

*Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю. М. Потєбні*

*Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного  
забезпечення*

## **Практичне заняття 1**

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

### **Параметри електронних кіл на біполярних транзисторах**

Студента (ки) 2 курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Викладач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Метою вивчення теми є засвоєння основних технічних показників електронних кіл на біполярних транзисторах.

Ключові терміни та поняття: транзистор, резистор, конденсатор, ємність, напруга, струм, опір,.

План самостійного опрацювання теми.

1. Засвоїти схеми включення біполярних транзисторів.
2. Засвоїти технічні показники кіл на біполярних транзисторах.
3. Засвоїти режими роботи кіл на біполярних транзисторах.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Для розрахунку електричних кіл, які містять транзистори, необхідно знати залежності між струмами і напругами на їх входах та виходах.

Ці залежності є вольт-амперними характеристиками (ВАХ) транзистора. Вони можуть бути статичними і динамічними. Статичні характеристики визначаються при постійних напругах на електродах і за відсутності опору навантаження. Динамічні - при змінних напругах і за наявності опору навантаження.

ВАХ містять інформацію про властивості транзистора у всіх режимах роботи при великих і малих сигналах, у тому числі про зв'язки між параметрами. З вольт-амперних характеристик можна визначити ряд параметрів, які не наводяться в довідковій літературі, а також розрахувати кола зміщення, стабілізації режиму, оцінити роботу транзистора в широкому діапазоні імпульсних і постійних струмів, потужностей і напруг. В основному використовуються два сімейства статичних вольт-амперних характеристик: вхідні та вихідні.

Вхідна статична характеристика - це залежність вхідного струму від вхідної напруги  $I_{вх} = f(U_{вх})$ , вихідна - залежність вихідного струму від вихідної напруги  $I_{вих} = f(U_{вих})$ .

Характеристики і параметри біполярного транзистора (БТ) як чотириполюсника (рис. 1.1) розподіляються між системами залежно від того, які напруги і струми беруть за аргументи, а які за значення функції. Найбільш поширеними є три системи характеристик і параметрів: Y-, Z- та H-системи (таблиця 1.1).

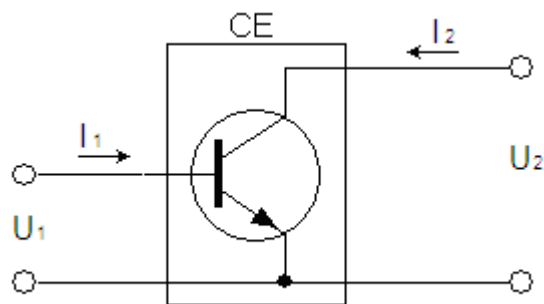


Рисунок 1.1 - Транзистор у вигляді чотириполюсника

Таблиця 1.1- Характеристики і параметри біполярного транзистора

Система	Y	Z	H
Аргумент	$U_{\text{ВХ}}, U_{\text{ВИХ}}$	$I_{\text{ВХ}}, I_{\text{ВИХ}}$	$I_{\text{ВХ}}, U_{\text{ВИХ}}$
Функції	$I_{\text{ВХ}}, I_{\text{ВИХ}}$	$U_{\text{ВХ}}, U_{\text{ВИХ}}$	$U_{\text{ВХ}}, I_{\text{ВИХ}}$

Оскільки найбільше прикладне значення має H-система характеристик і параметрів (гібридна система), то їй приділяється максимальна увага в інженерній практиці, в довідниках та іншій спеціальній літературі.

Припустимо, що при вимірюваннях будуть задаватись вхідний струм та вихідна напруга і вимірюватись вхідна напруга та вихідний струм, після чого результуючі вольтамперні характеристики транзистора будуть записані у вигляді:

$$U_1 = f_1(I_1, U_2), \quad I_2 = f_2(I_1, U_2).$$

Повні диференціали вхідної напруги та вихідного струму запишуться в наступному вигляді:

$$dU_1 = \frac{\partial U_1}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial U_1}{\partial U_2} dU_2, \quad dI_2 = \frac{\partial I_2}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial I_2}{\partial U_2} dU_2.$$

Відповідні диференційні прирости будемо розглядати як сигнали, а похідні - як деякі коефіцієнти. Перейшовши до запису малих сигналів, останнє рівняння перетворимо до вигляду:

$$dU_1 = h_{11}dI_1 + h_{12}dU_2, \quad dI_2 = h_{21}dI_1 + h_{22}dU_2 \quad (1.1)$$

Задаючи змінні сигнали струму у вхідне та напруги у вихідне кола, можна виконати вимірювання відповідних значень напруги у вхідному колі та струмів у вихідному, на основі яких можна розрахувати малосигнальні h-параметри транзистора, які будуть як безрозмірними, так і з розмірністю провідності та опору.

Визначимо фізичний смисл h-параметрів, кожний з яких можна знайти за формулами (1.1), лише обертаючи одну із складових у нуль, тому що кожне рівняння містить два невідомих.

Отже, за умови  $dU_2 = 0$ , тобто при  $U_2 = \text{const}$  одержуємо  
- вхідний опір:

$$h_{11} = \left. \frac{dU_1}{dI_1} \right|_{U_2 = \text{const}}, \quad (1.2)$$

- коефіцієнт передавання струму:

$$h_{21} = \left. \frac{dI_2}{dI_1} \right|_{U_2 = \text{const}}. \quad (1.3)$$

За умови  $dI_1 = 0$ , тобто при  $I_1 = \text{const}$  одержуємо

- коефіцієнт зворотного зв'язку:

$$h_{12} = \left. \frac{dU_1}{dU_2} \right|_{I_1 = \text{const}}, \quad (1.4)$$

- вихідна провідність:

$$h_{22} = \left. \frac{dI_1}{dU_2} \right|_{I_1 = \text{const}} \quad (1.5)$$

Вхідні й вихідні ВАХ транзистора ввімкненого з загальним емітером, наведені на рисунку 1.2. На рисунку крива 1 відповідає напрузі  $U_{KE1}=0$ , а  $U_{KE2}$  та  $U_{KE3}$  напругам більшим нуля.

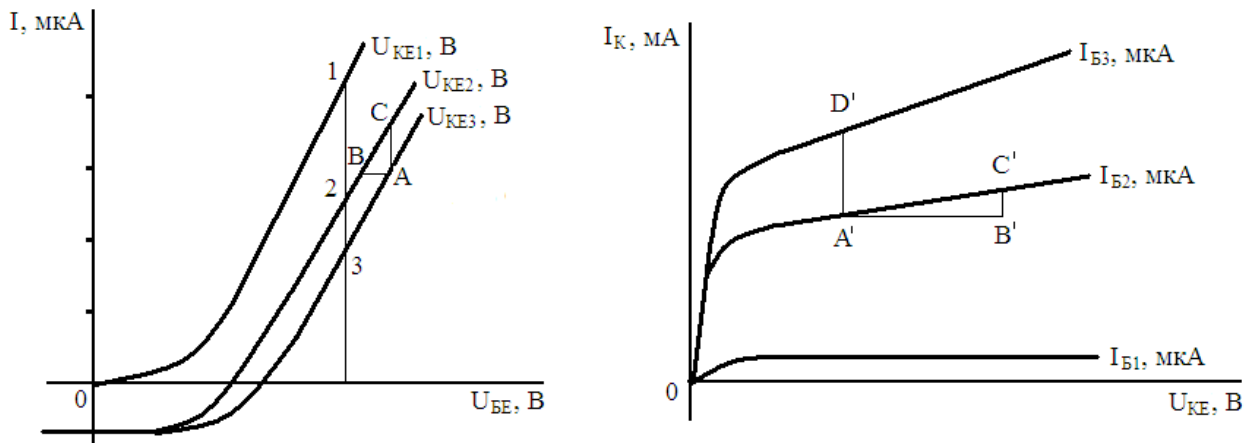


Рисунок 1.2 - ВАХ транзистора в схемі з загальним емітером

Розглянемо визначення  $h$ -параметрів для транзистора в схемі з загальним емітером. Для цього в робочій точці А на вхідних характеристиках будують трикутник АВС (із А проводять прямі, паралельні осі абсцис і осі ординат до перетину з другою характеристикою в точках В і С, а на вихідних характеристиках - трикутник А'В'С'.

Із трикутника АВС отримують усі необхідні величини для визначення  $h_{11E}$ ,  $h_{12E}$ .

$$h_{11E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{AB}{AC} ; \quad h_{12E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{KE}} = \frac{AB}{U_{KE3} - U_{KE2}} ;$$

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{A'D'}{I_{B3} - I_{B2}} ; \quad h_{22E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KB}} = \frac{A'D'}{A'B'}$$

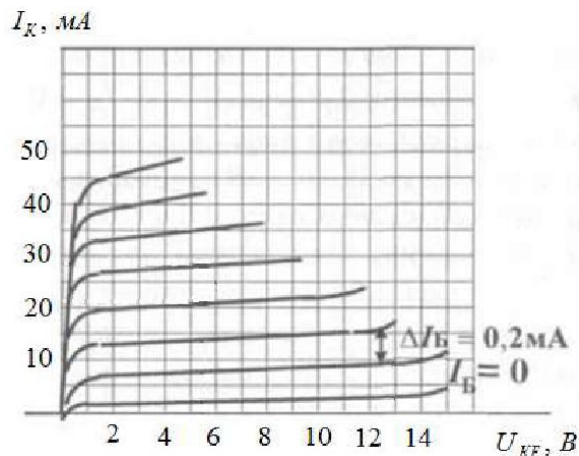
#### Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

1. Назвіть поняття та визначення коефіцієнтів посилення.
2. Поясніть визначення вхідного та вихідного опорів підсилювача.
3. Поясніть поняття частотних та фазових спотворень підсилювача.
4. Поясніть поняття динамічного діапазону підсилювача.
5. Поясніть режим А роботи підсилювального каскаду.
6. Поясніть режим В роботи підсилювального каскаду.
7. Поясніть режим С роботи підсилювального каскаду.
8. Поясніть режими D і E роботи підсилювального каскаду.

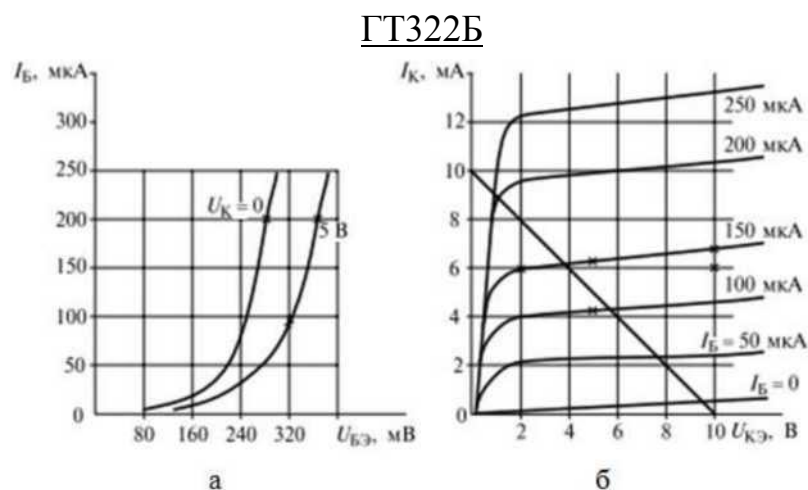
Практичні завдання.

**Задача 1.** Визначити струм бази біполярного транзистора КТ501Г ( $h_{21E}=20 - 60$ ), увімкненого за схемою із спільним емітером, якщо у відкритому стані струм колектора 240 мА.

**Задача 2.** За вихідними характеристиками біполярного транзистора, увімкненого за схемою з загальним емітером, визначити коефіцієнт підсилення за струмом для  $U_{KE} = 5,5$  В,  $I_B = 0,7$  мА.

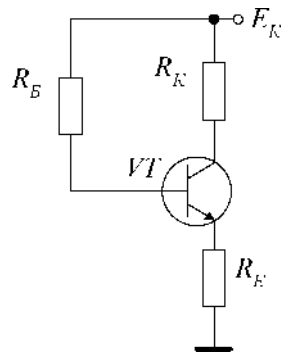


**Задача 3.** Визначити  $h$ -параметри транзистора ГТ322Б по його вхідній (а) і вихідній (б) характеристиках, які відповідають схемі із спільним емітером для  $U_K = 5$  В,  $I_B = 150$  мкА.

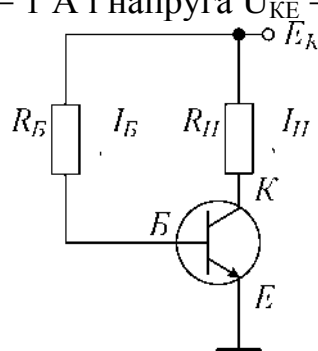


**Задача 4.** Визначити  $h$ -параметри транзистора ГТ322Б по його вхідній (а) і вихідній (б) характеристиках, які відповідають схемі із спільним емітером для  $U_K = 0$  В,  $I_B = 100$  мкА.

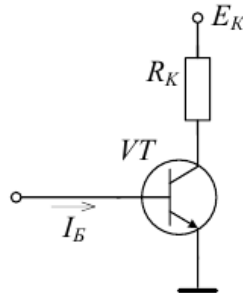
**Задача 5.** Розрахуйте номінал резистора  $R_B$ . Початкові дані  $E_K = 15$  В,  $R_K = 1,5$  кОм,  $h_{21E} = 100$ ,  $I_K = 8$  мА,  $R_E = 170$  Ом.



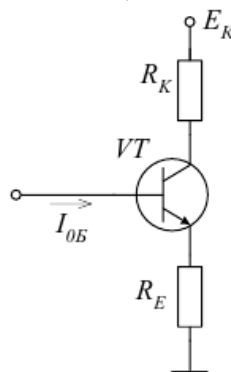
**Задача 6.** В зображеній нижче схемі використовується транзистор з коефіцієнтом передачі струму бази  $\beta = 50$ , зворотним струмом колектора  $I_{КБ0} = 10 \text{ мкА}$ . Напруга джерела живлення  $E_K = 15 \text{ В}$ . Визначте опори  $R_B$  і  $R_E$ , якщо відомий струм колектора  $I_K = 1 \text{ А}$  і напруга  $U_{КЕ} = 6 \text{ В}$ , при умові що  $U_{БЕ} \approx 0$ .



**Задача 7.** Вхідний (базовий) струм транзистора, ввімкненого за схемою з загальним емітером, становить  $I_B = 35 \text{ мкА}$ . Визначте спад напруги на резисторі  $R_K = 1000 \text{ Ом}$ , який ввімкнений в колекторне коло, якщо коефіцієнт підсилення транзистора за струмом  $h_{21E} = 40$ .



**Задача 8.** Для схеми транзисторного підсилювача, який знаходиться в статистичному режимі, визначте потужність споживання від джерела живлення, потужності, які розсіюються на резисторах і на транзисторі, якщо  $R_K = 2 \text{ кОм}$ ,  $R_E = 20 \text{ Ом}$ ,  $\beta = 80$ ,  $I_B = 120 \text{ мкА}$ ,  $E_K = 20 \text{ В}$



### Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Гельжинський І. І., Голяка Р. Л., Готра З. Ю., Марусенкова Т. А. Мікросхемотехніка: підручник. Львів : Ліга - Прес, 2015. 492 с.
3. Бойко В. І., Зорі А. А. Основи електронних систем : вступ до фаху. Донецьк : ДНТУ, 2002. 207 с.