

Міністерство освіти і науки України
Національний авіаційний університет
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Курсова робота
з дисципліни «Комп'ютерна електроніка»
на тему «Робота транзистора з навантаженням»

Виконав:
студент групи СП-225
Клокун В. Д.

Керівник роботи:
Андрєєв В. І.

Захистив: «_____» _____ 2017 р.
З оцінкою _____

Київ 2017

ВСТУП

Транзистор — напівпровідниковий елемент електронної техніки, що дозволяє керувати струмом, що протікає через нього, за допомогою зміни входної напруги або струму, поданих на базу, колектор або емітер. Невелика зміна входних величин може призводити до суттєво більшої зміни вихідної напруги та струму.

Біполярний транзистор — це напівпровідниковий прилад із двома взаємодіючими p - n -переходами, підсилювальні властивості якого засновані на явищах інжекції та екстракції. Умовно графічні зображення біполярних транзисторів наведені на рис. 1. Структура — на рис. 2.



Рис. 1 — Умовно-графічні зображення біполярних транзисторів:
а — n - p - n -типу, б — p - n - p -типу



Рис. 2 — Структура біполярних транзисторів: а — n - p - n -типу, б — p - n - p -типу

Завдання на дану курсову роботу наведене у табл. 1.

Варіант	Транзистор	E_K , В	R_K , Ом	t , °С
28	КТ104	20	1000	120

Табл. 1 — Завдання на курсову роботу

					НАУ 17 2824000 ДД		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробник	Клокун В. Д.				Робота транзистора з навантаженням		Літ.
Перевірив	Андреев В. І.						Аркуш
							2
							15
Н. контр.					ІКІТ СП-225		
Затвердив							

ДОВІДКОВІ ДАНІ ТРАНЗИСТОРА

КТ104В, КТ104Б, КТ104В, КТ104Г — це кремнієві біполярні планарно-епітаксіальні $p-n-p$ -транзистори, призначені для роботи в схемах радіоприймачів та іншій апаратурі. Корпус металевий, герметичний, з гнучкими виводами. Маса транзистора не більше 0,5 г.

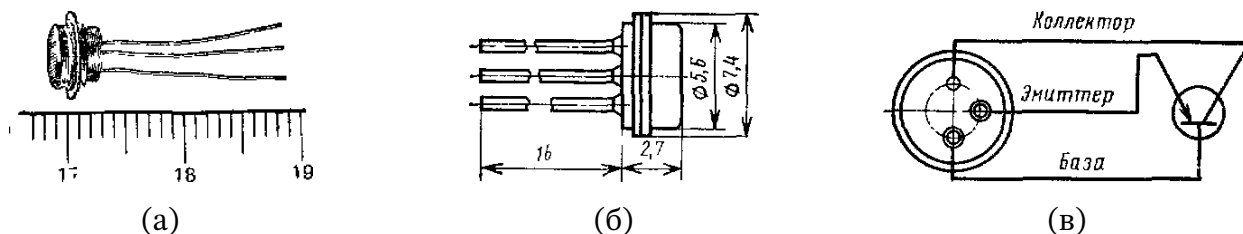


Рис. 3 — Транзистор КТ104: а — зовнішній вигляд, б — габарити, в — цоколь

Електричні параметри транзистора КТ104В наведені у таблиці 2.

Найменування	Позн.	Значення		Режим виміру				
		Мін.	Макс.	U_K , В	U_E , В	I_K , мА	I_B , мА	I_E , мА
Зворотний струм колектора, мкА при $T_C = 100^\circ\text{C}$ при $T_C = -60^\circ\text{C}$	I_{KB3}		1	15				
			15	10				
			1	15				
Зворотний струм емітера, мкА при $T_C = 100^\circ\text{C}$ при $T_C = -60^\circ\text{C}$	I_{EB3}		1		10			
			10		5			
			1		10			
Гранична напруга транзистора ($T_C =$ $-60 \dots + 100^\circ\text{C}$), В	$U_{KE3гр}$	15						10

Табл. 2 — Електричні параметри транзистора КТ104В

Найменування	Позн.	Значення		Режим виміру				
		Мін.	Макс.	U_K , В	U_E , В	I_K , мА	I_B , мА	I_E , мА
Напруга насичення колектор — емітер, В	$U_{KEнас}$		0,5			10	1	
Напруга насичення база — емітер, В	$U_{BEнас}$		1			10	1	
Вхідний опір транзистора в режимі малого сигналу, Ом	$h_{11б}$	120		15				1
Коефіцієнт передачі струму в режимі малого сигналу у схемі з ЗЕ при $T_C = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $T_C = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$h_{21е}$	40	160	5				1
		30	380	5				1
		25	160	5				1
Гранична частота коефіцієнта передачі струму, МГц	$f h_{21б}$	5		5				1
Ємність колекторного переходу (при $f = 465\text{ кГц}$), пФ	C_K		50	5				

Табл. 2 — Електричні параметри транзистора КТ104В

Найменування	Позн.	Значення		Режим виміру				
		Мін.	Макс.	U_K , В	U_E , В	I_K , мА	I_B , мА	I_E , мА
Ємність емітерного переходу (при $f = 465$ кГц), пФ	C_E		10		0,5			
Стала часу ланцюгу зворотного зв'язку на високій частоті (при $f = 3$ МГц), нс	τ_K		3	5				1

Табл. 2 — Електричні параметри транзистора КТ104В

Максимально допустимі параметри для транзистора КТ104В наведені у таблиці 3.

Найменування	Позначення	Значення
Постійний струм колектора, мА	$I_{K \max}$	50
Постійна напруга колектор — база, В	$U_{KB \max}$	15
Постійна напруга колектор — емітер (при запираючій напрузі $U_{EB} = 0,5$ В або при $R_B \leq 10$ кОм), В	$U_{KE \max}$	15
Постійна напруга емітер — база, В	$U_{EB \max}$	10
Постійна розсіювана потужність колектора, мВт	$P_{K \max}$	150
Тепловий опір перехід — середовище, °С/мВт	$R_{T, п-с}$	0,4
Допустима температура навколишнього середовища, °С		-60 ... 100

Табл. 3 — Максимально допустимі параметри для транзистора КТ104В

ВОЛЬТ-АМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРА

Біполярні транзистори мають чотири статичні вольт-амперні характеристики (ВАХ):

1. Вхідні — зв'язують струм і напругу на вході транзистора.
2. Вихідні — зв'язують струм і напругу на виході транзистора.
3. Характеристики передачі — зв'язують струми чи напруги на виході транзистора зі струмами чи напругами на вході.
4. Характеристики зворотного зв'язку — зв'язують напруги чи струми на вході зі струмами чи напругами на виході.

Розглянемо для прикладу вхідні та вихідні ВАХ.

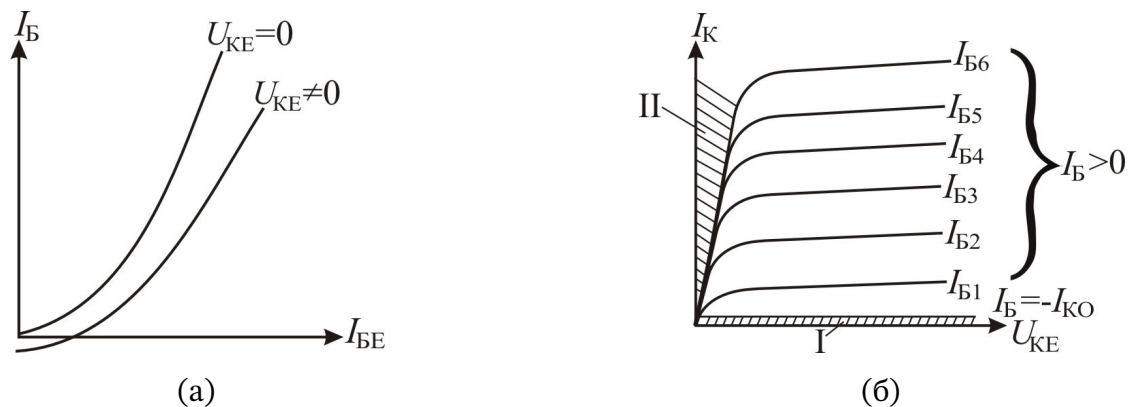


Рис. 4 — Статичні вольт-амперні характеристики транзистора, ввімкненого за схемою з загальним емітером: а — вхідні характеристики, б — вихідні характеристики

Видно, що при напрузі $U_{KE} = 0$ вхідна характеристика починається на початку координат (рис. 4а). При збільшенні U_{KE} ($U_{KE} \neq 0$) вхідна характеристика зміщується вправо і вниз. Для схеми з загальним емітером вхідні характеристики описуються функціональною залежністю (1).

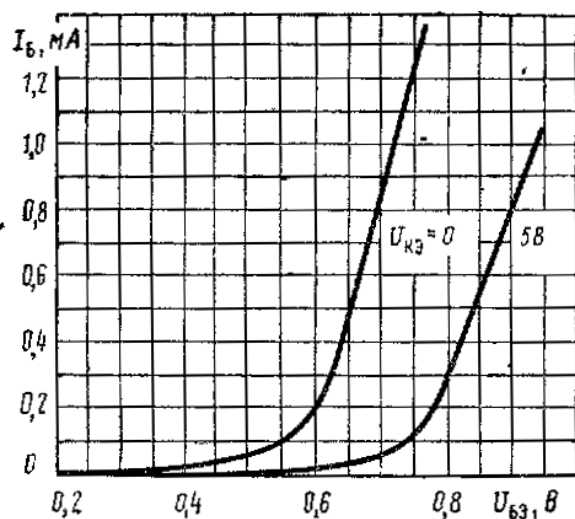
$$U_{BE} = f(I_B), \quad \text{при } U_{KE} = \text{const.} \quad (1)$$

Вихідні характеристики (рис. 4б) дозволяють визначити режими роботи транзистора: область I відповідає режиму відсічення, область II — режиму

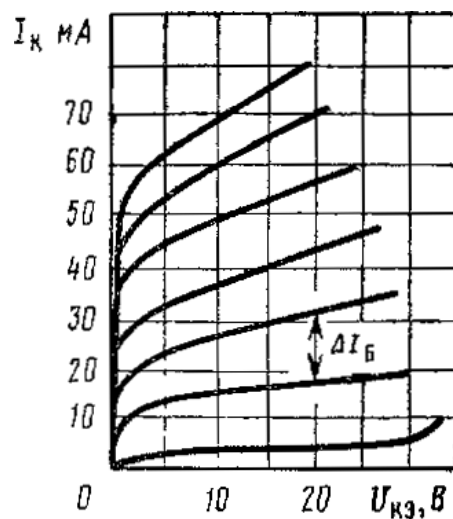
насичення, область III — активному режиму. Вихідні характеристики визначаються функціональною залежністю (2).

$$I_K = f(U_{KB}), \quad \text{при } I_B = \text{const.} \quad (2)$$

Вольт-амперні характеристики транзистора, вказаного у завданні на курсову роботу, наведені на рис. 5. Згідно з інформацією, наведеною у довіднику, $\Delta I_B = 0,2 \text{ мА}$.



(а)



(б)

Рис. 5 — Вольт-амперні характеристики транзистора КТ104В:

а — вхідні характеристики, б — вихідні характеристики

ПОБУДОВА ПРЯМОЇ НАВАНТАЖЕННЯ

Відомо, що під час роботи біполярного транзистора з навантаженням зміни струму колектора будуть залежати від змін струму I_B і напруги U_{KE} . Такий принцип роботи транзистора іноді називають динамічним, а характеристики — динамічними.

Звернувши увагу на вольт-амперні характеристики (рис. 4), спостерігається залежність:

$$U_{KE} = E_K - I_K R_K. \quad (3)$$

Залежність (3) можна привести до такої форми:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KE}}{R_K} = \frac{E_K}{R_K} - \frac{U_{KE}}{R_K}, \quad (4)$$

де I_K — вихідний струм, E_K — електрорушійна сила джерела живлення, U_{KE} — напруга «колектор-емітер», R_K — опір резистора навантаження.

Пряма, що описується рівнянням (4), називається *навантажувальною*. Навантажувальна пряма — це пряма, що однозначно пов'язує струм і напругу на виході, та є траєкторією руху робочої точки в посилюючому режимі роботи біполярного транзистора, тобто при включенні в ланцюг навантажувального резистора R_K .

Для побудови навантажувальної прямої на сімействі вихідних характеристик достатньо двох точок. Оскільки з формули (4) видно, що при $I_K = 0$, $U_{KE} = E_K$, то для знаходження першої точки навантажувальної прямої — точки K — необхідно відкласти на осі абсцис величину E_K . У цій точці транзистор замкнений. Для знаходження другої точки навантажувальної прямої — точки B — використаємо величину U_{KE} таким чином: припустимо, що $U_{KE} = 0$, тоді $I_K = \frac{E_K}{R_K}$. Пряма BK і буде шуканою навантажувальною прямою.

Виконаємо розрахунки відповідно до отриманого завдання. Для цього знайдемо абсцису точки K :

$$x_K = E_K = 20 \text{ В.}$$

Далі знаходимо ординату точки B :

$$y_B = \frac{E_K}{R_K} = \frac{20 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,02 \text{ А} = 20 \text{ мА.}$$

Таким чином, отримали дві точки: $K(20\text{ В}; 0\text{ мА})$ і $B(0\text{ В}; 20\text{ мА})$. За координатами отриманих точок на сімействі вихідних характеристик будуємо навантажувальну пряму (рис. 6).

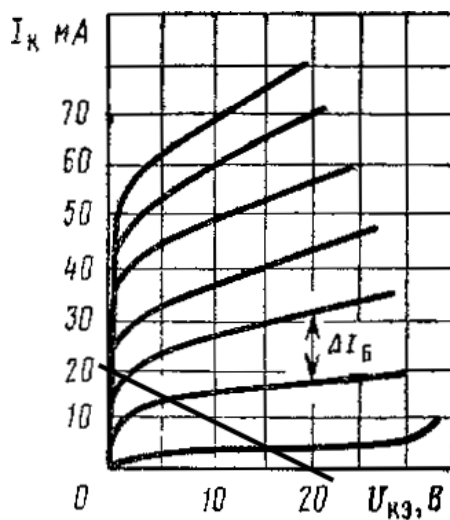


Рис. 6 — Сімейство вихідних вольт-амперних характеристик транзистора КТ104В з навантажувальною прямою

ГРАФІЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ K_U, K_I, K_P

За допомогою амплітудних значень, що були визначені графічно (рис. 7), визначаємо коефіцієнти посилення. Спочатку запишемо їх.

Параметр	Позначення	Значення
Амплітудне значення вихідного струму	$I_{\text{КМ}}$	8 мА = 0,008 А
Амплітудне значення вхідного струму	$I_{\text{БМ}}$	0,2 мА = 0,0002 А
Амплітудне значення вихідної напруги	$U_{\text{КМ}}$	7 В
Амплітудне значення вхідної напруги	$U_{\text{БМ}}$	0,03 В

Табл. 4 — Амплітудні значення, визначені графічно

Визначимо коефіцієнт підсилення по напрузі K_I :

$$K_I = \frac{I_{\text{ВИХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{КМ}}}{I_{\text{БМ}}} = \frac{8 \text{ мА}}{0,2 \text{ мА}} = 40.$$

Далі визначимо коефіцієнт підсилення по струму K_U :

$$K_U = \frac{U_{\text{КМ}}}{U_{\text{БМ}}} = \frac{7 \text{ В}}{0,03 \text{ В}} = 233,3.$$

Визначимо коефіцієнт підсилення по потужності K_P :

$$\begin{aligned} K_P &= \frac{P_{\text{ВИХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{ВИХ}} \cdot U_{\text{ВИХ}}}{I_{\text{ВХ}} \cdot U_{\text{ВХ}}} = K_I \cdot K_U \\ &= \frac{0,008 \text{ А} \cdot 7 \text{ В}}{0,0002 \text{ А} \cdot 0,03 \text{ В}} = 40 \cdot 233,3 = 9333,3. \end{aligned}$$

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22}

Величини, що зв'язують малі збільшення струмів і напруг називаються диференціальними параметрами транзисторів. Для транзисторів запропоновано багато систем параметрів, однак, основними вважаються змішані (*hybrid*) параметри, які позначають літерою h .

У системі h -параметрів за незалежні змінні обирають вхідний струм I_1 і напругу U_2 , а за залежні — вхідну напругу U_1 і вихідний струм I_2 . Це пов'язано з малим вхідним і великим вихідним опорами транзистора. Для схеми ввімкнення із загальним емітером це такі величини:

- вхідний струм I_B і напруга U_{BE} .
- вихідний струм I_K і напруга U_{KE} .

Тоді система рівнянь, що пов'язує h -параметри має такий вигляд:

$$\begin{cases} U_{BE} = h_{11}I_B + h_{12}U_{KE} \\ I_K = h_{21}I_B + h_{22}U_{KE} \end{cases} \quad (5)$$

Із системи рівнянь (5) випливає фізичний зміст і назви h -параметрів. Вхідний опір транзистора при короткому замиканні на виході для змінної складової струму:

$$h_{11} = \frac{U_1}{I_1}, U_2 = 0.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за напругою при розімкнутому вході для змінної складової струму:

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2}, I_1 = 0.$$

Диференціальний коефіцієнт передачі струму:

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1}, U_2 = 0.$$

Вихідна провідність транзистора при розімкнутому вході для змінної складової струму:

$$h_{22} = \frac{I_2}{U_2}, I_1 = 0.$$

Для визначення h -параметрів також можна використовувати графоаналітичний спосіб. Варто зазначити, що він має невисоку точність.

Для визначення h -параметрів графоаналітичним способом на вхідних і вихідних характеристиках навколо робочої точки необхідно побудувати трикутники. На сімействі вхідних характеристик у робочій точці A будують трикутник ABC . З точки A проводять прямі, рівнобіжні осі абсцис і осі ординат до перетинання з другою характеристикою в точках B і C . З отриманого характеристичного трикутника знаходять всі необхідні величини для обчислення h_{11E} , h_{12E} . Відрізок AB є ΔU_{BE} , а AC — збільшення ΔI_B .

Збільшення напруги колектора визначається як різниця напруг, при яких знімалися характеристики:

$$\Delta U_{KE} = U''_{KE} - U'_{KE} = 5 \text{ В} - 0 \text{ В} = 5 \text{ В}.$$

Тоді:

$$h_{11E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{AB}{AC} = \frac{0,18 \text{ В}}{1,2 \text{ мА}} = \frac{0,18 \text{ В}}{0,0012 \text{ А}} = 150 \text{ Ом},$$

$$h_{12E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{KE}} = \frac{AB}{U''_{KE} - U'_{KE}} = \frac{0,18 \text{ В}}{5 \text{ В}} = 0,036.$$

У робочій точці A' за вихідними характеристиками можна визначити параметри h_{21E} і h_{22E} . Проводячи з точки A' вертикальну пряму до перетинання з наступною характеристикою (точка D'), знаходимо збільшення струму колектора ΔI_K при $U'_{KE} = \text{const}$. Відрізок $A'D'$ показує на збільшення струму бази $\Delta I_B = I_{B5} - I_{B4}$.

Тоді:

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{A'D'}{I_{B5} - I_{B4}} = \frac{8 \text{ мА}}{1,2 \text{ мА}} = \frac{0,008 \text{ А}}{0,0012 \text{ А}} = 6,6667.$$

Для визначення параметра h_{22E} з точки A' проводять пряму, рівнобіжну осі абсцис, необхідної довжини для виміру збільшення струму $\Delta I'_K = B'C'$. За точками визначимо збільшення напруги колектора $\Delta U'_{BE}$. Тоді:

$$h_{22E} = \frac{\Delta I'_K}{\Delta U'_{BE}} = \frac{B'C'}{A'B'} = \frac{7 \text{ мА}}{24 \text{ В}} = \frac{0,007 \text{ А}}{24 \text{ В}} = 0,000292 \text{ См}.$$

ВИЗНАЧЕННЯ $I_{\text{КЗ}}$ ПРИ ЗАДАНІЙ ТЕМПЕРАТУРІ

Зворотний струм колектора $I_{\text{КЗ}}$ залежить від температури t . Зі збільшенням температури на 10°C струм збільшується в 2 рази.

Довідковий матеріал вказує, що при температурі $t = 100^\circ\text{C}$ максимальний струм $I_{\text{КЗ}} = 15 \text{ мкА}$. Використовуючи вищезгадане правило, проведемо обчислення (табл. 5).

$t, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{КЗ}}, \text{мкА}$
100	15
110	$15 \cdot 2 = 30$
120	$30 \cdot 2 = 60$

Табл. 5 — Покрокове обчислення зворотного струму $I_{\text{КЗ}}$ для заданого значення температури t

ЛІТЕРАТУРА

1. *Андреев В. І, Андреев О. В.* Комп'ютерна електроніка: навчальний посібник. — К.: НАУ, 2009. — 320 с.
2. *Андреев В. І, Андреев О. В.* Комп'ютерна електроніка: лабораторний практикум. — К.: НАУ, 2013. — 84 с.
3. *Брежнева К.М., Гантман Є.І., Давидова Т.М. та ін.* Під редакцією Перельмана Б.Л. Транзистори для апаратури широкого застосування: довідник. — М.: Радіо та зв'язок, 1981р. — 656 с.
4. *Андреев В.І., Андреев О.В.* Комп'ютерна електроніка. К.: видавництво ДУІКТ, 2010. — 320 с.

ЗМІСТ

Вступ	2
Довідкові дані транзистора	3
Вольт-амперні характеристики транзистора	6
Побудова прямої навантаження	8
Графічне визначення K_U, K_I, K_P	10
Визначення параметрів $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$	11
Визначення I_{K3} при заданій температурі	13
Література	14

					НАУ 17 2824000 ДД									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Робота транзистора з навантаженням					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розробник	Клокун В. Д.												15	15
Перевірів	Андреев В. І.									ІКІТ СП-225				
Н. контр.														
Затвердив														