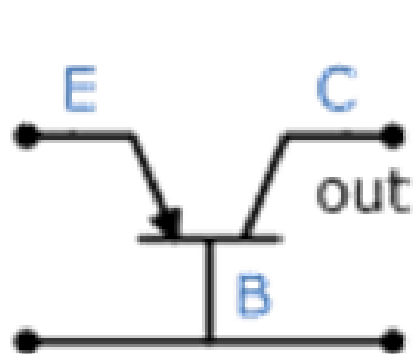


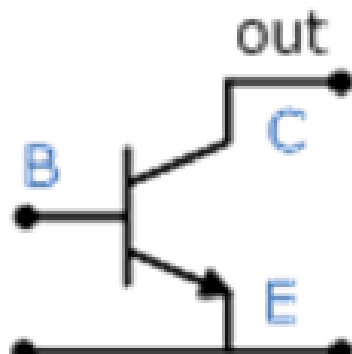
# H-параметри біполярних транзисторів

# Будь-яка схема включення транзистора - чотириполюсник

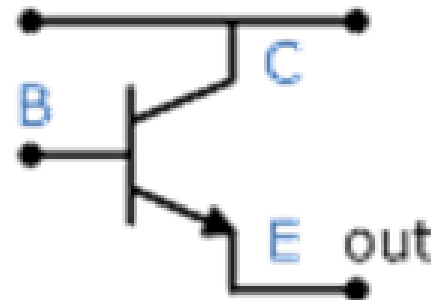
Чотириполюсник – схема (або «чорна скринька»), яка має два входи і два виходи. Оскільки БТ має всього три виводи – то один з виводів є спільним для входу і виходу.



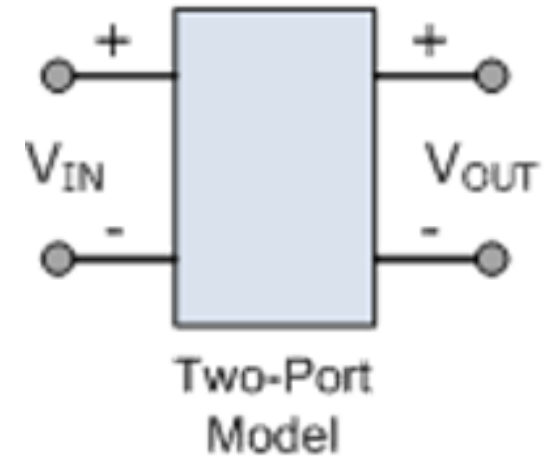
Common  
Base



Common  
Emitter



Common  
Collector



Чотириполюсники описуються системою лінійних рівнянь 2-го порядку.

Зовнішніх параметрів у чотириполюсників 4: вхідний струм, вхідна напруга, вихідний струм, вихідна напруга. Вважається, що якісь два параметра у чотириполюсника відомі, а якісь два – невідомі. В залежності від того, як направити вхідні та вихідні струми, і що прийняти за відомий параметр, а що – за невідомий – може існувати шість систем рівнянь. Для описання БТ використовують спосіб, який отримав назву H-параметри.

# Еквівалентна схема

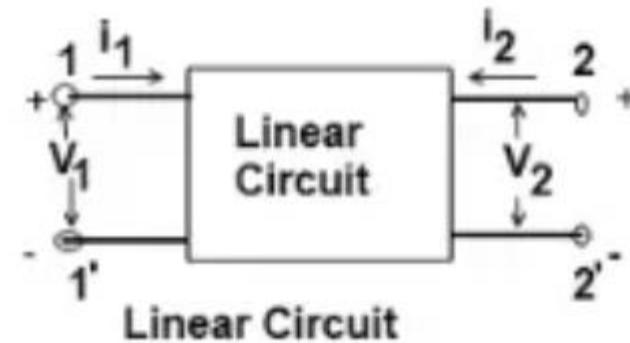
Еквівалентна схема (або схема заміщення) – схема, якою замінюється нелінійний ЕРЕ в системах САПР для розрахунку та моделювання роботи інших, більш складних, схем з цими ЕРЕ.

Як правило, еквівалентні схеми нелінійних чотирьохполісників містять додаткові джерела напруг та струмів.

Система Н-параметрів БТ в загальному випадку:

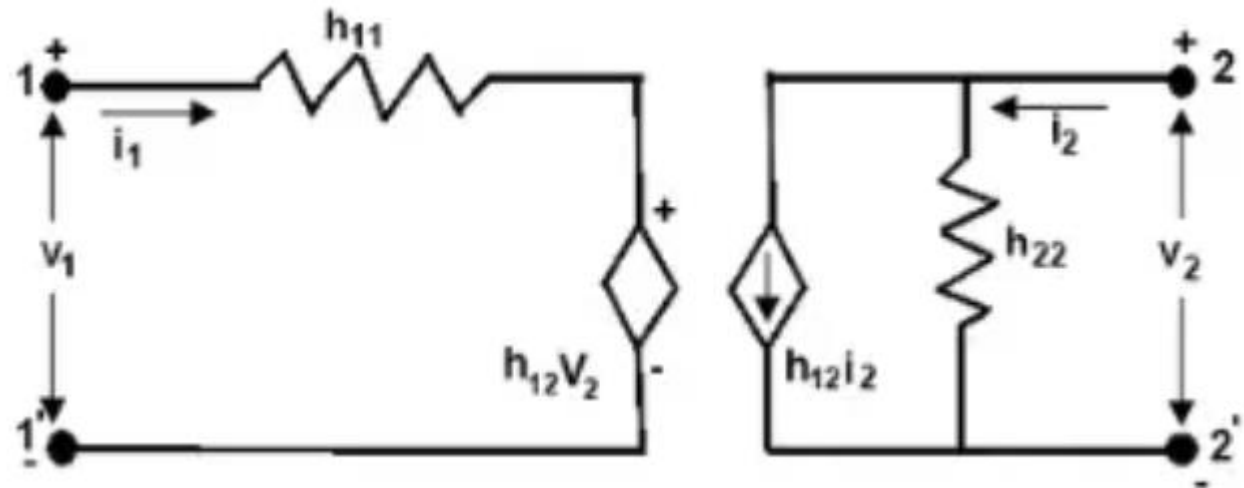
$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$



Або у матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

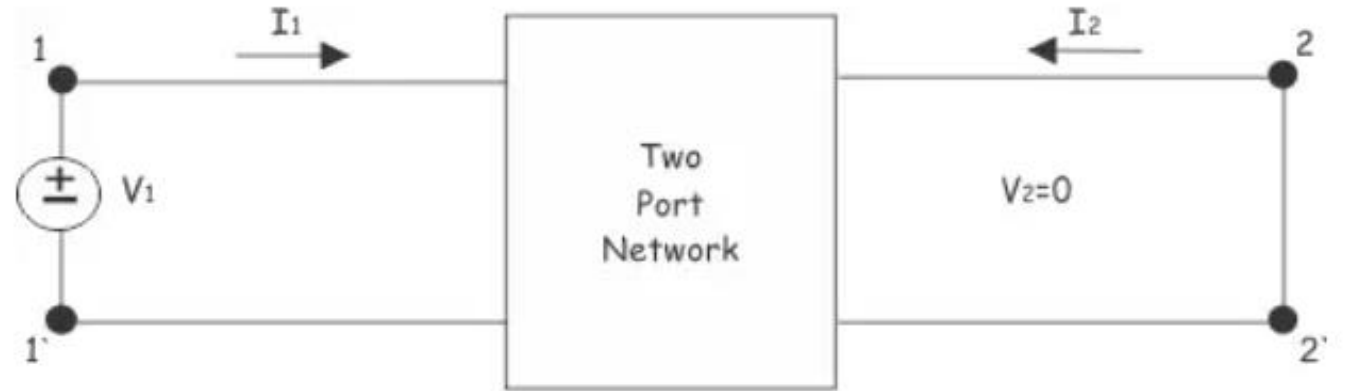


# Визначення Н-параметрів

Параметри  $h_{11}$  і  $h_{21}$  визначаються в режимі короткого замикання по виходу:

$$h_{11} = \frac{V_1}{I_1}, \text{ при } V_2 = 0$$

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1}, \text{ при } V_2 = 0$$



В режимі короткого замикання  $V_2 = 0$ .

Параметр  $h_{11}$  має розмірність [Ом] і його фізичний зміст – вхідний опір схеми.

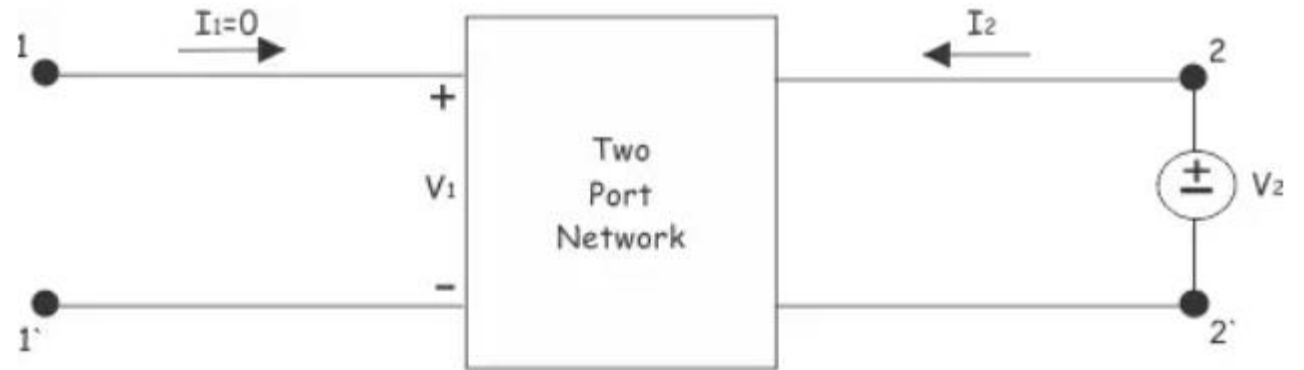
Параметр  $h_{21}$  є безрозмірним і його фізичний зміст – коефіцієнт підсилення по струму.

# Визначення Н-параметрів

Параметри  $h_{12}$  і  $h_{22}$  визначаються в режимі холостого ходу по виходу, але за відсутності вхідного струму:

$$h_{12} = \frac{V_1}{V_2}, \text{ при } I_1 = 0$$

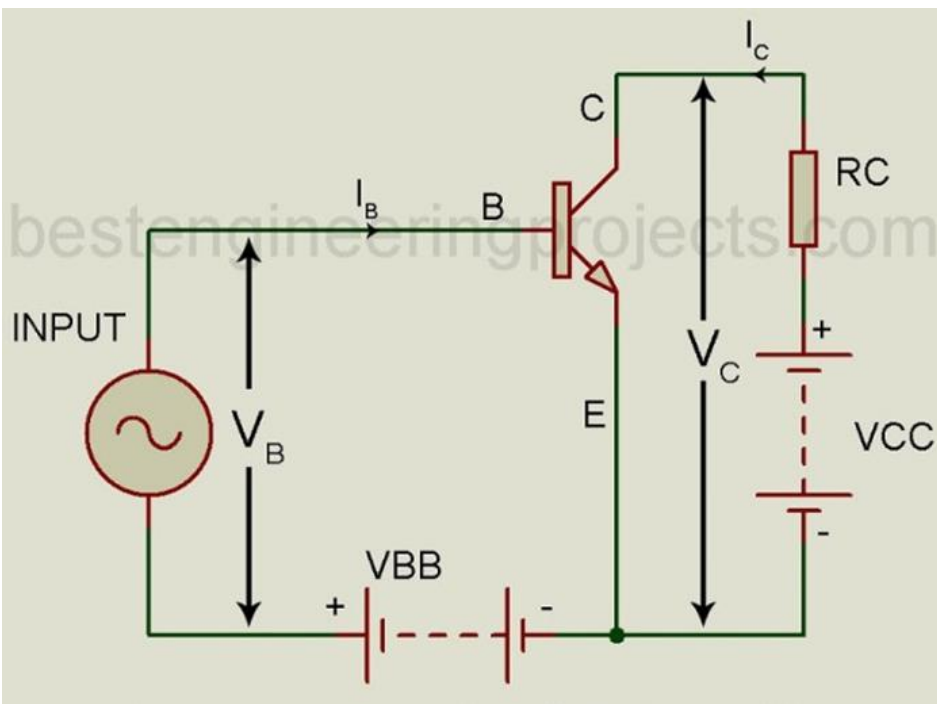
$$h_{22} = \frac{I_2}{V_2}, \text{ при } I_1 = 0$$



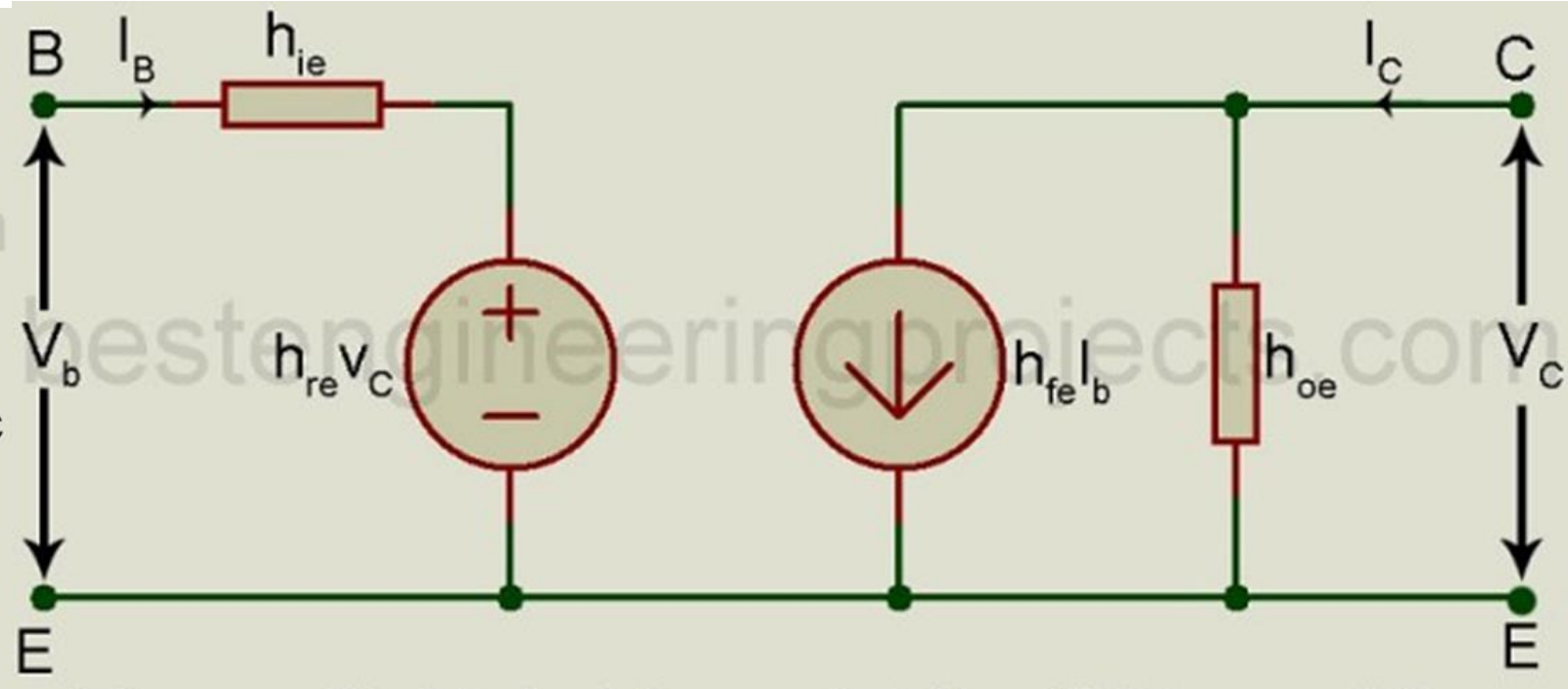
Параметр  $h_{12}$  є безрозмірним, його фізичний зміст – коефіцієнт передачі вихідної напруги на вхід схеми. Параметр  $h_{22}$  має розмірність [См] і його фізичний зміст – вихідна провідність схеми (часто в літературі трапляється термін «адмітанс» - це комплексна провідність).

# Схема зі спільним емітером (CE)

Строго кажучи, Н-параметри залежать від схеми включення транзистора.  
Розглянемо цю залежність.



Основна схема з БТ (CE)



Еквівалентна схема (CE)

# Схема зі спільним емітером

$$V_b = h_{ie} I_B + h_{re} V_c$$

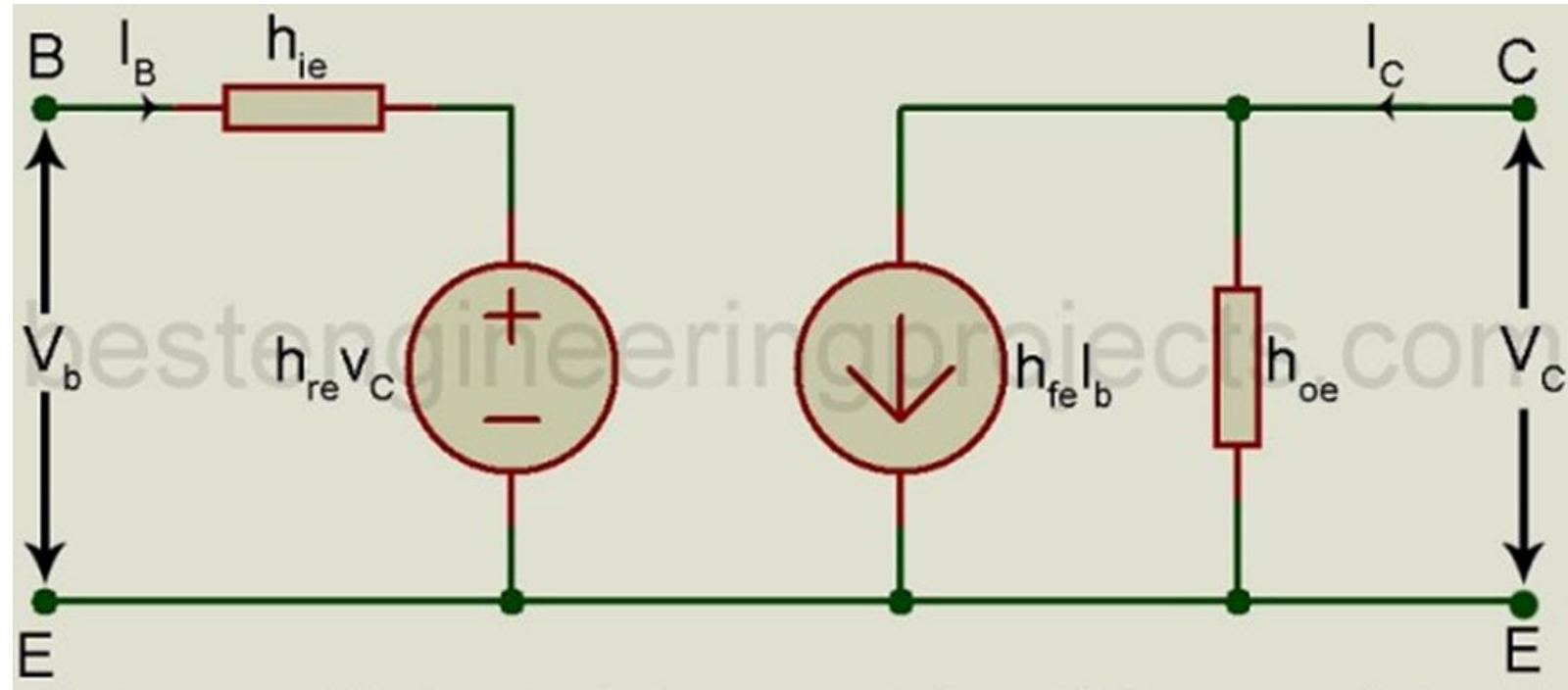
$$I_c = h_{fe} I_B + h_{oe} V_c$$

$$h_{ie} = \frac{V_b}{I_b} \Big|_{V_c=0} = h_{11e}$$

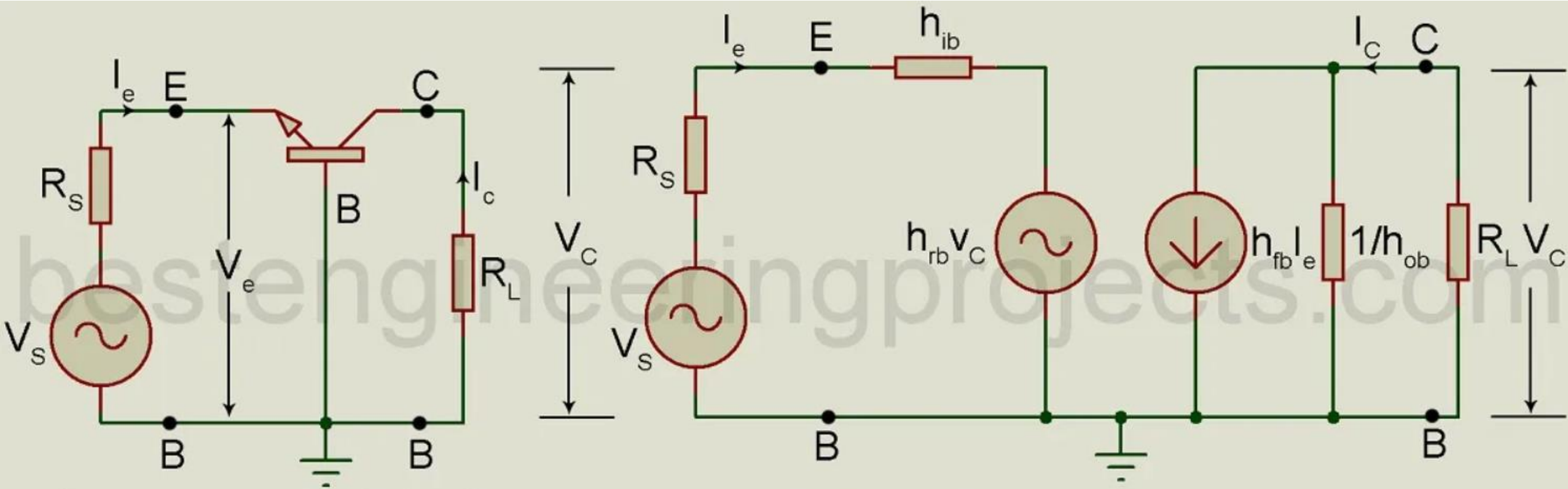
$$h_{fe} = \frac{I_c}{I_b} \Big|_{V_c=0} = h_{21e}$$

$$h_{re} = \frac{V_b}{V_c} \Big|_{I_b=0} = h_{12e}$$

$$h_{oe} = \frac{I_c}{V_c} \Big|_{I_b=0} = h_{22e}$$



# Схема зі спільною базою (СБ)



Основна схема з БТ (СБ)

Еквівалентна схема (СБ)



# Схема зі спільною базою

$$V_{be} = h_{ib}I_e + h_{rb}V_c$$

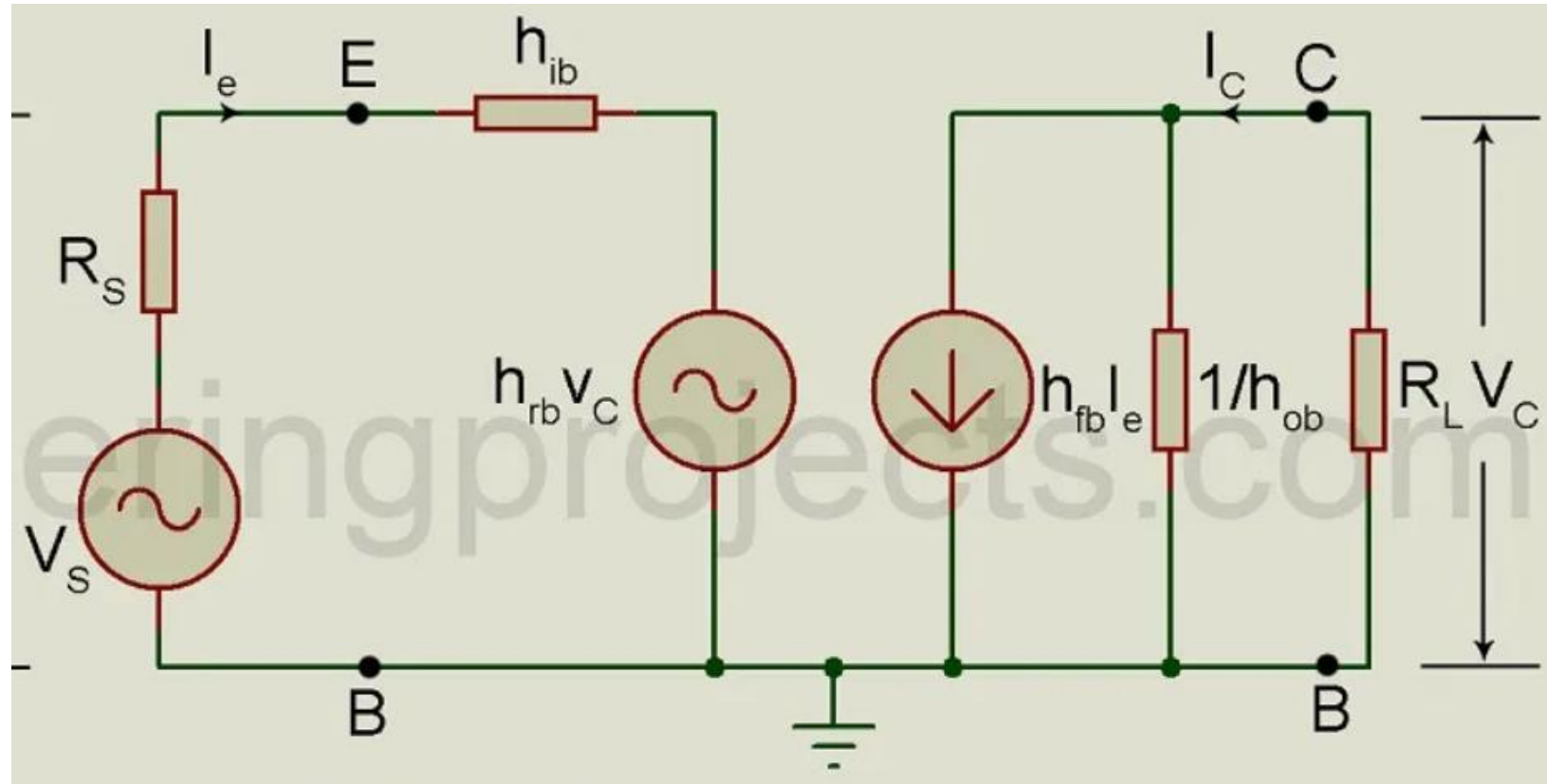
$$I_e = h_{fb}I_e + h_{ob}V_c$$

$$h_{ib} = \frac{V_{be}}{I_e} \Big|_{V_c=0} = h_{11b}$$

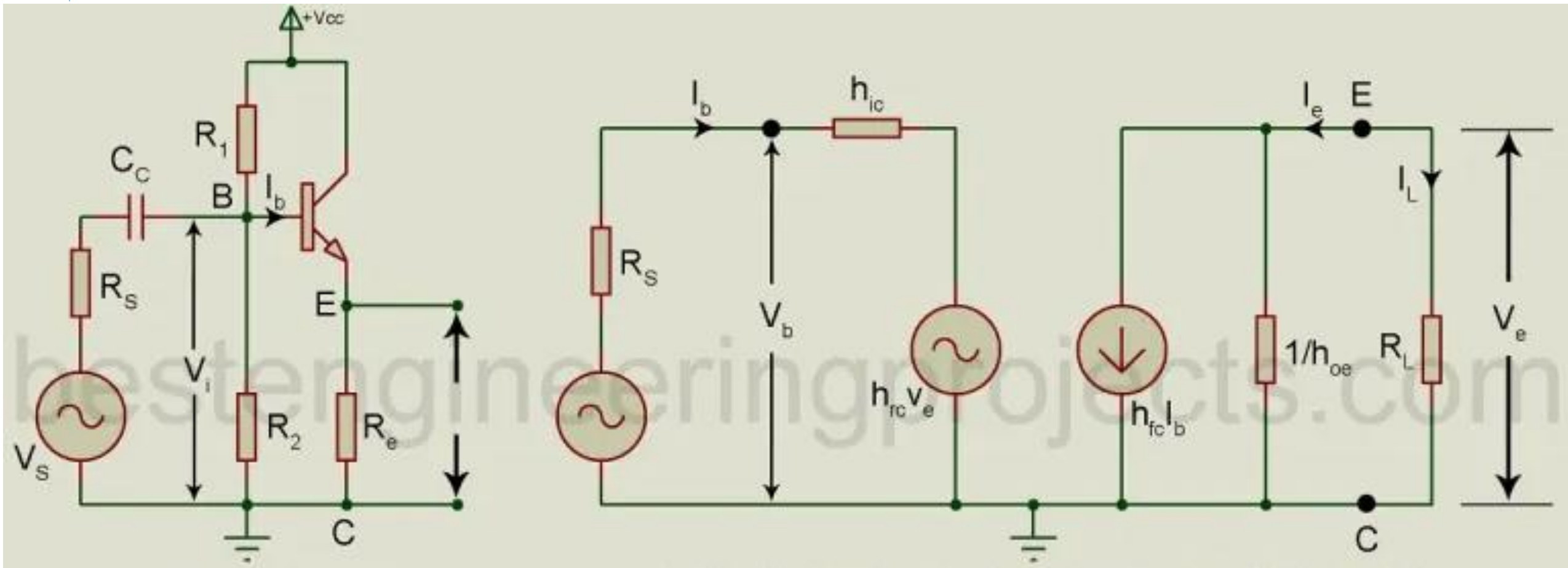
$$h_{fb} = \frac{I_c}{I_e} \Big|_{V_c=0} = h_{21b}$$

$$h_{rb} = \frac{V_{be}}{V_c} \Big|_{I_b=0} = h_{12b}$$

$$h_{ob} = \frac{I_c}{V_{be}} \Big|_{I_b=0} = h_{22b}$$



# Схема зі спільним колектором (СК)



Основна схема з БТ (СК)

Еквівалентна схема (СК)

# Схема зі спільним колектором

$$V_{bc} = h_{ic}I_b + h_{rc}V_{ec}$$

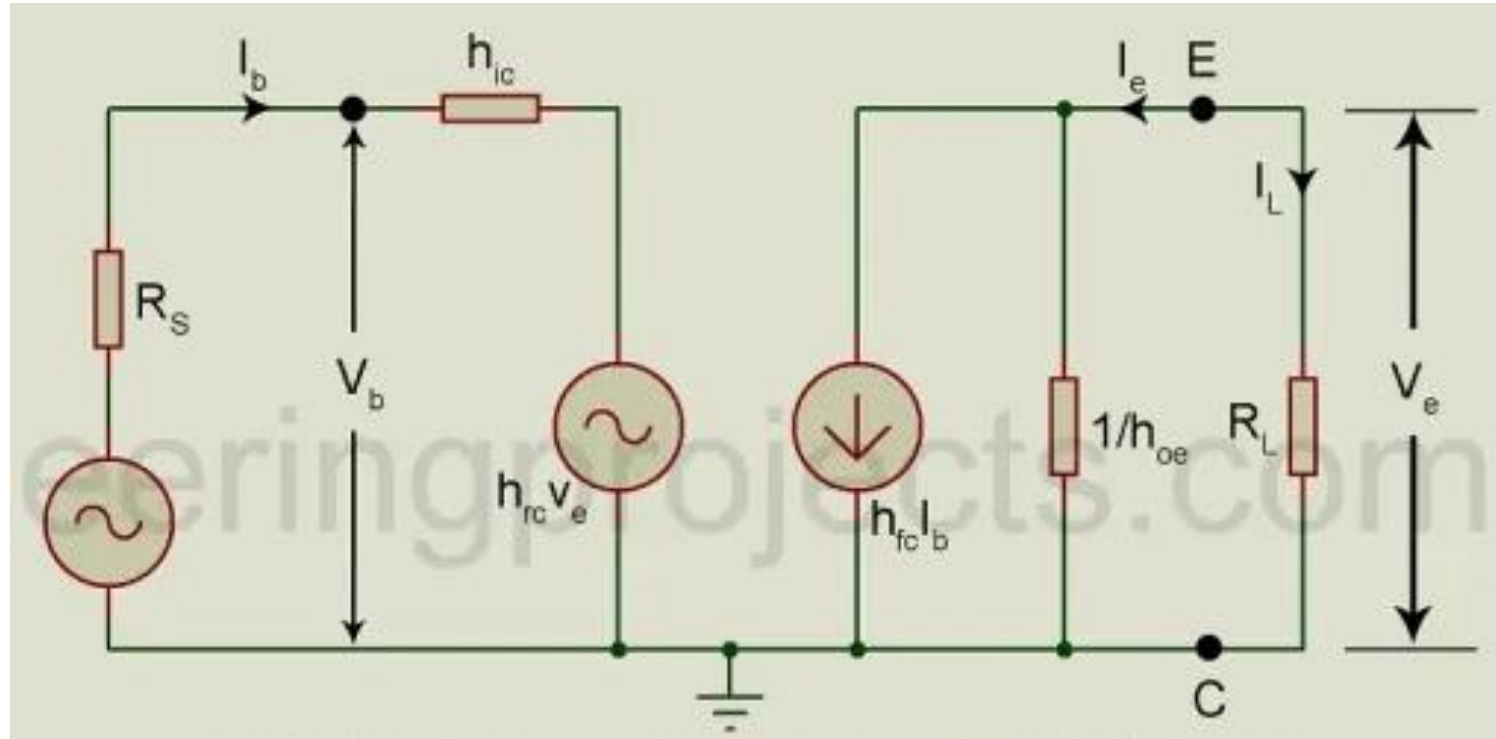
$$I_e = h_{fc}I_b + h_{oc}V_{ec}$$

$$h_{ic} = \frac{V_{bc}}{I_e} \Big|_{V_{ec}=0} = h_{11c}$$

$$h_{fc} = \frac{I_e}{I_b} \Big|_{V_{ec}=0} = h_{21c}$$

$$h_{rc} = \frac{V_{bc}}{V_{ec}} \Big|_{I_b=0} = h_{12c}$$

$$h_{oc} = \frac{I_e}{V_{cb}} \Big|_{I_b=0} = h_{22c}$$



# Формули перерахунку Н-параметрів

Спільна база	Спільний колектор
$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}} = h_{11b} = \frac{h_{11e}}{1 + h_{21e}}$	$h_{ic} = h_{ie} = h_{11c} = h_{11e}$
$h_{rb} = \frac{h_{ie}h_{oe}}{1 + h_{fe}} - h_{re} = h_{12b} = \frac{h_{11e}h_{22e}}{1 + h_{21e}} - h_{12e}$	$h_{rc} = 1$
$h_{fb} = \frac{-h_{fe}}{1 + h_{fe}} = h_{21b} = \frac{-h_{21e}}{1 + h_{21e}}$	$h_{fc} = -(1 + h_{fe}) = h_{21c} = -(1 + h_{21e})$
$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}} = h_{22b} = \frac{h_{22e}}{1 + h_{21e}}$	$h_{oc} = h_{oe} = h_{22c} = h_{22e}$

# Типові значення Н-параметрів

Параметр	СЕ	СБ	СК
$h_i (h_{11})$	Одиниці кОм	Десятки Ом	Десятки - сотні кОм
$h_r (h_{12})$	Мале ( $10^{-3...-4}$ )	Мале ( $10^{-3...-4}$ )	1
$h_f (h_{21})$	Десятки – пара сотень	Менше 1 (0,95...0,98)	Десятки – пара сотень (але від'ємне)
$h_c (h_{22})$	Десятки мСм (вихідний опір - високий)	Одиниці мкСм (вихідний опір – дуже високий)	Одиниці См (вихідний опір - низький)

# Резюме. Область використання різних схем включення БТ

## **Схема зі спільним емітером:**

- Може підсилювати як по струму, так і по напрузі;
- Має достатньо великий як вхідний, так і вихідний опори;
- Не любить малого опору навантаження;
- Інвертує вхідний сигнал;
- Має найгірші частотні властивості (тобто не любить високих частот);
- Є найбільш широко використовуваною схемою.

## **Схема зі спільною базою:**

- Може підсилювати лише по напрузі, але не по струму;
- Має малий вхідний, але дуже великий вихідний опори (найбільший серед трьох схем);
- Не любить малого опору навантаження;
- Не інвертує вхідний сигнал;
- Має найкращі частотні властивості (тобто нормально працює на високих частотах);
- В основному використовується як первинний (вхідний) підсилювач.

## **Схема зі спільним колектором:**

- Може підсилювати лише по струму, але не по напрузі;
- Має найбільший серед трьох схем вхідний опір, і низький вихідний опір;
- Ідеально пристосована для роботи на низький опір навантаження;
- Не інвертує вхідний сигнал;
- Широко використовується як буферна схема між сусідніми каскадами.

Далі буде...

---

Польові транзистори