

Теория на електронните схеми

Демонстратор: Обобщен метод на възловите напрежения.
Съставяне на матрици на проводимостите на схеми с
многополюсници

Проф. д.т.н. Елена Шойкова
Доц. д-р инж. Тодор Тодоров



Катедра Електронна техника, ФЕТТ

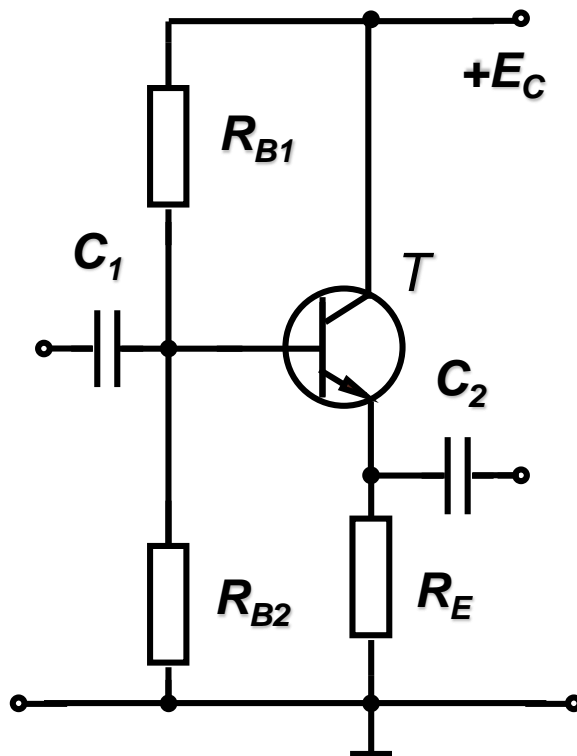


Технически университет - София

Цел

- Целта на демонстратора е да ви представи примери за съставяне на матрицата на проводимостите на електронни схеми, в които отделни елементи (транзисторите) и/или група от елементи са представени като многополюсници.
- Това е случаят за съставяне на $[Y]$ на схеми с y -клони и многополюсници.
- За целта се прилагат практическите правила, които следват от обобщения метод на възловите напрежения в матрична форма, при което $[Y]_{cx} = [Y] + \sum [Y]^i, i=1, N$
- При практическото използване на обобщения метод на възловите напрежения, най-често матрицата на цялата схема се съставя направо без да се записват и сумират отделните части.

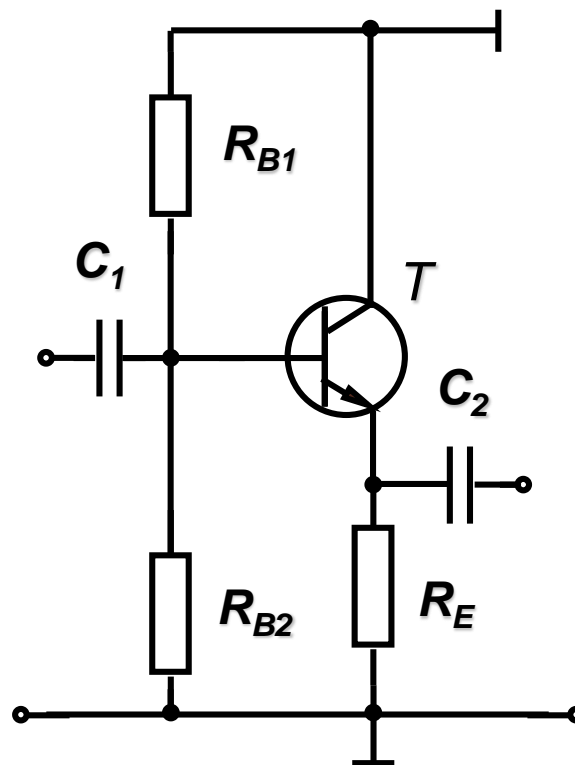
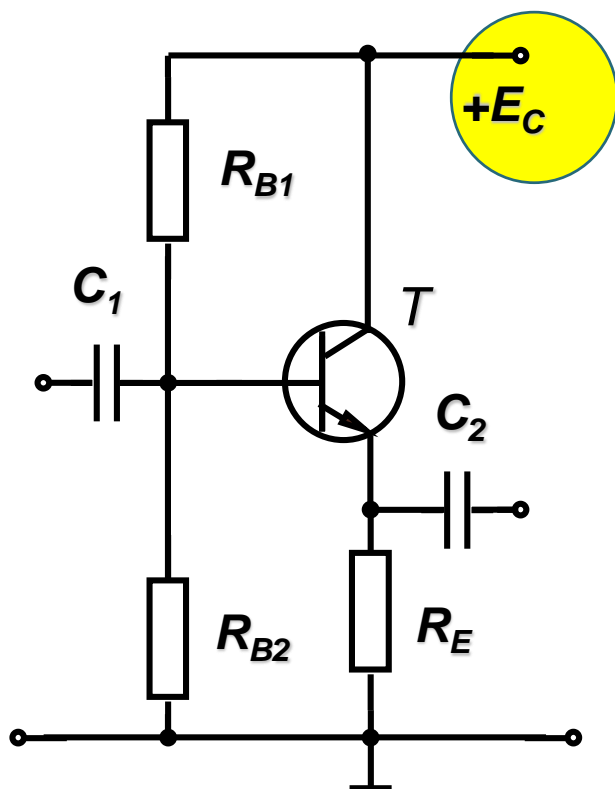
Пример 1: Да се състави матрицата на проводимостите на едностранзисторния усилвател в схема общ колектор



Правила за съставяне на матрици на проводимостите на схеми с многополюсници

1. Начертава се принципната електронна схема по променлив ток

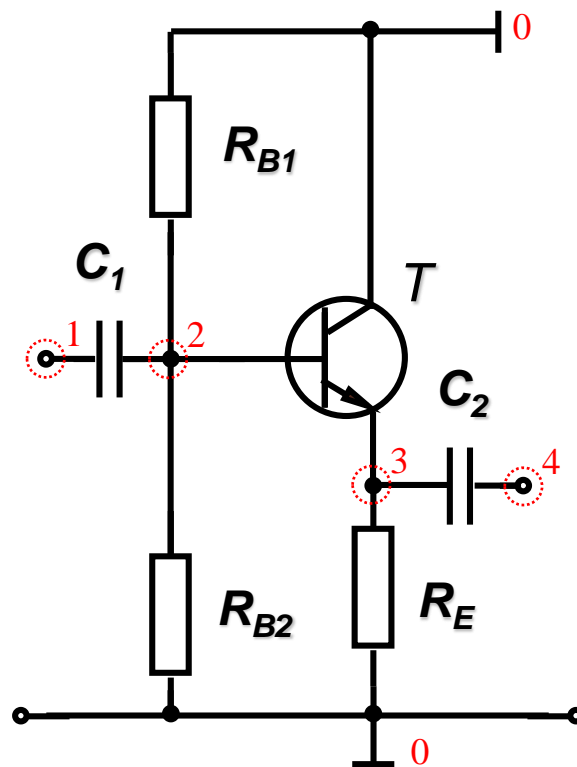
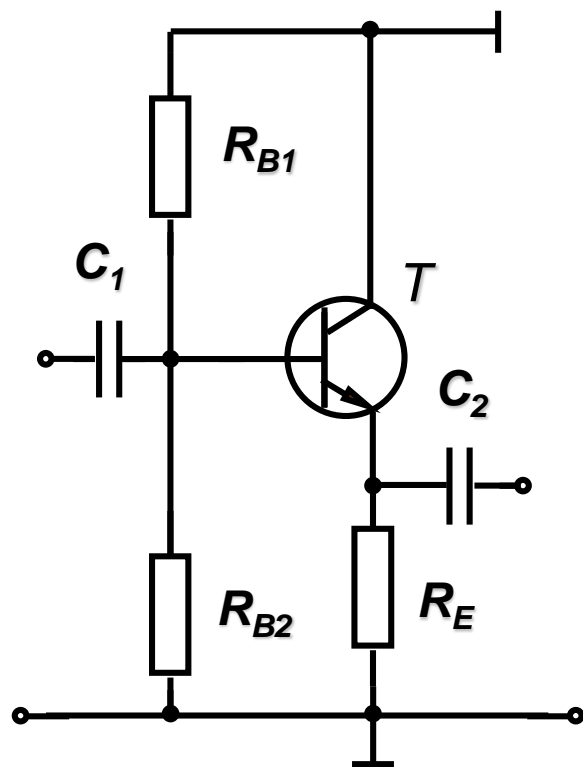
Пример 1: Да се състави матрицата на проводимостите на еднотранзисторния усилвател в схема общ колектор



Правила за съставяне на матрици на проводимостите на схеми с многополюсници

1. Начертава се принципната електронна схема по променлив ток .
2. Съставя се канонична система сечения. Избраният в схемата базисен възел се номерира с нула, а останалите се номерират от **1** до v .

Пример 1: Да се състави матрицата на проводимостите на еднотранзисторния усилвател в схема общ колектор



Правила за съставяне на матрици на проводимостите на схеми с многополюсници

1. Начертава се принципната електронна схема по променлив ток .
2. Съставя се канонична система сечения. Избраният в схемата базисен възел се номерира с нула, а останалите се номерират от **1** до v .
3. Определят се обобщените параметри на проводимостите на участващите в схемата многополюсници. Индексите на техните полюси се поставят в съответствие с номерата на сеченията, към които принадлежат

Обобщените y - параметри на транзистора могат да бъдат определени от четириполюсните $[\dot{y}_e]$, прилагайки свойствата на обобщената матрица:

$$[Y]_0 = \begin{array}{c} B \\ E \\ C \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline & B & E & C \\ \hline B & Y_{BB} & Y_{BE} & Y_{BC} \\ \hline E & Y_{EB} & Y_{EE} & Y_{EC} \\ \hline C & Y_{CB} & Y_{CE} & Y_{CC} \\ \hline \end{array}$$

| | |
|---|---|
| $\dot{y}_{11e} = (6,8 + j7,35) \text{ mS}$ | $\dot{y}_{12e} = (-0,1 - j1,6) \text{ mS}$ |
| $\dot{y}_{21e} = (23,5 - j39,5) \text{ mS}$ | $\dot{y}_{22e} = (1,65 + j2,75) \text{ mS}$ |

BC107

$U_{ce} = 10 \text{ V}$, $I_c = 5 \text{ mA}$, $f = 100 \text{ MHz}$

$[Y]_0 =$

| | B | E | C |
|---|------------------------------------|---|------------------------------------|
| B | \dot{y}_{11e} | $-(\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{12e})$ | \dot{y}_{12e} |
| E | $-(\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{21e})$ | $\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{12e} + \dot{y}_{21e} + \dot{y}_{22e}$ | $-(\dot{y}_{12e} + \dot{y}_{22e})$ |
| C | \dot{y}_{21e} | $-(\dot{y}_{21e} + \dot{y}_{22e})$ | \dot{y}_{22e} |

Правила за съставяне на матрици на проводимостите на схеми с многополюсници

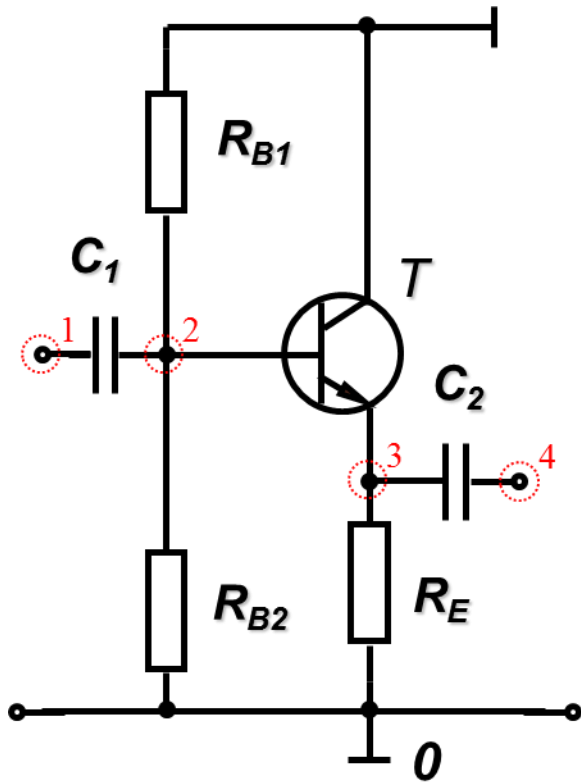
4. Съставя се матрицата на проводимостите на схемата:
- Начертава се квадратна таблица с ν реда и ν стълба
 - Записват се собствените проводимости Y_{ii} , $i=1, 2, \dots, \nu$ (елементите на главния диагонал) като суми от проводимостите на клоните, принадлежащи на сечението i и собствените проводимости от обобщените параметри на многополюсниците, свързани към това сечение. Те винаги имат положителен знак.

Правила за съставяне на матрици на проводимостите на схеми с многополюсници

- Записват се взаимните проводимости Y_{ij} и Y_{ji} (елементите над и под главния диагонал)
 - Взаимните проводимости от обобщените параметри на многополюсниците включени между съответните сечения винаги със знак плюс
 - Взаимните проводимости на пасивните клони между сеченията i и j винаги със знак минус

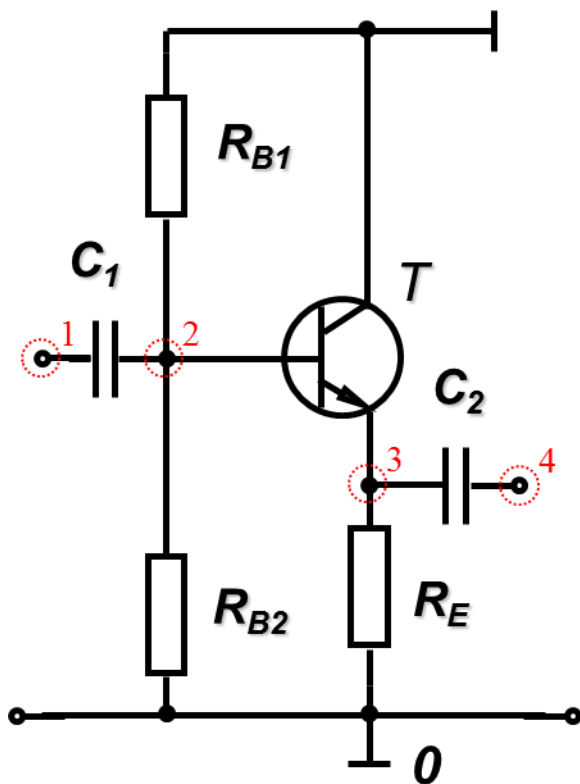
Обобщените параметри на многополюсниците се записват в схемната матрица винаги със знак плюс

Матрицата на проводимостите
е от 4 ред:



$[Y] =$

| | 1 | 2 | 3 | 4=y |
|-----|---------|------------------------------------|-------------------------|---------|
| 1 | pC_1 | $-pC_1$ | | |
| 2 | $-pC_1$ | $pC_1 + 1/R_{B1} + 1/R_B + Y_{BB}$ | Y_{BE} | |
| 3 | | Y_{EB} | $pC_2 + 1/R_E + Y_{EE}$ | $-pC_2$ |
| 4=y | | | $-pC_2$ | pC_2 |



Транзисторът е включен към сечения(възли) 2, 3, 0 (колекторът е свързан към маса).



Следователно, в случая от 9 обобщени y - параметри на транзистора, в матрицата $[Y]$ ще участват само 4:

$$[Y]_0 =$$

| | B(2) | E(3) | C(0) |
|------|----------|----------|----------|
| B(2) | Y_{BB} | Y_{BE} | Y_{BC} |
| E(3) | Y_{EB} | Y_{EE} | Y_{EC} |
| C(0) | Y_{CB} | Y_{CE} | Y_{CC} |

$$[Y] =$$

1 2 3 4

| | | | | |
|---|---------|---------------------------------------|-------------------------|---------|
| 1 | pC_1 | $-pC_1$ | | |
| 2 | $-pC_1$ | $pC_1 + 1/R_{B1} + 1/R_{B2} + Y_{BB}$ | Y_{BE} | |
| 3 | | Y_{EB} | $pC_2 + 1/R_E + Y_{EE}$ | $-pC_2$ |
| 4 | | | $-pC_2$ | pC_2 |

$$[Y]_0 =$$

| | | | |
|----------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| | B | E | C |
| B | \dot{y}_{11e} | $-(\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{12e})$ | \dot{y}_{12e} |
| E | $-(\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{21e})$ | $\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{12e} + \dot{y}_{21e} + \dot{y}_{22e}$ | $-(\dot{y}_{12e} + \dot{y}_{22e})$ |
| C | \dot{y}_{21e} | $-(\dot{y}_{21e} + \dot{y}_{22e})$ | \dot{y}_{22e} |

$$[Y] =$$

1 2 3 4

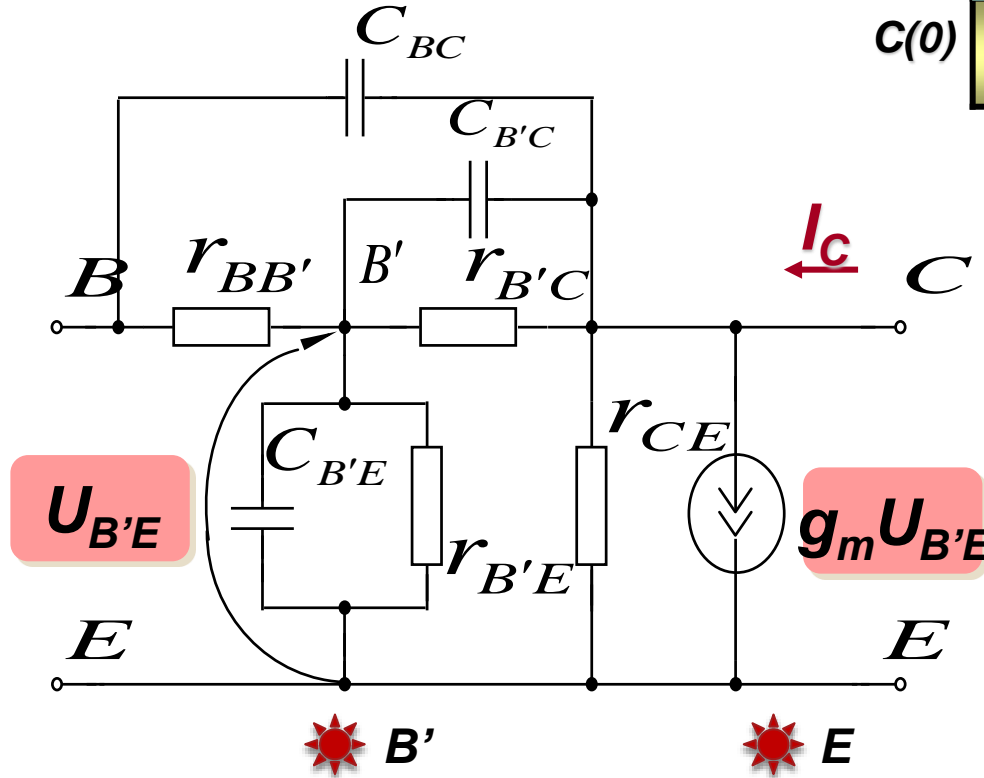
| | | | | |
|---|---------|---|--|---------|
| 1 | pC_1 | $-pC_1$ | | |
| 2 | $-pC_1$ | $pC_1 + 1/R_{B1} + 1/R_B + \dot{y}_{11e}$ | $-(\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{12e})$ | |
| 3 | | $-(\dot{y}_{11e} + \dot{y}_{21e})$ | $pC_2 + 1/R_E + \dot{y}_{11e} + \dot{y}_{12e} + \dot{y}_{21e} + \dot{y}_{22e}$ | $-pC_2$ |
| 4 | | | $-pC_2$ | pC_2 |



- В PSpice всеки транзистор се включва във схемната матрица чрез обобщените му параметри, следвайки метода на възловите напрежения.
- Обобщените параметри се определят чрез процедура за линеаризиране на универсалния модел на транзистора.

В случая, обобщените параметри на транзистора се дефинират чрез анализ на еквивалентната схема на Джаколето.

Съставяме обобщена матрица с размерност 4x4:



| | | | |
|------|----------|----------|----------|
| | B(2) | E(3) | C(0) |
| B(2) | Y_{BB} | Y_{BE} | Y_{BC} |
| E(3) | Y_{EB} | Y_{EE} | Y_{EC} |
| C(0) | Y_{CB} | Y_{CE} | Y_{CC} |

$$[Y]_0 =$$

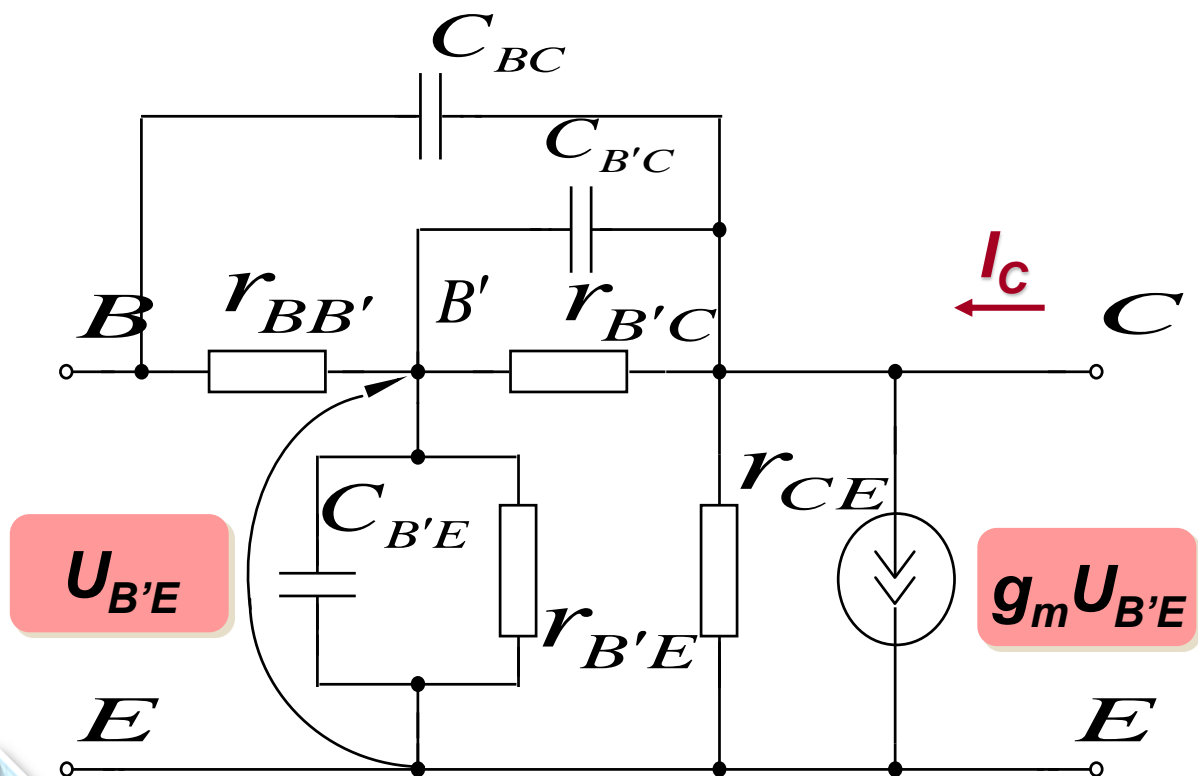
$$\dot{y}_{B'E} = pC_{B'E} + 1/r_{B'E}$$

$$\dot{y}_{B'C} = pC_{B'C} + 1/r_{B'C}$$

$$[Y]_0 =$$

| | | | | |
|----|-----------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|
| | B | B' | E | C |
| B | $1/r_{BB'} + pC_{BC}$ | $-1/r_{BB'}$ | | $-pC_{BC}$ |
| B' | $-1/r_{BB'}$ | $1/r_{BB'} + \dot{y}_{B'E} + \dot{y}_{B'C}$ | $-\dot{y}_{B'E}$ | $-\dot{y}_{B'C}$ |
| E | | $-\dot{y}_{B'E} - g_m$ | $\dot{y}_{B'E} + 1/r_{CE} + g_m$ | $-1/r_{CE}$ |
| C | $-pC_{BC}$ | $-\dot{y}_{B'C} + g_m$ | $-1/r_{CE} - g_m$ | $1/r_{CE} + \dot{y}_{B'C} + pC_{BC}$ |

За да определим обобщените параметри, трябва да се редуцира вътрешният възел B' (изключване на променлива по метода на Гаус) :



Редуциране на възел B' :

$$Y'_{ij} = Y_{ij} - \frac{Y_{iB'} Y_{B'j}}{Y_{B'B'}}$$

$i = B, E, C \quad j = B, E, C$

$[Y]_o =$
(4x4)

$[Y]'_o =$
(3x3)

| | B | E | C |
|-----|----------|----------|----------|
| B | Y_{BB} | Y_{BB} | Y_{BB} |
| E | Y_{BB} | Y_{BB} | Y_{BB} |
| C | Y_{BB} | Y_{BB} | Y_{BB} |

Изключваме променливата U_B , по метода на Гаус:

B

B'

E

C

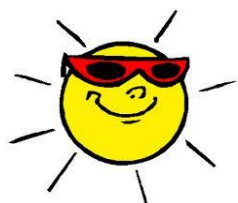
| | | | | |
|-----------|-----------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|
| B | $1/r_{BB'} + pC_{BC}$ | $-1/r_{BB'}$ | | $-pC_{BC}$ |
| B' | $-1/r_{BB'}$ | $1/r_{BB'} + \dot{y}_{B'E} + \dot{y}_{B'C}$ | $-\dot{y}_{B'E}$ | $-\dot{y}_{B'C}$ |
| E | | $-\dot{y}_{B'E} - g_m$ | $\dot{y}_{B'E} + 1/r_{CE} + g_m$ | $-1/r_{CE}$ |
| C | $-pC_{BC}$ | $-\dot{y}_{B'C} + g_m$ | $-1/r_{CE} - g_m$ | $1/r_{CE} + \dot{y}_{B'C} + pC_{BC}$ |

$$p = B'$$

$$Y'_{ij} = Y_{ij} - Y_{iB'}Y_{B'j}/Y_{B'B'} \quad i, j = B, E, C$$

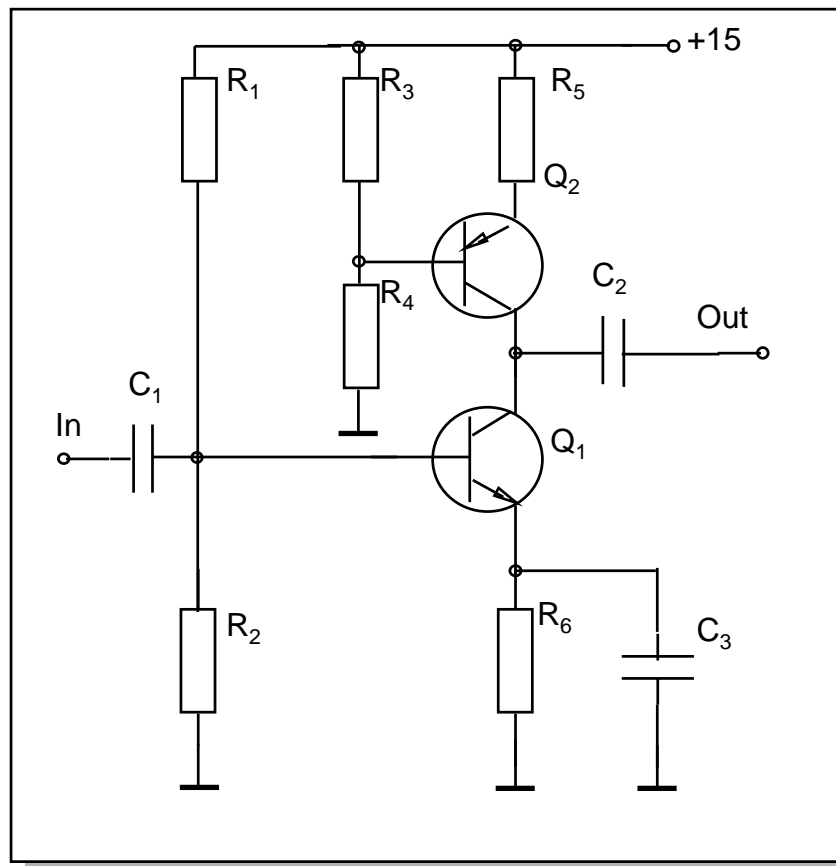
$$Y'_{BB} = Y_{BB} - \frac{Y_{BB'}Y_{B'B}}{Y_{B'B'}} = \frac{1}{r_{BB'}} + pC_{BC} - \frac{(-1/r_{BB'})^2}{1/r_{BB'} + \dot{y}_{B'E} + \dot{y}_{B'C}}$$

.....



Продължете самостоятелно процедурата и определете в символен вид деветте обобщени параметъра на проводимостите на транзистора (без да преработвате изразите), за да сте уверени че разбирате и можете да прилагате изучаваните методи.

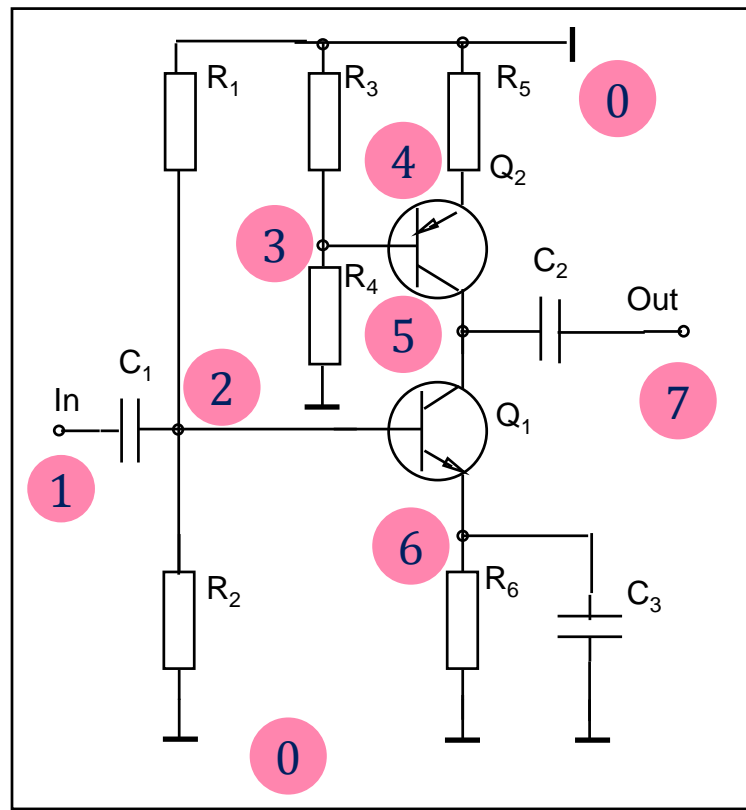
Пример 2: Да се състави матрицата на проводимостите на схемата от Фиг. 2:



Фиг.2

Пример 2: Да се състави матрицата на проводимостите на схемата от Фиг. 2:

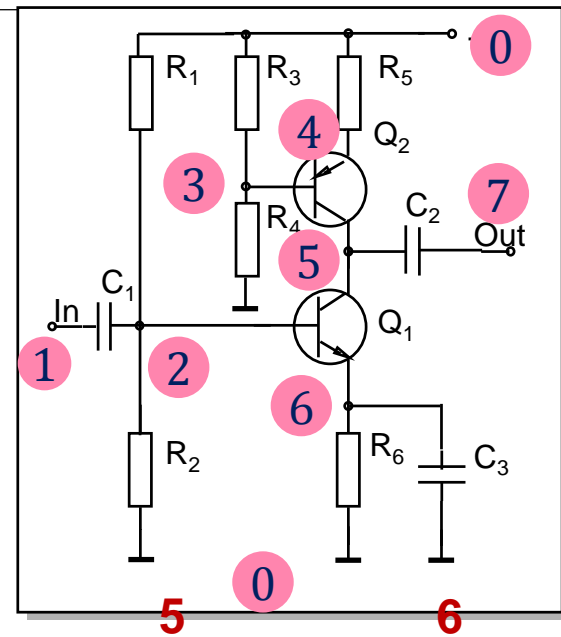
- Еквивалентна схема по променлив ток:



- Брой сечения: 7

- Матрица на проводимосте: $[Y] =$

(7x7)



| | | | | | | | |
|---|---------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | pC_1 | $-pC_1$ | | | | | |
| 2 | $-pC_1$ | $pC_1 + 1/R_1 + 1/R_2 + Y^{Q1}_{BB}$ | | | Y^{Q1}_{BC} | Y^{Q1}_{BE} | |
| 3 | | | $1/R_3 + 1/R_4 + Y^{Q2}_{BB}$ | Y^{Q2}_{BE} | Y^{Q2}_{BC} | | |
| 4 | | | Y^{Q2}_{EB} | $1/R_5 + Y^{Q2}_{EE}$ | Y^{Q2}_{EC} | | |
| 5 | | Y^{Q1}_{CB} | Y^{Q2}_{CB} | Y^{Q2}_{CE} | $pC_2 + Y^{Q1}_{CC} + Y^{Q2}_{CC}$ | Y^{Q1}_{CE} | $-pC_2$ |
| 6 | | Y^{Q1}_{EB} | | | Y^{Q1}_{EC} | $pC_3 + Y^{Q1}_{EE} + 1/R_6$ | |
| 7 | | | | | $-pC_2$ | | pC_2 |