

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи
за дисциплінами “Електроніка” та “Твердотіла електроніка”
(для студентів спеціальностей «Прилади і системи екологічного моніторингу»,
«Електронні системи»)

№ _____

Розглянуто на засіданні
кафедри “Електронна техніка”
протокол № 6 від 26 січня 2011

Затверджено на засіданні
навчально-видавничої ради
ДонНТУ
протокол № ____ від _____

ДОНЕЦЬК – 2011

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи за дисциплінами «Електроніка» та «Твердотіла електроніка» для студентів спеціальностей «Прилади і системи екологічного моніторингу», «Електронні системи»/Укл.: М.Г. Винниченко, О.Г. Ликов – Донецьк: ДонНТУ, 2011р. – 12 с.

Наведені завдання, основні теоретичні положення і методика виконання розрахунково-графічної роботи.

Укладачі: М.Г. Винниченко, к.т.н., доцент
О.Г. Ликов, асистент

ЗАВДАННЯ

За статичними вхідними та вихідними ВАХ біполярного транзистора в заданій точці спокою:

1) визначити h -параметри транзистора для схеми ввімкнення зі спільним емітером (СЕ) і навести схему заміщення транзистора в h -параметрах;

2) за отриманими h -параметрами знайти залежність $y_e = f(h_e)$ та $z_e = f(h_e)$. Навести схеми заміщення транзистора в y -параметрах і z -параметрах;

3) за отриманими h -параметрами для схеми ввімкнення зі СЕ визначити h -параметри транзистора для схем ввімкнення зі спільною базою (СБ) та спільним колектором (СК), а також параметри Т-подібної фізичної схеми заміщення транзистора. Навести схеми заміщення біполярного транзистора в h -параметрах для схем ввімкнення зі СБ, СК і Т-подібні схеми заміщення для схем включення зі СБ, СЕ та СК.

При побудові схем заміщення врахувати фізику роботи транзистора.

Варіанти завдань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти завдань на розрахунково-графічну роботу

Номер варіанту	Тип транзистора	Координати точки спокою	
		$I_{ко}, \text{мА}$	$U_{кео}, \text{В}$
1	КТ312А	15	7.5
2	КТ340А	20	3
3	ГТ108Г	7	6
4	КТ201А	10	4
5	ГТ310В	4	3
6	КТ301Г	2	6
7	КТ207В	0.5	3
8	КТ317Б	0.2	2
9	МП111	8	3
10	КТ369А	80	2
11	КТ343Б	15	2
12	ГТ109А	2.5	6
13	КТ379В	0.7	5
14	КТ342Б	20	3
15	КТ203А	3	5
16	КТ3102А	20	10
17	КТ347А	6	3
18	КТ104В	30	10
19	КТ316Д	23	4

20	КТ380А	5	2.5
21	КТ363А	15	3
22	КТ368Б	4	8
23	ГТ402Ж	200	4
24	МП20А	20	10
25	МП42	15	6

Біполярний транзистор (БПТ) – напівпровідниковий прилад з двома взаємодіючими електричними р-п переходами і трьома виводами, підсилювальні властивості якого обумовлені явищами інжекції і екстракції неосновних носіїв заряду.

Залежно від того, який електрод транзистора є спільним для вхідного і вихідного кола, розрізняють три основні схеми ввімкнення транзистора: зі спільною базою (СБ), зі спільним емітером (СЕ) та спільним колектором (СК).

Для кожної схеми ввімкнення транзистора виділяють два основні типи вольт-амперних характеристик (ВАХ):

- вхідні $I_1=f(U_1)$ при $U_2=const$;
- вихідні $I_2=f(U_2)$ при $I_1=const$.

(U_1 і I_1 – вхідні напруга і струм; U_2 і I_2 – вихідні напруга і струм).

Для практичних розрахунків використовуються різні еквівалентні схеми транзистора як чотиріполюсника. Найчастіше застосовують три системи параметрів біполярного транзистора як еквівалентного чотиріполюсника:

- система z-параметрів:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= z_{11} \cdot \dot{I}_1 + z_{12} \cdot \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= z_{21} \cdot \dot{I}_1 + z_{22} \cdot \dot{I}_2 \end{aligned}$$

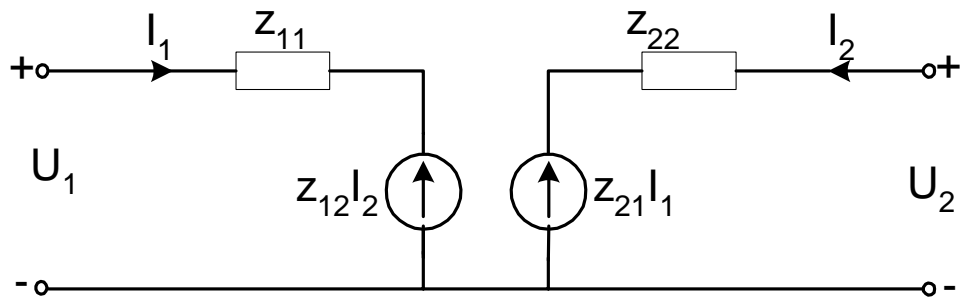
- система h-параметрів:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= h_{11} \cdot \dot{I}_1 + h_{12} \cdot \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= h_{21} \cdot \dot{I}_1 + h_{22} \cdot \dot{U}_2 \end{aligned}$$

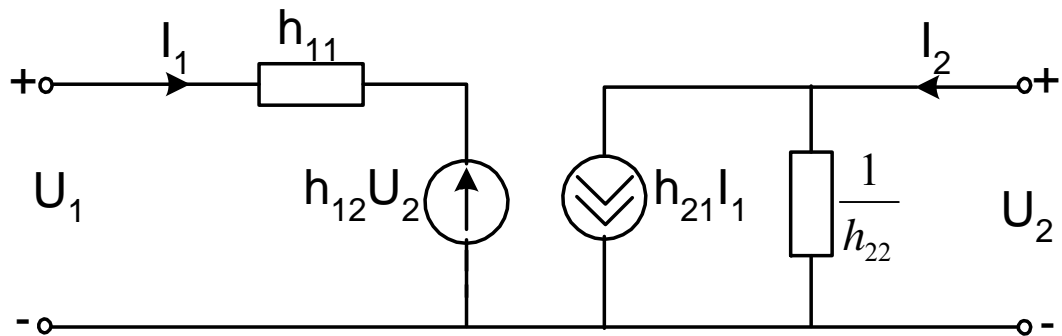
- система y- параметрів:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= y_{11} \cdot \dot{U}_1 + y_{12} \cdot \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= y_{21} \cdot \dot{U}_1 + y_{22} \cdot \dot{U}_2 \end{aligned}$$

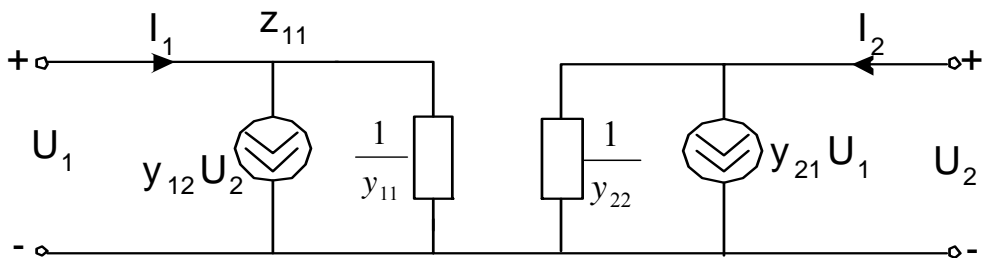
Еквівалентні схеми транзистора в z-, h- і y-параметрах наведені на рисунку 1.



а



б



в

Рисунок 1 – Еквівалентні схеми транзистора в z-параметрах (а), h-параметрах (б) та y-параметрах (в)

Разом зі схемами заміщення в z-, y- і h-параметрах широко застосовується і фізична схема заміщення біполярного транзистора. Фізична Т-подібна схема заміщення транзистора для схеми ввімкнення зі спільною базою наведена на рисунку 2.

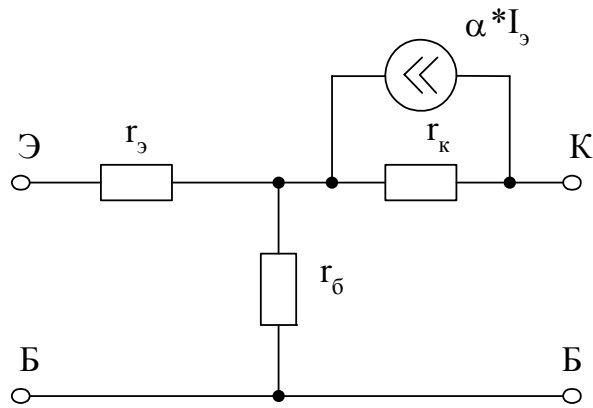


Рисунок 2 – Фізична Т-подібна схема заміщення транзистора для схеми ввімкнення зі спільною базою

Параметри фізичної схеми заміщення безпосередньо визначити неможливо, тому їх визначають шляхом перерахунку за відомими. Між всіма параметрами можна встановити взаємозв'язок, використовуючи еквівалентність чотирьохполюсників, що моделюють транзистор для різних схем ввімкнення.

Розрахунок h-параметрів біполярного транзистора для схеми ввімкнення зі спільним емітером

За ВАХ транзистора можна спочатку визначити h-параметри біполярного транзистора, які мають наступний фізичний сенс:

$$h_{11} = \left. \frac{\partial U_1}{\partial i_1} \right|_{U_2 = \text{const}}$$
 – вхідний опір транзистора при короткому замиканні з боку виходу;

$$h_{12} = \left. \frac{\partial U_1}{\partial U_2} \right|_{i_2 = \text{const}}$$
 – коефіцієнт зворотного зв'язку за напругою при холостому ході з боку входу;

$$h_{21} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial I_1} \right|_{U_2 = \text{const}}$$
 – коефіцієнт передачі за струмом при короткому замиканні з боку виходу;

$$h_{22} = \left. \frac{\partial I_2}{\partial U_2} \right|_{I_1 = \text{const}}$$
 – вихідна провідність транзистора при холостому ходу з боку входу.

Оскільки в довідниках, як правило, наводять ВАХ для схеми ввімкнення зі СЕ, то спочатку визначаються h-параметри транзистора для даної схеми ввімкнення. Для цього спочатку необхідно обрати робочу точку за постійним струмом ($I_{к0}$, $U_{ке0}$), в якій необхідно знайти параметри і перенести її на вхідні ВАХ транзистора.

Параметри h_{11e} та h_{12e} знаходять за сімейством вхідних ВАХ транзистора (див. рис. 3).

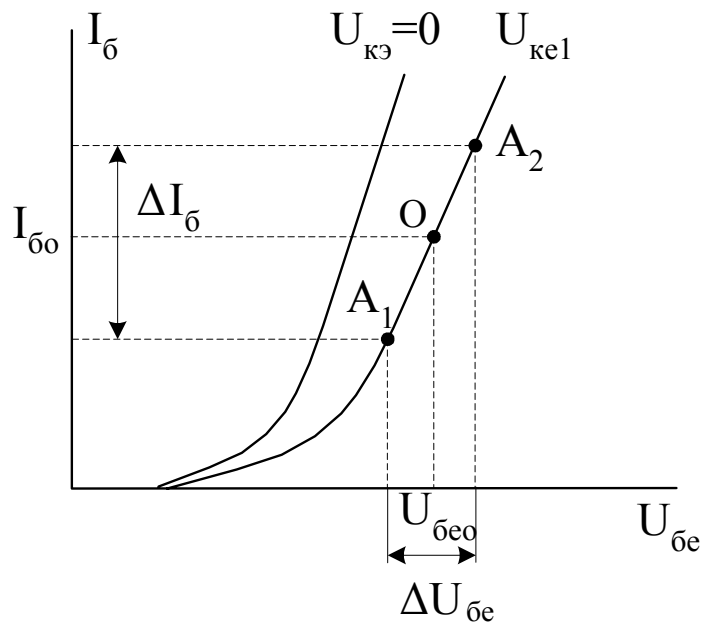


Рисунок 3 – Вхідні ВАХ транзистора

Визначимо параметр h_{11e} для заданої робочої точки O : $h_{11e} = (\Delta U_{be} / \Delta I_b) |_{U_{ke} = \text{const}}$. Для цього на характеристиці, що відповідає напрузі $U_{ке} = U_{ке0}$, поблизу робочої точки O обираємо дві допоміжні точки A_1 і A_2 , і визначаємо прирости $\Delta U_{be} = (U_{beA2} - U_{beA1})$ та $\Delta I_b = (I_{bA2} - I_{bA1})$ (прирости вибирають так, щоб не виходити за межі лінійної ділянки, їх можна приблизно прийняти за (10-20)% від значень робочої точки).

Графічне визначення параметра $h_{12e} = (\Delta U_{be} / \Delta U_{ke}) |_{I_b = \text{const}}$ ускладнено, оскільки на вхідних ВАХ, як правило, задаються дві характеристики – при $U_{ке} = 0$ і $U_{ке} = U_{ке1}$, але використовувати характеристику при $U_{ке} = 0$ не можна, оскільки похибка визначення h_{12e} буде дуже велика, а характеристики при

характеристик слід вибирати ту характеристику, яка знята при обраному значення струму бази $I_b=I_{b0}$.

Якщо робоча точка не співпадає ні з однією характеристик наведеної на ВАХ, то таку характеристику треба провести самостійно, між і по аналогії з сусідніми, значення струму бази яких відомі, і задати їй своє значення струму бази, що дорівнює I_{b0} .

Зв'язок між системами параметрів біполярного транзистора як еквівалентного чотириполюсника для однієї схеми ввімкнення

У зв'язку з тим, що наведені вище системи параметрів біполярного транзистора як еквівалентного чотириполюсника описують один і той же транзистор, то можна встановити зв'язок між параметрами різних систем для однієї схеми ввімкнення, знаючи будь-яку з систем параметрів. Для цього необхідно:

- записати системи рівнянь і відповідно до фізики роботи транзистора погодити напрямки струмів і полярність ЕРС;
- привести задану систему параметрів до аналогічних рівнянь системи, параметри якої потрібно визначити;
- обидві системи записати в матричній формі; знаки при коефіцієнтах залишити, вважаючи, що струми і напруги мають позитивний знак;
- прирівняти матриці струмів, напруг і коефіцієнтів.

Припустимо, нам відомі у-параметри, а необхідно визначити z-параметри, тобто знайти залежність z-параметрів від у-параметрів.

Записуємо дві системи рівнянь – у відомих у-параметрах і в невідомих z-параметрах:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = y_{11} \cdot \dot{U}_1 + y_{12} \cdot \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = y_{21} \cdot \dot{U}_1 + y_{22} \cdot \dot{U}_2 \end{cases}; \quad \begin{cases} \dot{U}_1 = z_{11} \cdot \dot{I}_1 + z_{12} \cdot \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = z_{21} \cdot \dot{I}_1 + z_{22} \cdot \dot{I}_2 \end{cases}$$

Перетворюємо систему у-параметрів відповідно до системи z-параметрів. Для цього знаходимо U_1 і U_2 :

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \frac{\dot{I}_1}{y_{11}} - \frac{y_{12} \dot{U}_2}{y_{11}} \\ \dot{U}_2 = \frac{\dot{I}_2}{y_{22}} - \frac{y_{21} \dot{U}_1}{y_{22}} \end{cases}$$

Отримуємо:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \frac{\dot{I}_1}{y_{11}} - \frac{y_{12}}{y_{11}} \left(\frac{\dot{I}_2}{y_{22}} - \frac{y_{21} \dot{U}_1}{y_{22}} \right) \\ \dot{U}_2 = \frac{\dot{I}_2}{y_{22}} - \frac{y_{21}}{y_{22}} \left(\frac{\dot{I}_1}{y_{11}} - \frac{y_{12} \dot{U}_2}{y_{11}} \right) \end{cases}; \quad \begin{cases} \dot{U}_1 = \frac{y_{22} \dot{I}_1}{y_{11} y_{22} - y_{21} y_{12}} - \frac{y_{12} \dot{I}_2}{y_{11} y_{22} - y_{21} y_{12}} \\ \dot{U}_2 = -\frac{y_{21} \dot{I}_1}{y_{11} y_{22} - y_{21} y_{12}} + \frac{y_{11} \dot{I}_2}{y_{11} y_{22} - y_{21} y_{12}} \end{cases}$$

Позначимо: $\Delta y = y_{11} y_{22} - y_{21} y_{12}$.

Запишемо дві системи рівнянь (невідому і перетворену відому) в матричній формі:

$$\begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{y_{22}}{\Delta y} & -\frac{y_{12}}{\Delta y} \\ -\frac{y_{21}}{\Delta y} & \frac{y_{11}}{\Delta y} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{vmatrix}$$

Виходячи з рівності матриць, знаходимо значення z-параметрів:

$$z_{11} = \frac{y_{22}}{\Delta y}; \quad z_{12} = -\frac{y_{12}}{\Delta y}; \quad z_{21} = -\frac{y_{21}}{\Delta y}; \quad z_{22} = \frac{y_{11}}{\Delta y}$$

Зв'язок між системами параметрів біполярного транзистора як еквівалентного чотирьохполюсника для різних схем ввімкнення

Оскільки, як правило, спочатку задаються або визначаються параметри транзистора для однієї з схем ввімкнення, то для визначення цих же параметрів, але для інших схем ввімкнення необхідно встановити між ними взаємозв'язок. Методика встановлення зв'язку аналогічна методиці при встановленні зв'язку

між системами параметрів для однієї схеми ввімкнення. При цьому слід враховувати, що відповідно до фізики роботи транзистора в ньому завжди виконуються умови:

$$\dot{I}_e = \dot{I}_b + \dot{I}_k; \quad \dot{U}_{be} + \dot{U}_{kb} + \dot{U}_{ek} = 0.$$

Припустимо, що нам відомі у-параметри для схеми ввімкнення зі спільною базою, а необхідно визначити у-параметри для схеми ввімкнення зі спільним емітером.

Запишемо дві системи рівнянь – у відомих у-параметрах для схеми ввімкнення зі спільною базою і в невідомих у-параметрах для схеми ввімкнення зі спільним емітером (у системах рівнянь напрями струмів і полярність ЕРС повинні бути узгоджені з фізикою роботи транзистора):

$$\begin{cases} \dot{I}_E = y_{11b} \cdot \dot{U}_{EB} + y_{12b} \cdot \dot{U}_{KB} \\ \dot{I}_K = -y_{21b} \cdot \dot{U}_{EB} - y_{22b} \cdot \dot{U}_{KB} \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{I}_B = -y_{11e} \cdot \dot{U}_{BE} - y_{12e} \cdot \dot{U}_{KE} \\ \dot{I}_K = -y_{21e} \cdot \dot{U}_{BE} - y_{22e} \cdot \dot{U}_{KE} \end{cases}$$

Приводимо систему у-параметрів для схеми ввімкнення зі спільною базою до системи у-параметрів для схеми ввімкнення зі спільним емітером. Для цього враховуємо, що:

$$\dot{I}_e = \dot{I}_b + \dot{I}_k; \quad \dot{U}_{EB} = -\dot{U}_{BE}; \quad \dot{U}_{kb} = \dot{U}_{ke} - \dot{U}_{be}.$$

Отримуємо:

$$\begin{cases} \dot{I}_B = -(y_{11b} + y_{12b} + y_{21b} + y_{22b}) \cdot \dot{U}_{BE} + (y_{12b} + y_{22b}) \cdot \dot{U}_{KE} \\ \dot{I}_K = (y_{21b} + y_{22b}) \cdot \dot{U}_{BE} - y_{22b} \cdot \dot{U}_{KE} \end{cases}$$

Запишемо дві системи рівнянь (невідому і перетворену відому) в матричній формі:

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_B \\ \dot{I}_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y_{11e} & -y_{12e} \\ -y_{21e} & -y_{22e} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{U}_{BE} \\ \dot{U}_{KE} \end{pmatrix};$$

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_B \\ \dot{I}_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(y_{11\bar{6}} + y_{12\bar{6}} + y_{21\bar{6}} + y_{22\bar{6}}) & (y_{12\bar{6}} + y_{22\bar{6}}) \\ (y_{21\bar{6}} + y_{22\bar{6}}) & -y_{22\bar{6}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{U}_{BE} \\ \dot{U}_{KE} \end{pmatrix}.$$

Виходячи з рівності матриць, знаходимо значення у-параметрів для схеми ввімкнення зі спільним емітером:

$$y_{11e} = y_{11\bar{6}} + y_{12\bar{6}} + y_{21\bar{6}} + y_{22\bar{6}}; \quad y_{12e} = -(y_{12\bar{6}} + y_{22\bar{6}});$$

$$y_{21e} = -(y_{21\bar{6}} + y_{22\bar{6}}); \quad y_{22e} = y_{22\bar{6}}.$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Виноградов Ю.В. Основы электронной и полупроводниковой техники. – М.: Энергия, 1972. – 536 с.
2. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: Энергия, 1973. – 608 с.
3. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник/Под ред. Перемельмана Б.Л. – М.: Радио и связь, 1981. – 656 с.