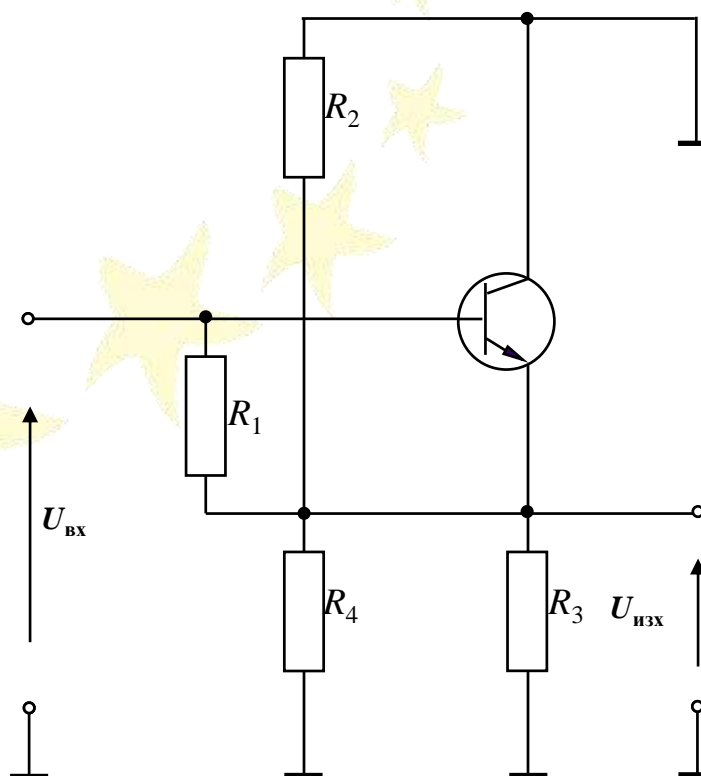
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042  
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*  
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Фигура 3



Фигура 4



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!*



# Практически правила

2. Избират се подходящи **линейни модели** за активните електронни елементи

- За анализ при ниски и средни честоти биполярните транзистори се заместват с „П“ модела, а униполярните транзистори с НЧ модела
- За анализ в честотна област (при високи честоти) биполярните транзистори се заместват с модела, а униполярните транзистори с ВЧ модела



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

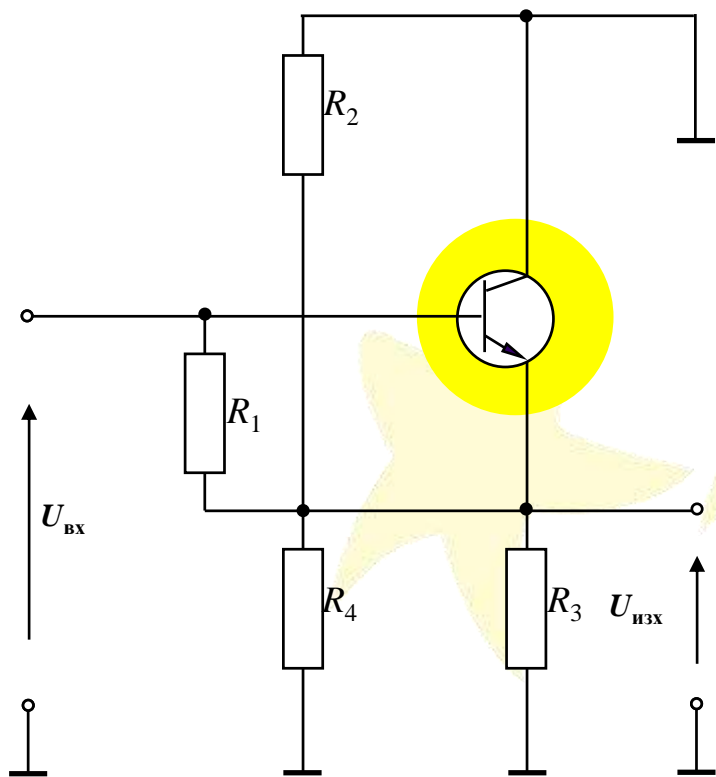
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“*

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

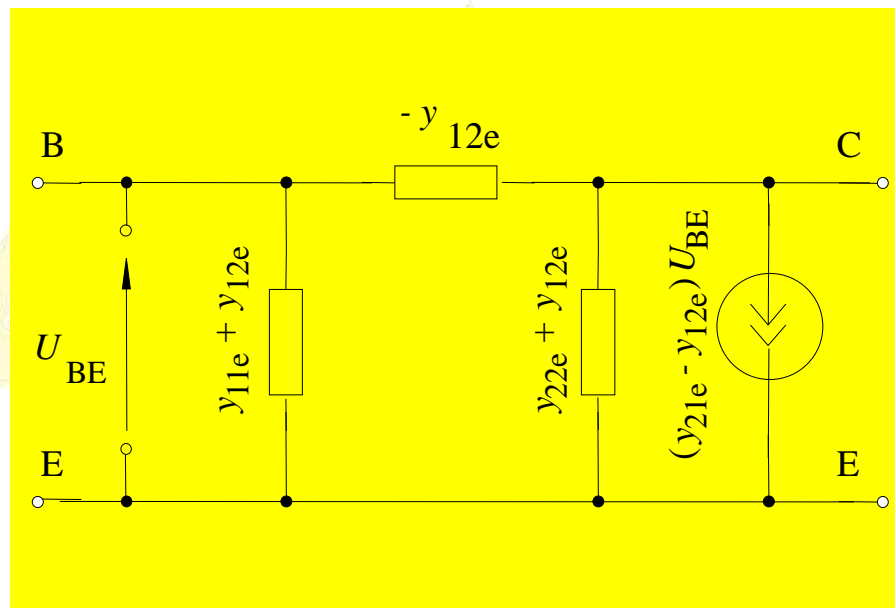


Европейски социален фонд

# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Фигура 4



Фигура 5



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





# Практически правила

3. Начертава се **пълната еквивалентна схема** по променлив ток, в която електронните елементи се заместват с техните подходящи модели

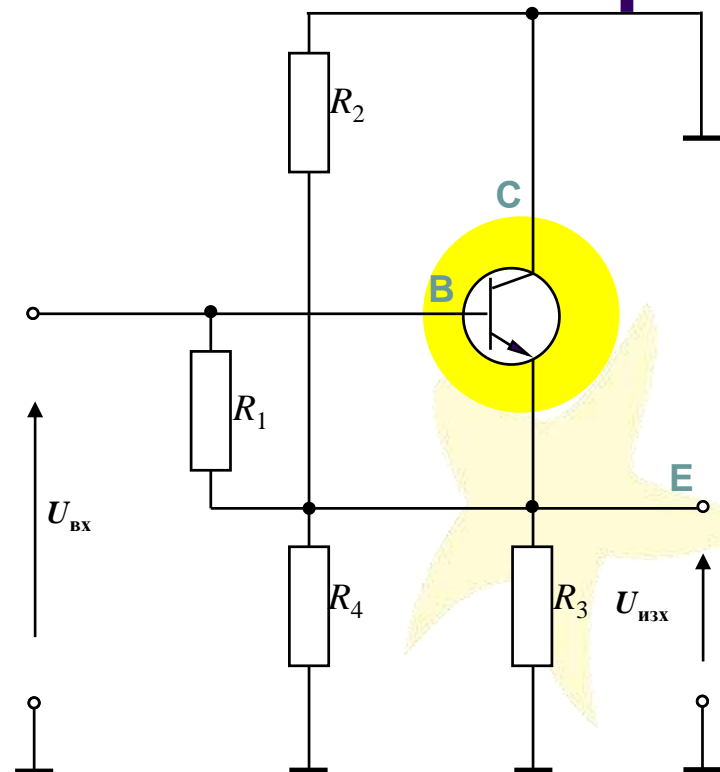


**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**  
**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”**

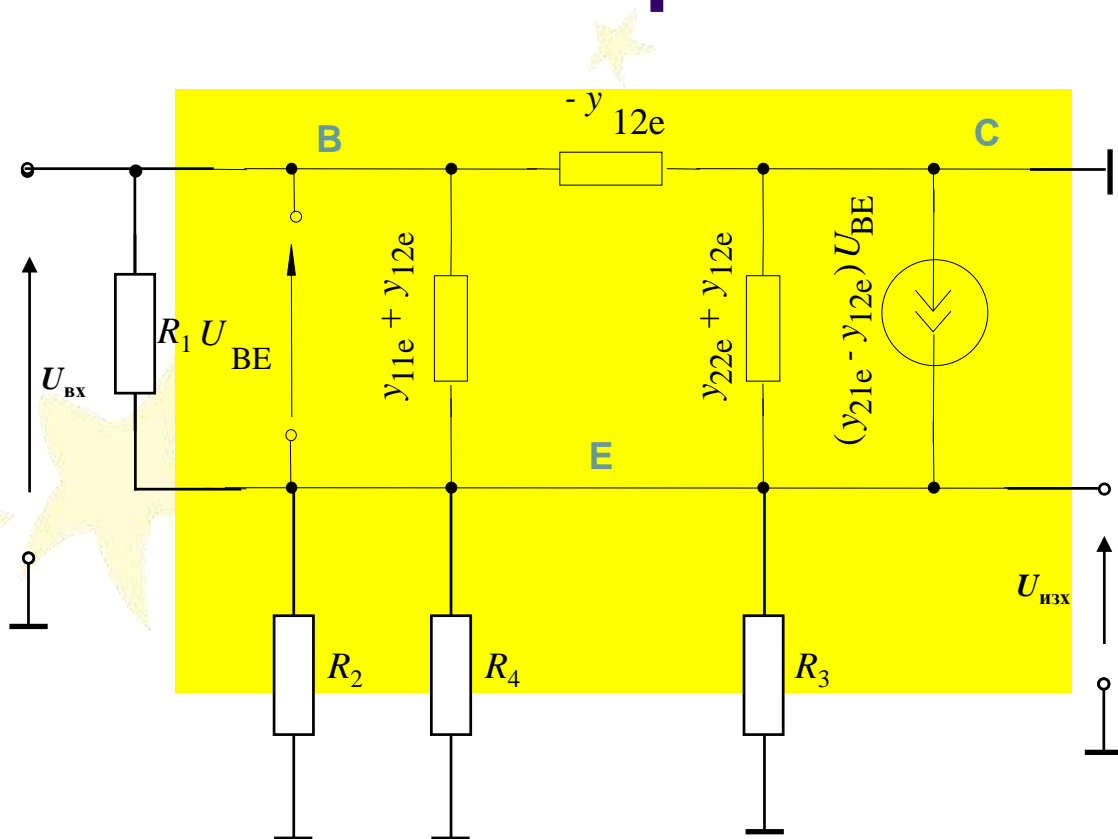
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
**Инвестира във вашето бъдеще!**



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Фигура 4



Фигура 5



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

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



# Практически правила

## 4. Съставя се **канонична система на сеченията**:

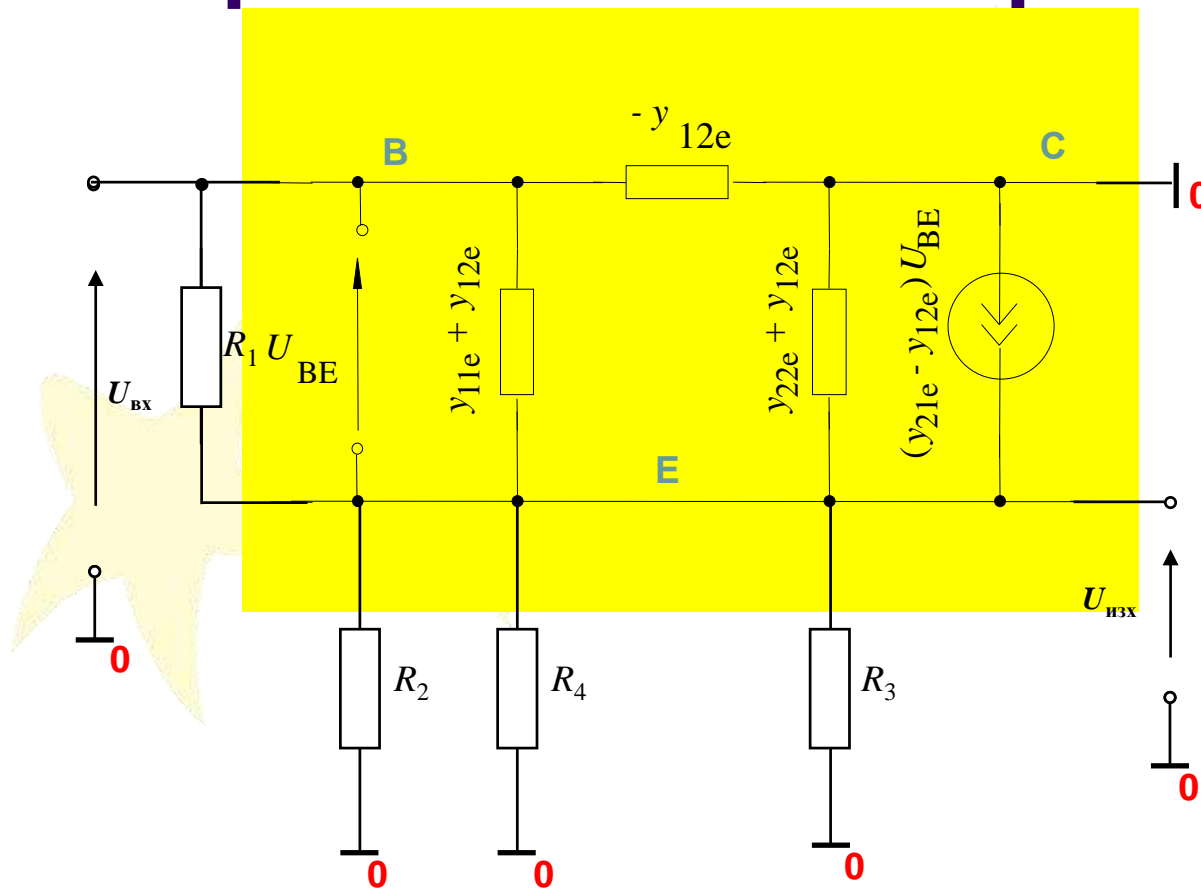
4.1. Избира се **базисен възел** на схемата и му се присвоява индекс нула. Предпочита се, това да бъде или възелът, общ за входа и изхода на схемата (ако има такъв), или възелът, съвпадащ с масата на схемата (ако има такъв), или възела с най-много свързани към него клони.



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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Фигура 5



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

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



# Практически правила

## 4. Съставя се **канонична система на сеченията**:

4.1. Избира се **базисен възел** на схемата и му се присвоява индекс нула. Предпочита се, това да бъде или възелът, общ за входа и изхода на схемата (ако има такъв), или възелът, съвпадащ с масата на схемата (ако има такъв), или възела с най-много свързани към него клони.

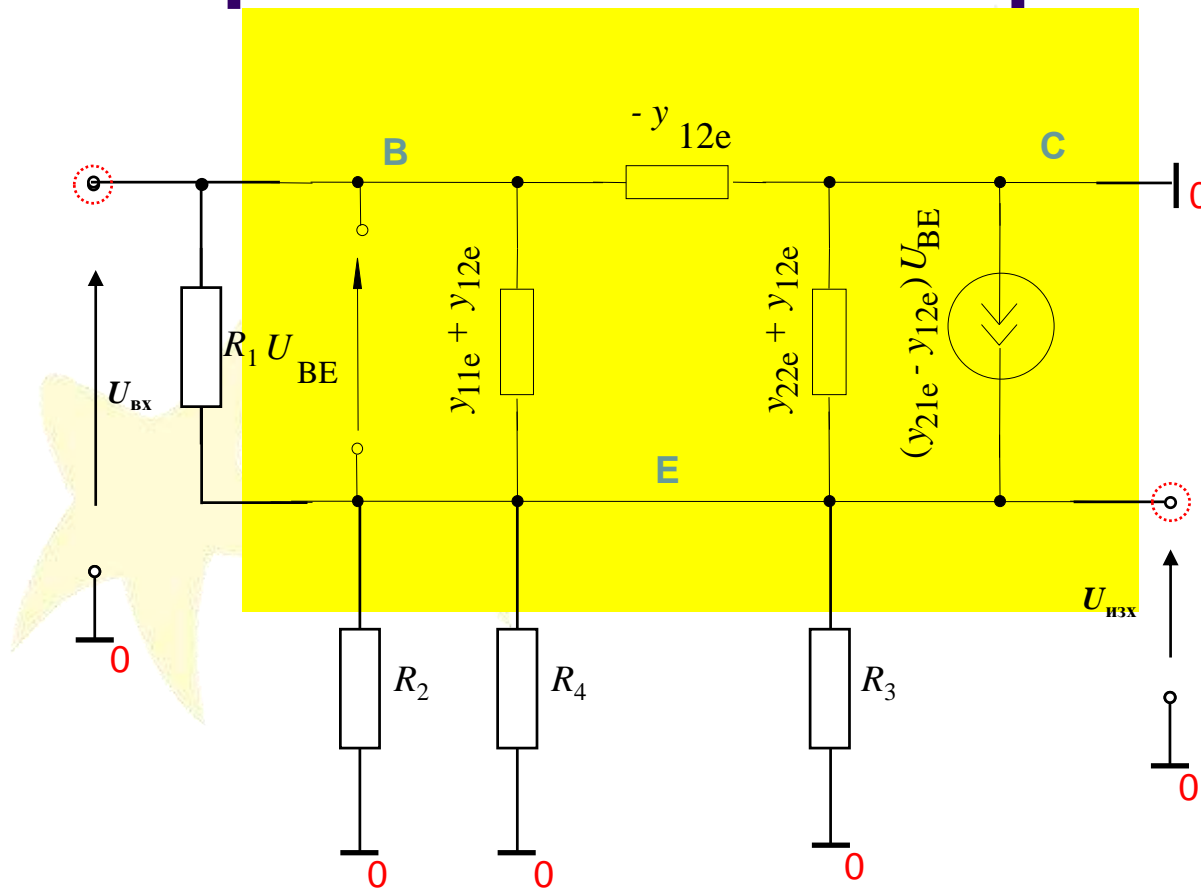
4.2. Около всички останали възли в схемата се прекарват затворени линии, символизиращи сечения с положителна посока навътре към възела.



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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



Фигура 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

# Практически правила

## 4. Съставя се **канонична система на сеченията**:

4.1. Избира се **базисен възел** на схемата и му се присвоява индекс нула. Предпочита се, това да бъде или възелът, общ за входа и изхода на схемата (ако има такъв), или възелът, съвпадащ с масата на схемата (ако има такъв), или възела с най-много свързани към него клони.

4.2. Около всички останали възли в схемата се прекарват затворени линии, символизиращи сечения с положителна посока навътре към възела.

4.3. Сеченията се индексират в естествения ред на числата от **1 до  $u$**



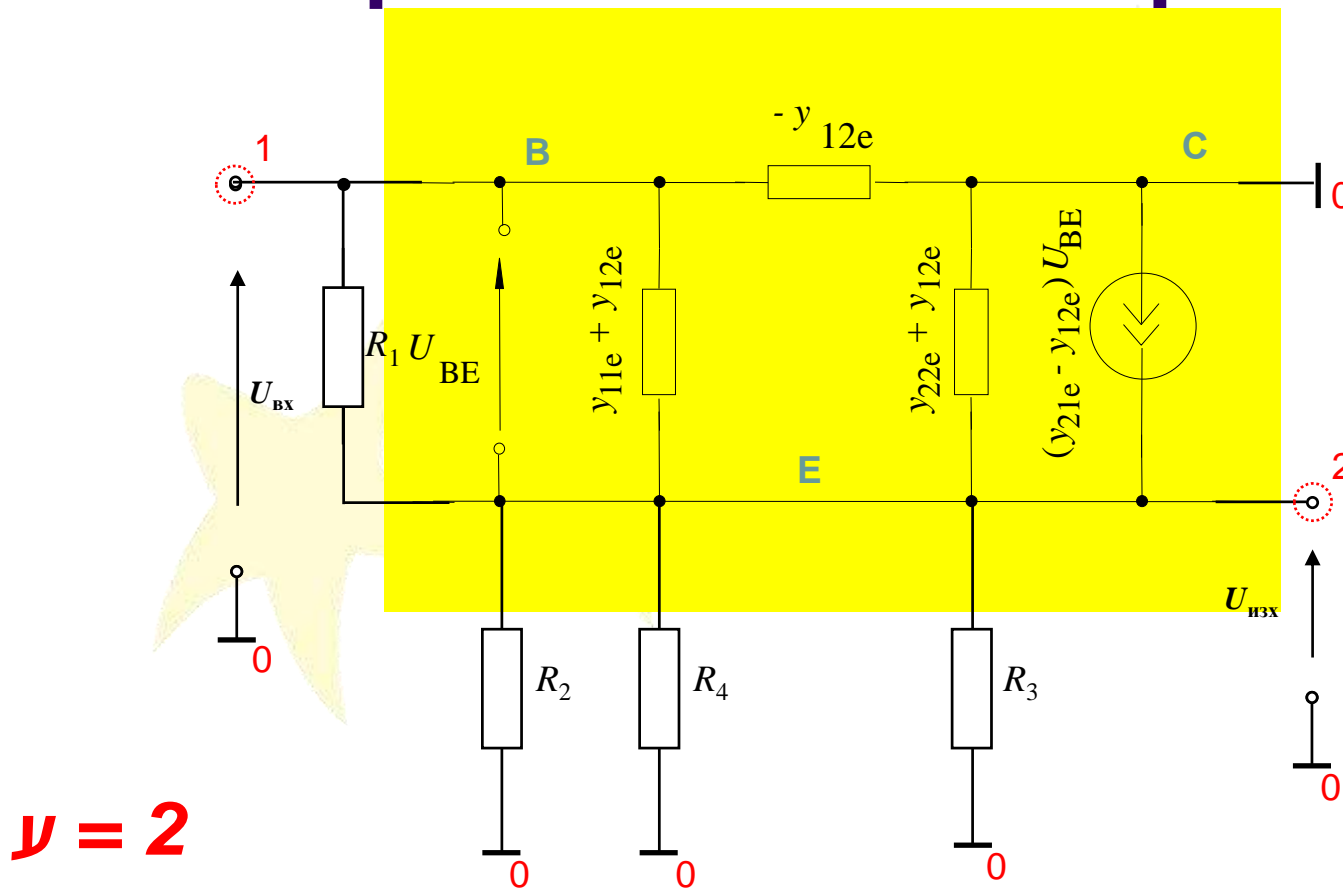
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



$\nu = 2$

Фигура 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



# Практически правила

5. Съставя се **матрицата на проводимостите** на схемата:

5.1. Начертава се квадратна таблица с размер  **$U \times U$**

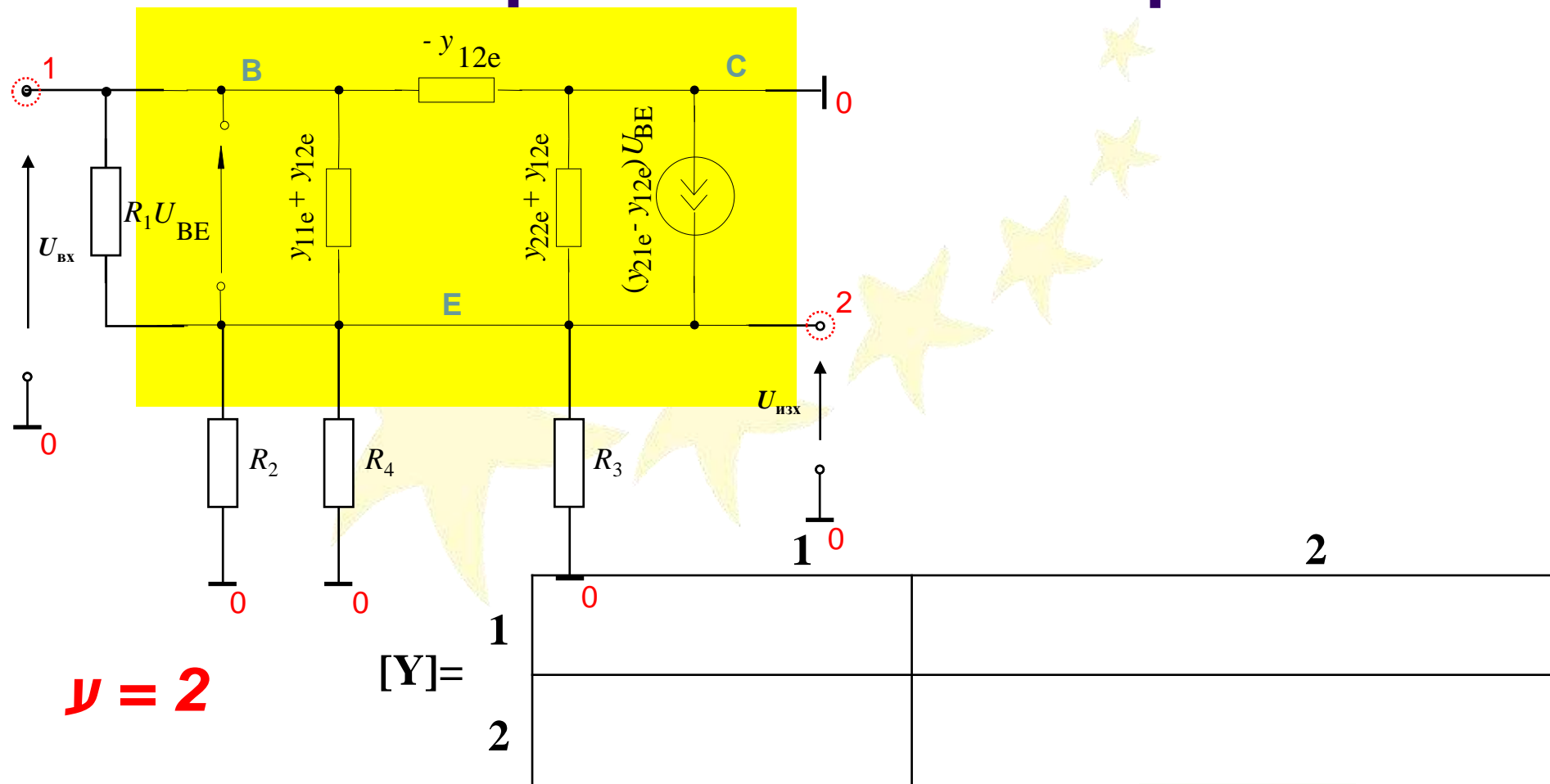


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042  
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през  
целия живот и развитие на компетенции”

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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



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!*



# Практически правила

5. Съставя се **матрицата на проводимостите** на схемата:

5.1. Начертава се квадратна таблица с размер  $\nu \times \nu$

5.2. Записват се елементите по главния диагонал  $Y_{ij}$ ,  $i=1, 2, \dots, \nu$  (собствени проводимости) като суми от проводимостите на клоните, принадлежащи на сечението  $i$  с **положителен знак** при канонична система сечения



Европейски съюз

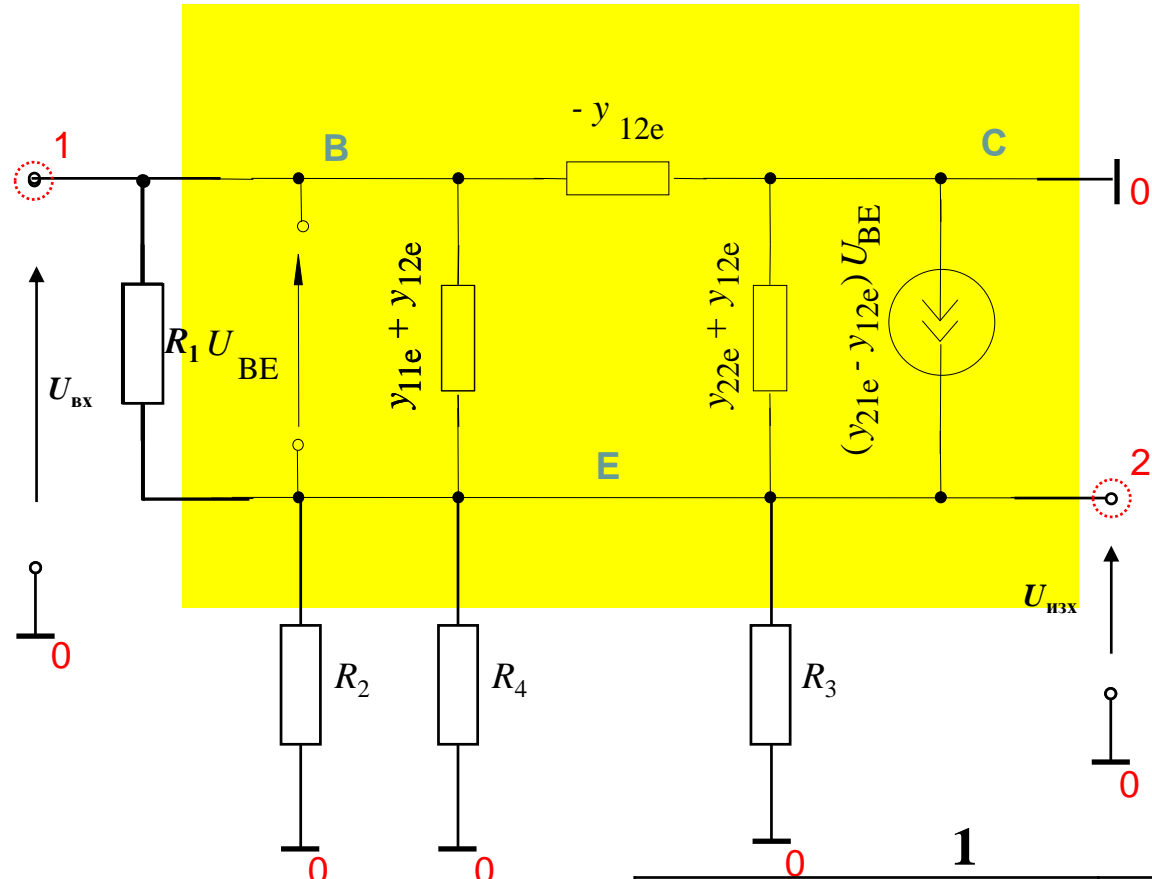
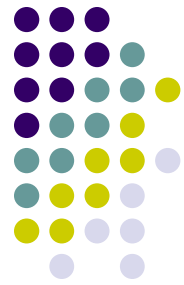
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



$\nu = 2$

[Y]=

1	$\frac{1}{R_1} + (y_{11} + y_{12}) + (-y_{12})$	
2		$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + (y_{11} + y_{12}) + (y_{22} + y_{12})$

# Практически правила

5. Съставя се **матрицата на проводимостите** на схемата:

5.1. Начертава се квадратна таблица с размер  $\nu \times \nu$

5.2. Записват се елементите по главния диагонал  $Y_{ii}, i=1, 2, \dots, \nu$  (собствени проводимости) като суми от проводимостите на клоните, принадлежащи на сечението  $i$  с **положителен знак** при канонична система сечения

5.3. Записват се елементите  $Y_{ij}$  и  $Y_{ji}$  над и под главния диагонал (взаимни проводимости между сеченията  $i, j$ ) винаги с **отрицателен знак**



Европейски съюз

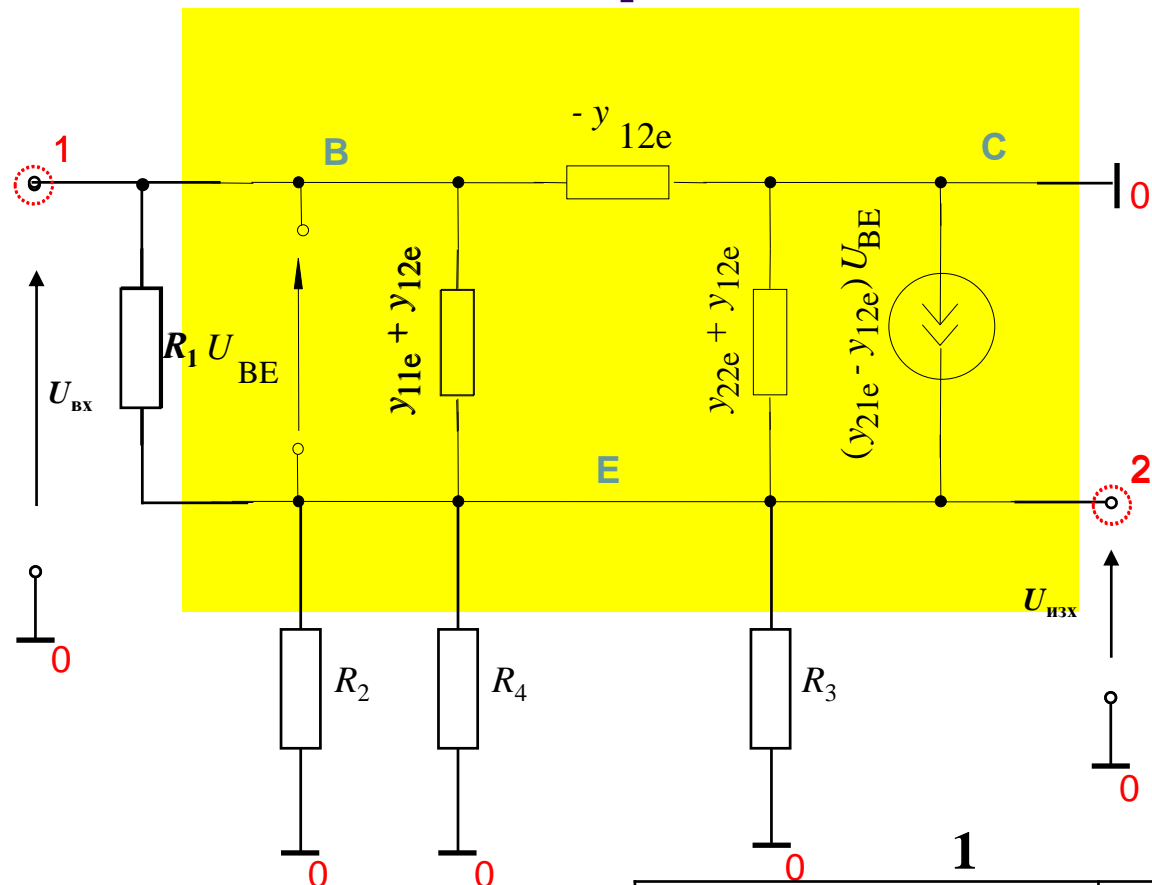
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

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



# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



$\nu = 2$

[Y]=

	1	2
1	$\frac{1}{R_1} + (y_{11} + y_{12}) + (-y_{12})$	$-\left[ \frac{1}{R_1} + (y_{11} + y_{12}) \right]$
2	$-\left[ \frac{1}{R_1} + (y_{11} + y_{12}) \right]$	$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + (y_{11} + y_{12}) + (y_{22} + y_{12})$

# Практически правила

5.4. За всеки ЗИТУН ( $yU$ ) се определят клетките (най-много 4 на брой) в матрицата  $[Y]$ , в които се записва параметъра  $y$

- Номерата на сеченията, към които е включен генератора на ток  $yU$  (например  $a, b$ ), определят номерата на редовете  $(a,b)$  в матрицата  $[Y]$ , където той ще участва
- Номерата на сеченията, чиито напрежения управляват зависимия източник  $yU$  (например  $c, d$ ), определят номерата на съответните стълбове  $(c,d)$  в матрицата  $[Y]$



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!*



# Практически правила

5.5. В клетките, образувани от пресичането на така определените редове(a, b) и стълбове (c, d), се записва параметърът ***у***

5.6. Алгебричният знак на проводимостта ***у*** е ***МИНУС***, когато посоките на зависимия генератор и на управляващото напрежение едновременно съвпадат или едновременно не съвпадат с посоките на сеченията (т.е. са еднопосочни), в които участват

5.7. При разнопосочност спрямо сеченията знакът е ***ПЛЮС***



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

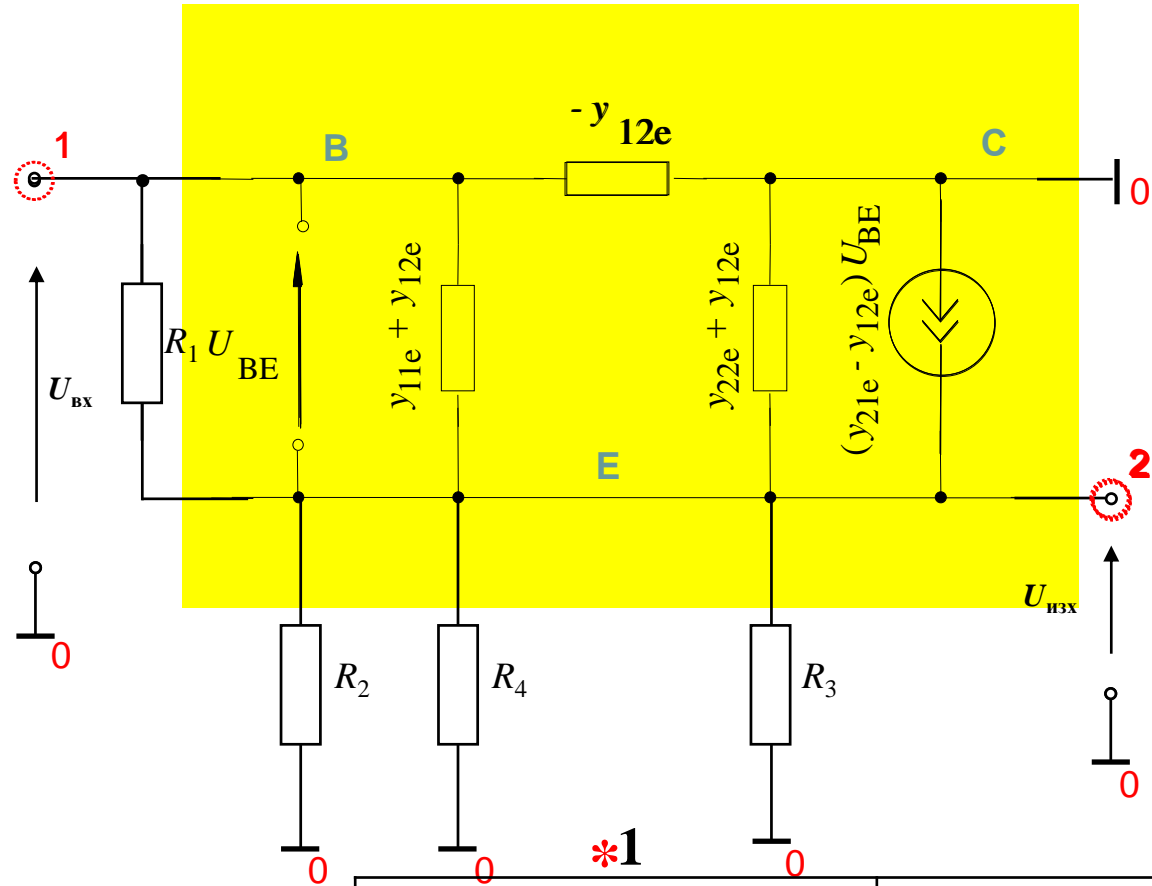




# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ



$\nu = 2$

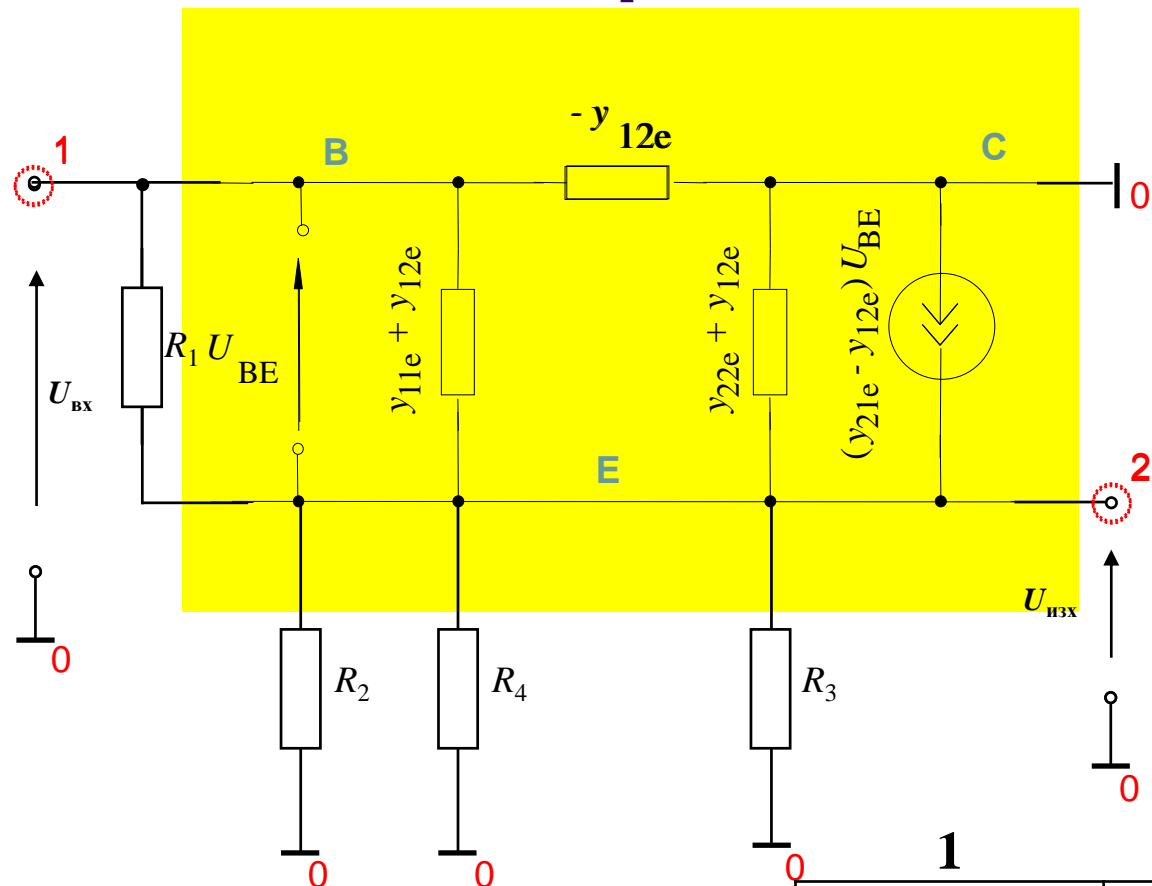


$\nu = 2$

[Y] =

*1	*2
$\frac{1}{R_1} + (y_{11} + y_{12}) + (-y_{12})$	$-\frac{1}{R_1} - y_{11} - y_{12}$
$-\frac{1}{R_1} - y_{11} - y_{12} - (y_{21} - y_{12})$	$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + (y_{11} + y_{12}) + (y_{22} + y_{12}) + (y_{21} - y_{12})$

# Пример 1: Да се състави [Y] на схемата от фиг.1 за анализ при НЧ

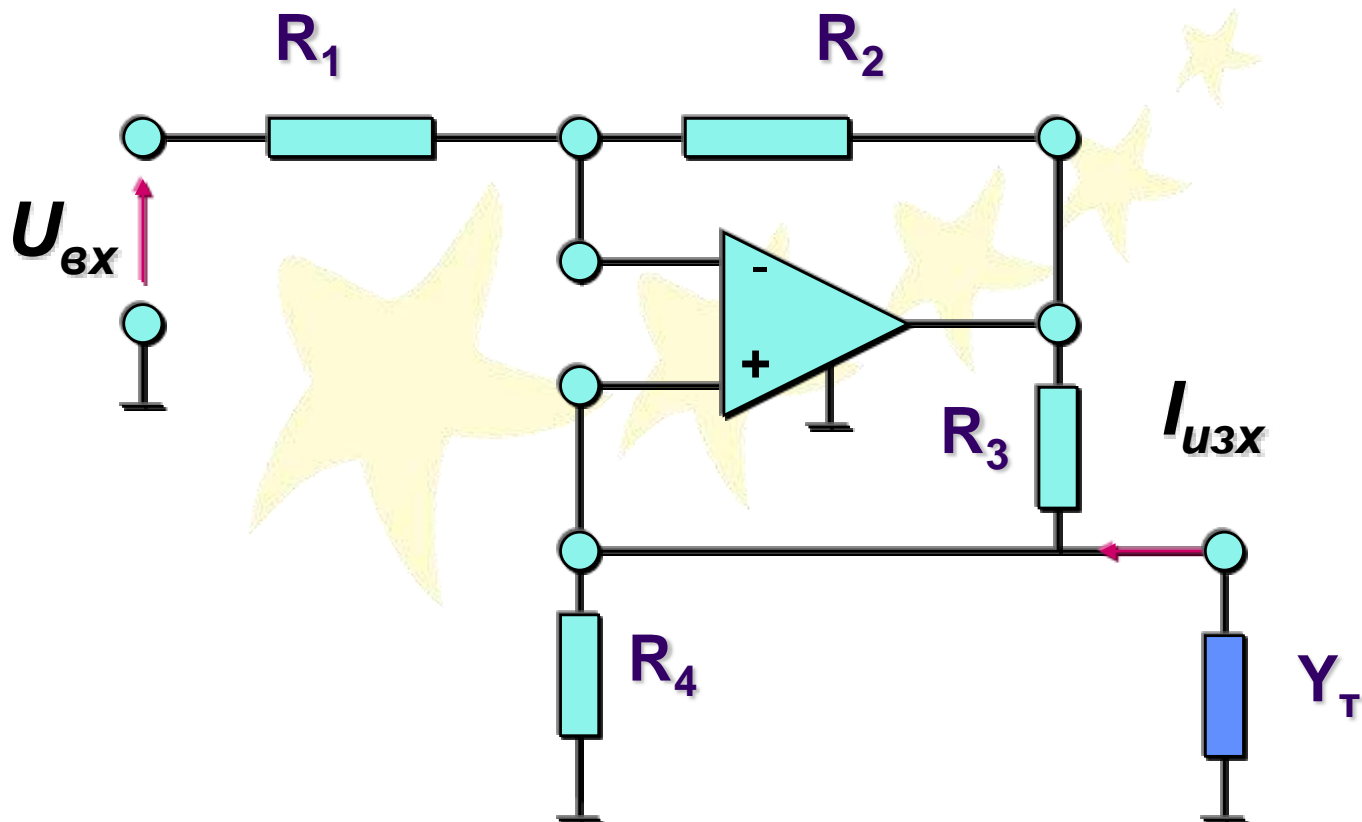


$\nu = 2$

[Y]=

	1	2
1	$\frac{1}{R_1} + y_{11}$	$-\frac{1}{R_1} - y_{11} - y_{12}$
2	$-\frac{1}{R_1} - y_{11} - y_{21}$	$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}$

# Пример 2: Да се състави [Y] на схемата на преобразувателя на напрежение в ток



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

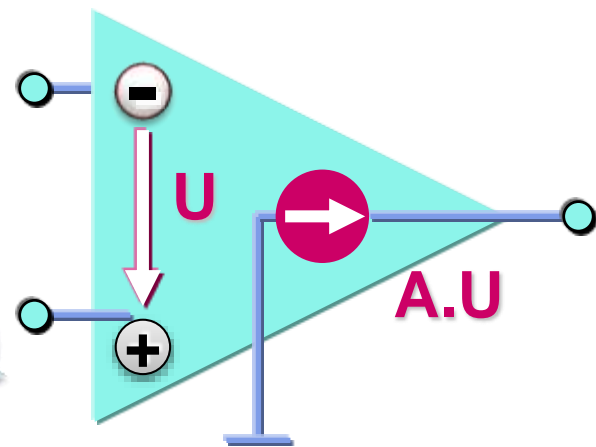
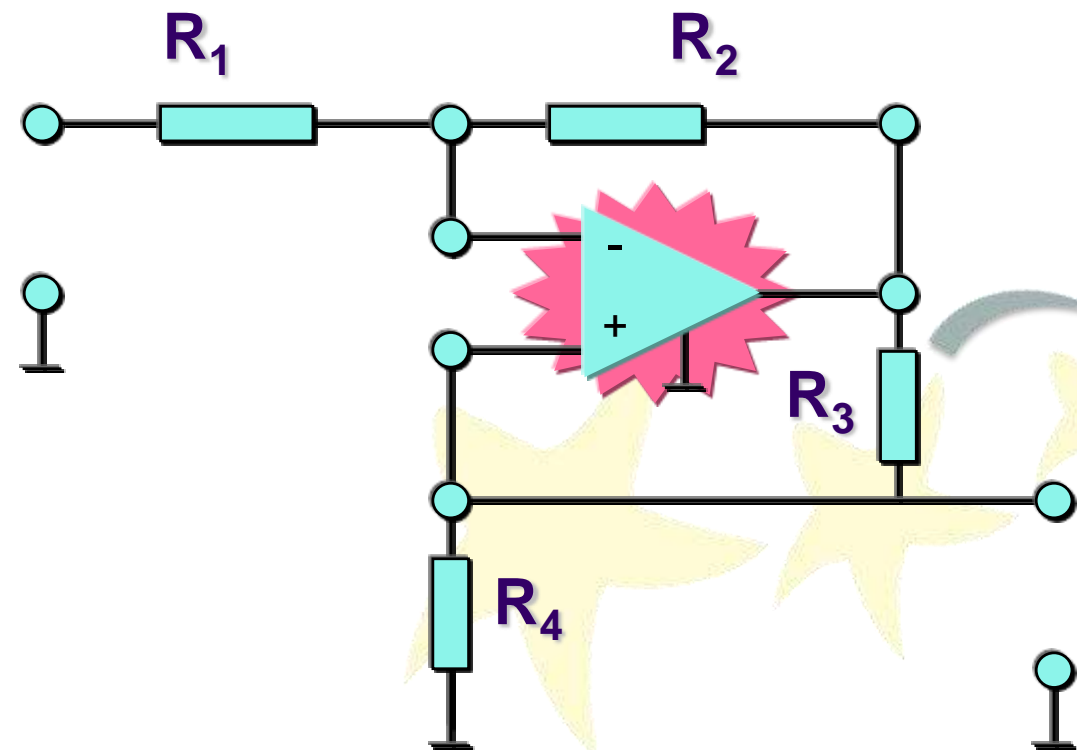
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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!*



# Избор на модел за ОУ

ОУ се замества с идеалния макромодел



Зависим източник на напрежение, управляван от напрежение



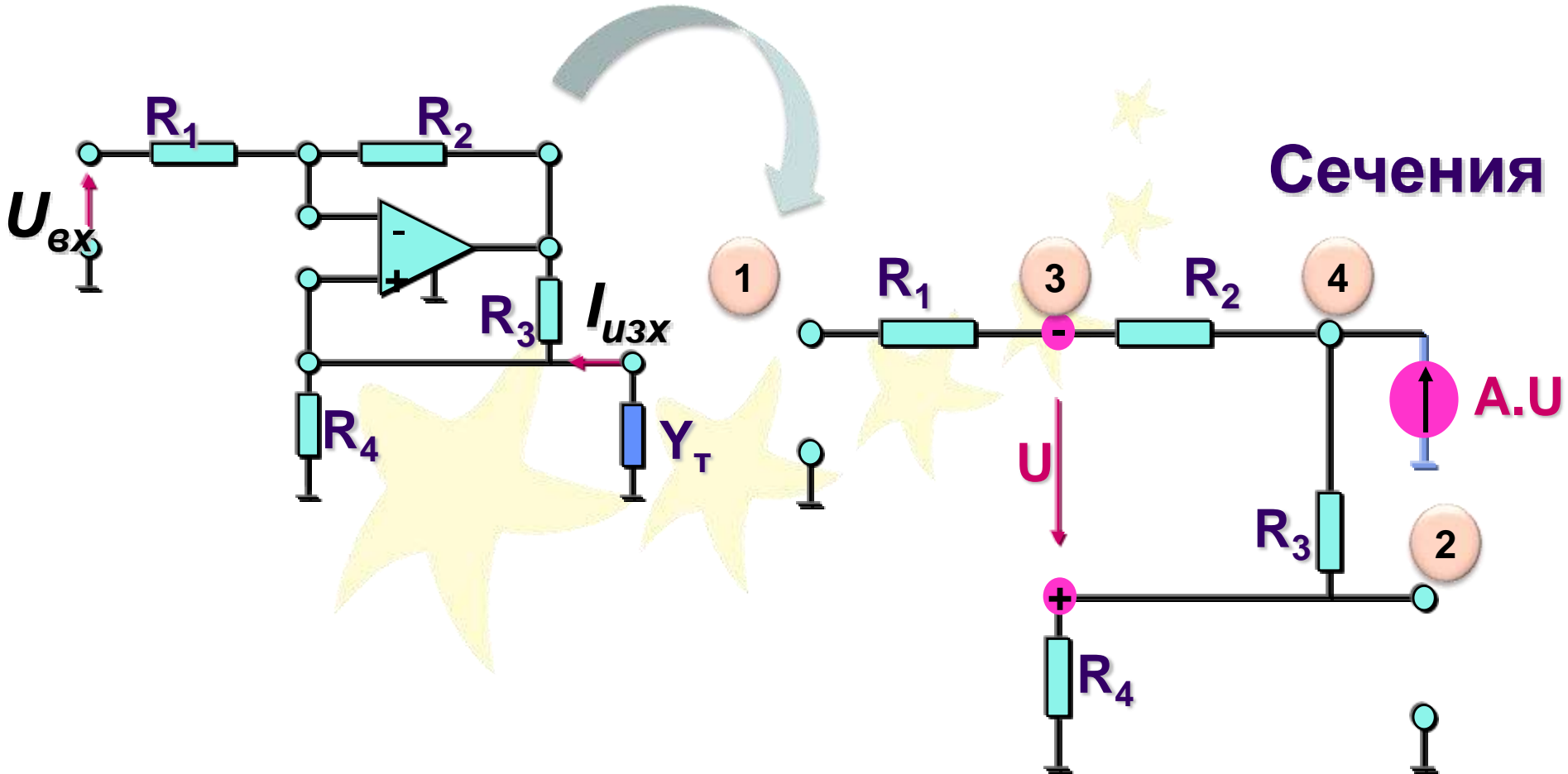
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„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!*



# Еквивалентна схема



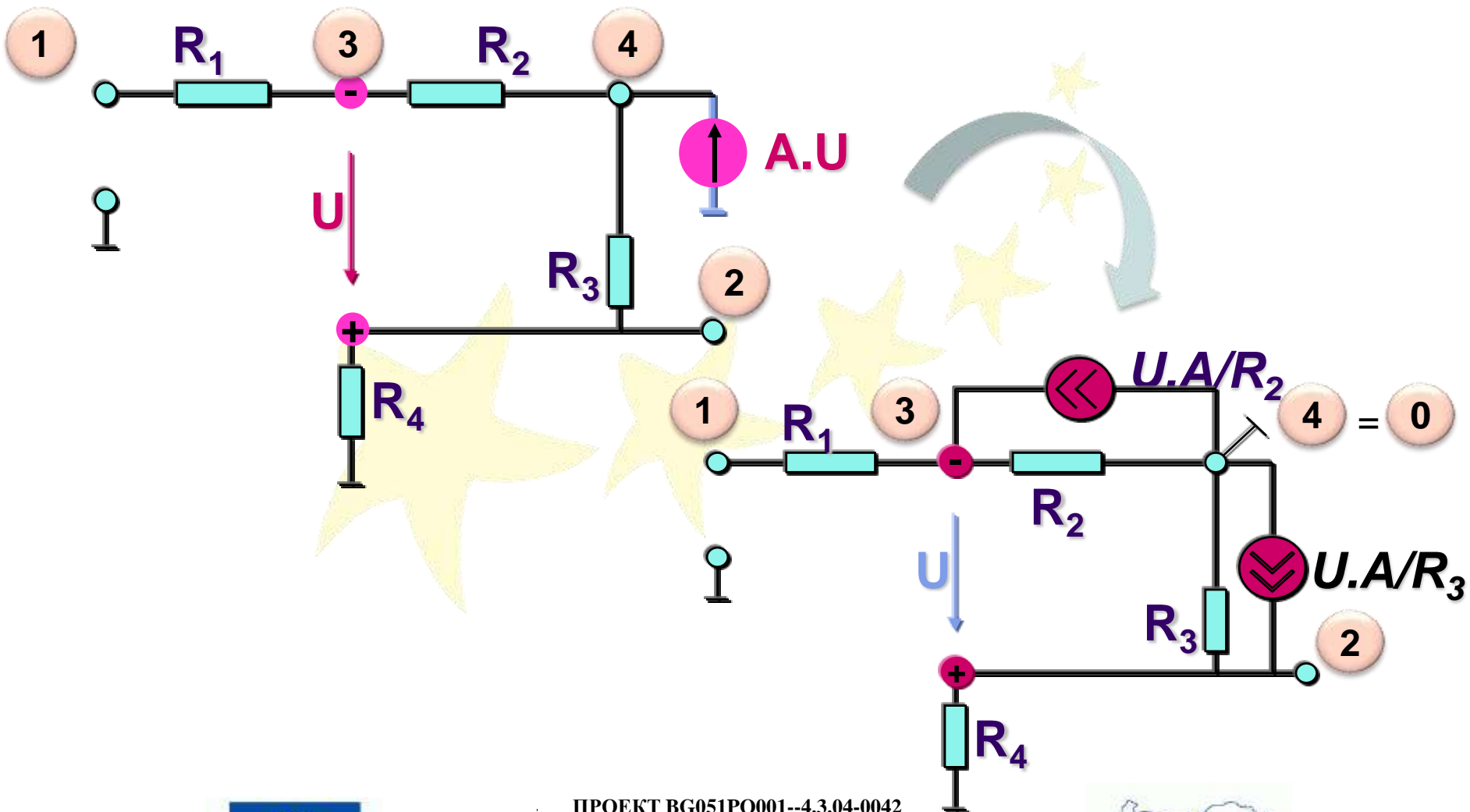
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„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!*



# Еквивалентна схема



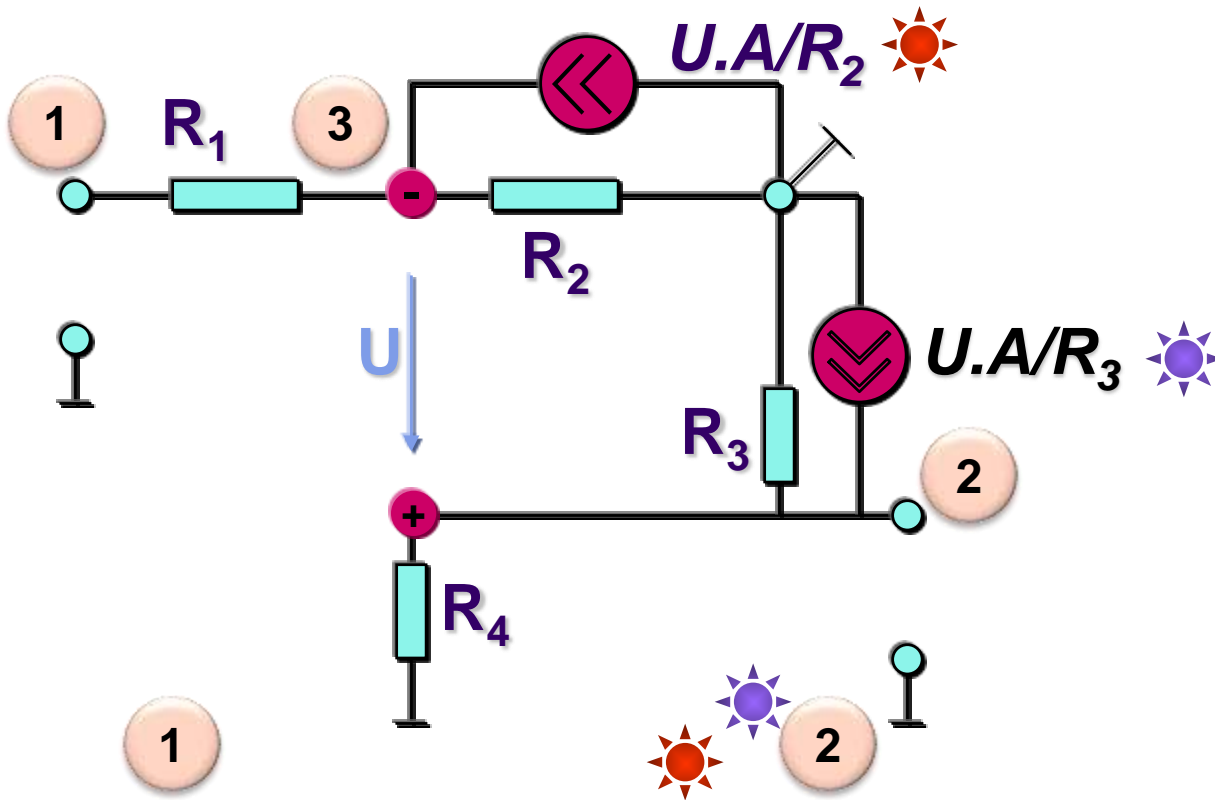
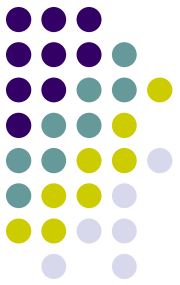
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„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!*



# Съставяне на [Y]



[Y]=

1	$1/R_1$		$-1/R_1$
2		$1/R_3 + 1/R_4 - A/R_3$	$+A/R_3$
3	$-1/R_1$	$-A/R_2$	$1/R_1 + 1/R_2 + A/R_2$



[ttodorov@tu-sofia.bg](mailto:ttodorov@tu-sofia.bg)



**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!**

