

Условие

Задача 1. «Дыхание» транзистора или когда все изменяется... *Ничего не понимаю, но делать надо!* (Основное правило «олимпиадников»)

Современные компьютеры, смартфоны содержат десятки миллионов транзисторов. Мощь человеческого интеллекта и современных технологий делают работу огромного числа транзисторов согласованной!

Вам предстоит изучить некоторые характеристики всего лишь одного транзистора малой мощности МП41, широко применявшегося на практике 50 лет тому назад.

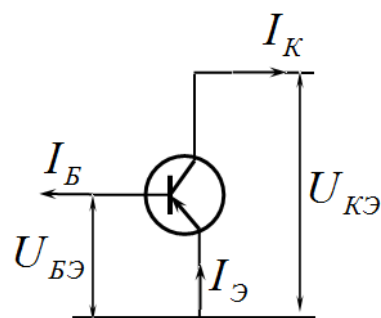
Если вы первый раз слышали слово транзистор, то можете ознакомиться с «Кратким описанием» принципов его работы.

В данной работе Вам предстоит исследовать работу транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. Основное назначение этой схемы – усиление сигнала, который подается на базу транзистора.

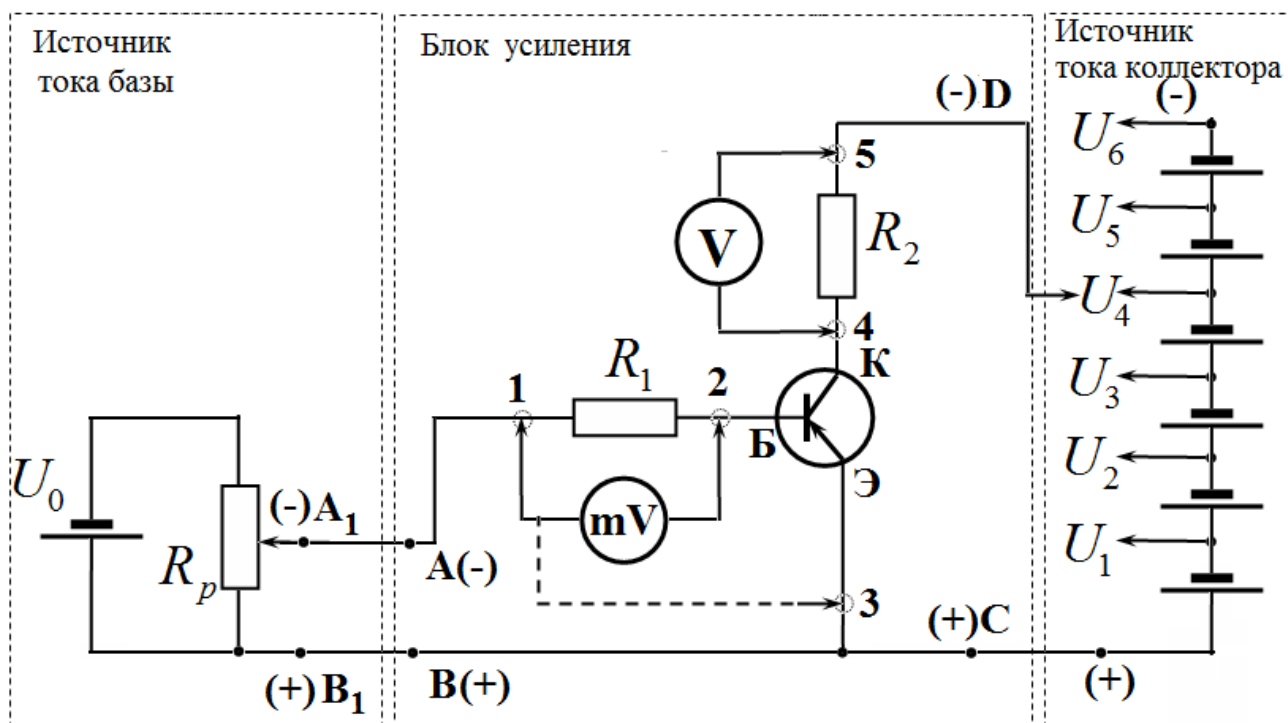
Оказывается, что малое изменение тока базы существенно влияет на силу тока коллектора, именно благодаря этому осуществляется усиление сигнала «по току».

Для выполнения работы для вас собрана следующая электрическая схема.

Кружочками на схеме с номерами 1, 2, 3, 4, 5 обозначены штырьковые контакты,



Включение транзистора по схеме с общим эмиттером



предназначенные для удобства подключения вольтметра и милливольтметра при измерении напряжения.

Для регулировки напряжения, подаваемого на базу-эмиттер, используется проволочный реостат R_p . Измерения необходимо делать аккуратно, так как ток базы в несколько микроампер существует

Для подачи изменяемого напряжения на коллектор – эмиттер используется батарея из 6 элементов. Для измерения малого тока базы и напряжения база-эмиттер используется мультиметр, работающий в режиме измерения напряжений. Снимать показания с мультиметра следует с точностью до милливольт. Для расчета тока базы используйте

результаты измерений напряжения на резисторе $R_1 = 100 \text{ Ом}$ (контакты 1-2). С помощью мультиметра также можно измерять напряжение между базой и эмиттером (контакты 2-3).

Для измерения тока коллектора используйте результаты измерений напряжения на нагрузке R_2 (контакты 4-5). Эти измерения проводите с помощью школьного вольтметра с точностью до десятых долей вольта.

При расчетах внутренними сопротивлениями источников можно пренебречь.

Внимание! Сопротивление школьного вольтметра не слишком велико (его нельзя считать идеальным). Поэтому сопротивление нагрузки (резистора R_2 и соединенного с ним вольтметра) измерьте предварительно с помощью мультиметра, переключив его в режим измерения сопротивления. (запишите значение этого сопротивления). По причине малости сопротивления вольтметра с его помощью нельзя измерять напряжение между коллектором и эмиттером – подключение вольтметра к контактам 4-3 существенно изменяет все параметры рассматриваемой схемы!

Строго соблюдайте полярность подключения источников к блоку усиления!

Основной целью данной работы является выбор параметров изучаемой схемы, при которых она может работать в качестве усилителя. Выбор этих параметров обусловлен двумя критериями:

1. Усиление должно происходить без искажения сигнала, т.е. связь между током коллектора и током базы должна быть линейной. 2. Имеются ограничения для силы тока коллектора, напряжения коллектор – эмиттер и мощности теплоты, выделяющейся на транзисторе.

Часть 1. Входные характеристики транзистора

Входные характеристики показывают зависимость тока базы I_B от напряжения между эмиттером и базой $U_{ЭБ}$ при постоянном напряжении между эмиттером и коллектором $U_{ЭК} = const$.

1.1 Измерьте зависимости силы тока базы I_B от напряжением между базой $U_{ЭБ}$ при напряжениях между эмиттером и коллектором равным $U_{ЭК} = 0 \text{ В}$, $U_{ЭК} = 4,5 \text{ В}$. Постройте графики полученных зависимостей на одном бланке.

Измерения проведите при напряжениях на резисторе R_1 , изменяющихся в пределах от 10 до 80 мВ. Для подачи напряжения на коллектор-эмиттер закоротите проводником резистор R_2 .

Часть 2. Выходные характеристики транзистора

Выходные характеристики транзистора показывают зависимость тока коллектора (I_K , мА) от напряжения между эмиттером и коллектором ($U_{ЭК}$, В) при постоянном значении тока базы (I_B , мА).

Отключите провод между контактами 4 и 5. Подключите вольтметр к резистору R_2 .

2.1 Установите последовательно напряжение на резисторе $R_1 = 100 \text{ Ом}$ $U_{R1} = (20, 30, 40, 50) \text{ мВ}$ **при $U_{CD} = 0 \text{ В}$ ** и, дотрагиваясь контактом D последовательно к шести контактам источника (U_1) – (U_6), измерьте значения напряжения на нагрузке U_{R2} для соответствующих напряжений источника при установленном токе базы.

После каждого размыкания контакта D с источником тока проверяйте установленное значение тока базы (напряжение U_{R1})!*

2.2 Вычислите значения тока коллектора I_K и напряжение эмиттер-коллектор $U_{ЭК}$ для соответствующих значений тока базы и напряжения источника.

2.3 Постройте графики (на одном бланке) зависимости тока коллектора (I_K , мА) от напряжения эмиттер – коллектор ($U_{ЭК}$, В) при соответствующем токе базы.

Часть 3. Усиление транзистора по току

3.1 Измерьте зависимость силы тока коллектора I_K от тока базы I_B при постоянных значениях напряжения U_{CD} равных 3,0 В, 4,5 В, 6,0 В. Постройте графики полученных зависимостей на одном бланке. *Сила тока базы не должна превышать 0,3 мА*

3.2 Какое напряжение U_{CD} является оптимальным для работы данного усилителя? Ответ обоснуйте.

3.3 Для оптимального значения U_{CD} рассчитайте коэффициент усиления по току $K = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$ (Рассчитывать погрешность не требуется!)

Часть 4. Рабочая область и ограничения

Допустимый рабочий диапазон транзистора: *по напряжению $1 \text{ В} \leq U_{ЭК} < 15 \text{ В}$; *по току $1 \text{ мА} \leq I_K < 20 \text{ мА}$; *по мощности $P_K = I_K U_{ЭК} < 150 \text{ мВт}$.*

4.1 На диаграмме ($U_{ЭК}$, I_K) постройте область допустимых значений напряжения эмиттер-коллектор и силы тока коллектора.

4.2 Используя входные и выходные характеристики транзистора, график зависимости $I_K = f(I_B)$, определите:

4.2.1 максимальный, минимальный ток коллектора $I_{K\max}$, $I_{K\min}$ и, соответствующий им, максимальный и минимальный ток базы $I_{B\max}$, $I_{B\min}$, допускающих работу транзистора без искажений входного сигнала;

4.2.2 максимальное и минимальное значение напряжения входного сигнала $U_{ЭB\max}$, $U_{ЭB\min}$, допускающих работу транзистора без искажений входного сигнала.

Решение

Задача 11-1. «Дыхание» транзистора или когда все меняется...

«Дыхание» транзистора или когда все меняется... Решение 1. Входные характеристики транзистора

$U_{ЭК} = 0$ В	**U_{R1} мВ**	10	20	30	40	50	60	70	80
	$U_{ЭБ}$ В	0,128	0,151	0,165	0,176	0,182	0,194	0,200	0,208
	I_B мкА	100	200	300	400	500	600	700	800

$U_{ЭК} = 4,5$ В	**U_{R1} мВ**	10	20	30	40	50	60	70	80
	$U_{ЭБ}$ В	0,225	0,248	0,262	0,272	0,278	0,280	0,285	0,290
	I_B мкА	100	200	300	400	500	600	700	800

Значение тока базы определяем из закона Ома: $I_B = U_{ЭБ}/R_1$, $R_1 = 100$ Ом

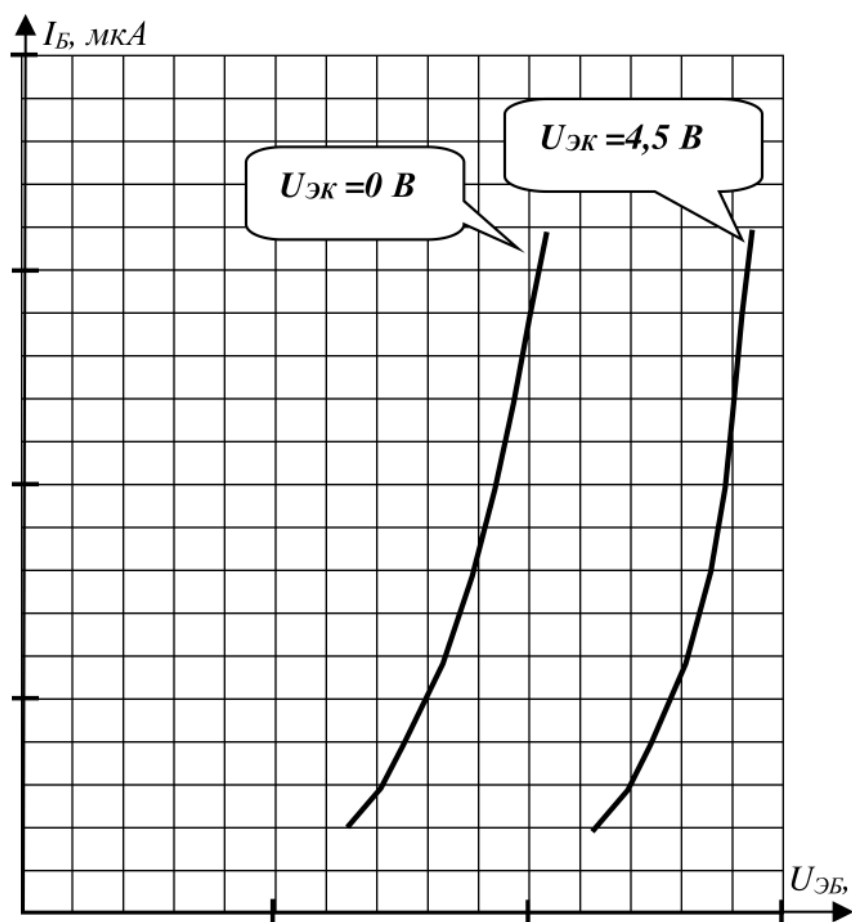


График входных характеристик транзистора

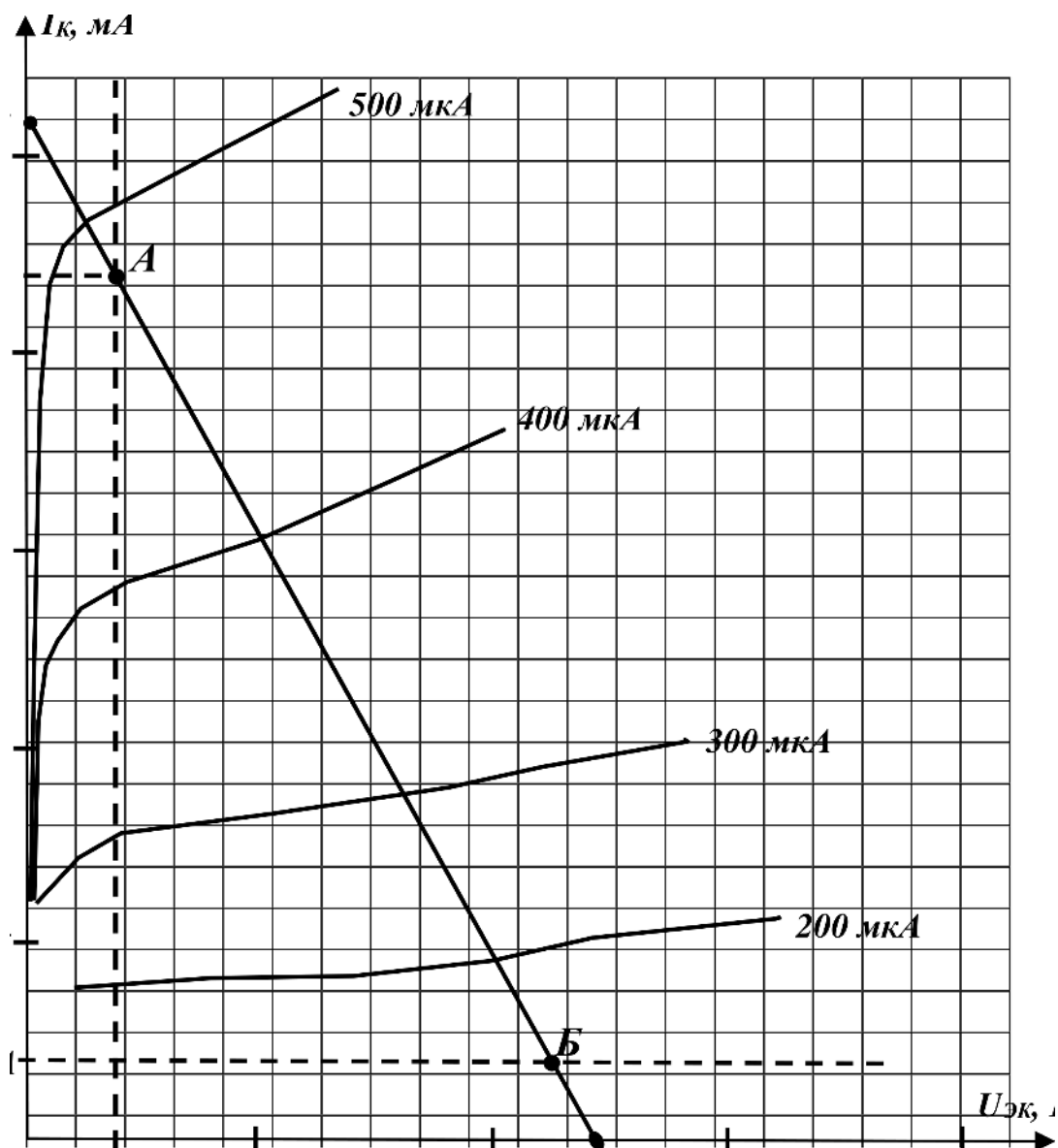
2. Выходные характеристики транзистора

2.1

** U_{DC}, B^{**}			** $U_{R1} = 20 \text{ mB } I_B = 200 \text{ mKA}^{**}$			** $U_{R1} = 30 \text{ mB } I_B = 300 \text{ mKA}^{**}$			** $U_{R1} = 40 \text{ mB } I_B = 400 \text{ mKA}^{**}$			** $U_{R1} = 50 \text{ mB } I_B = 500 \text{ mKA}^{**}$				
			$U_{BK} \text{ B}$	$I_K \text{ mA}$	$U_{R2} \text{ B}$	$U_{BK} \text{ B}$	$I_K \text{ mA}$	$U_{R2} \text{ B}$	$U_{BK} \text{ B}$	$I_K \text{ mA}$	$U_{R2} \text{ B}$	$U_{BK} \text{ B}$	$I_K \text{ mA}$	$U_{R2} \text{ B}$	$U_{BK} \text{ B}$	$I_K \text{ mA}$
U_1	1,5	0,6	1,4	0,1	1,9	1,4	0,1	3	1,4	0,1	3	1,4	0,1	3	1,4	0,1
U_2	3,0	3,1	1,8	1,2	3,9	2,8	0,2	6	2,8	0,2	6	2,9	0,1	6,2	2,9	0,1
U_3	4,5	1	1,95	2,55	4,17	3,3	1,2	7,1	3,3	1,2	7,1	4,4	0,1	9,4	4,4	0,1
U_4	6,1	1,1	2,1	4	4,5	3,6	2,5	7,7	3,6	2,5	7,7	5,4	0,7	11,5	5,4	0,7
U_5	7,7	1,2	2,2	5,5	4,7	3,9	3,8	8,4	3,9	3,8	8,4	5,6	2,1	12	5,6	2,1
U_6	9,3	1,3	2,4	6,9	5,1	4,2	5,1	9	4,2	5,1	9	6	3,3	12,8	6	3,3

2.2 $U_{ЭК} = U_{ДС} - U_{R2}$, $I_K = U_{R2}/R_H$, где $R_H = 842 \text{ Ом}$

2.3



Графики выходных характеристик

3. Усиление транзистора по току

3.1

	$U_{ДС} = 3 \text{ В}$							
$U_{R2}, \text{ В}$	0,6	0,9	1,5	1,7	2,6	2,8	2,8	2,8
$I_K, \text{ мА}$	1,3	1,9	3,2	3,6	5,6	6	6	6
$U_{R1}, \text{ мВ}$	1,3	2	3,2	4	6	15	30	36
$I_B, \text{ мкА}$	13	20	32	40	60	150	300	360

$U_{ДС} = 4,5 \text{ В}$

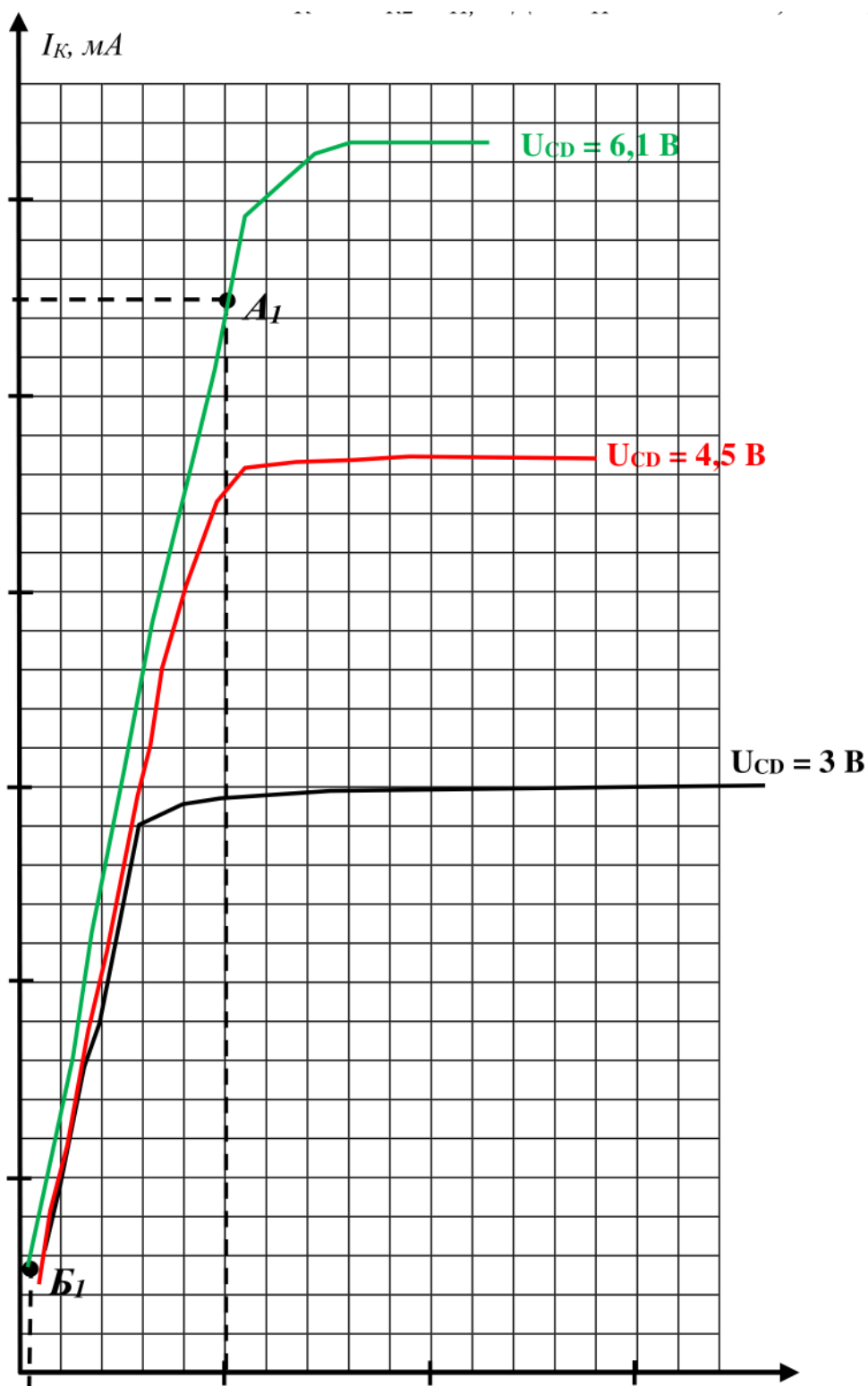
U_{R2}, В	0,4	0,8	1,1	1,6	3	2,3	2,8	3,4	3,8	4,3	4,4	4,4
I_K , мА	0,9	1,7	2,35	3,4	6,4	4,9	6	7,3	8,1	9,2	9,4	9,4
U_{R1} , мВ	1	1,6	2,3	3,4	6,1	4,6	5,6	7	8	11,6	19	28
I_B , мкА	10	16	23	34	61	46	56	70	80	116	190	280

$U_{DC} = 6,1$ В

U_{R2}, В	0,7	1,5	2,1	2,9	3,6	4,4	4,8	5,7	5,5	5,9	5,9
I_K , мА	1,5	3,2	4,5	6,2	7,7	9,4	10,3	12,2	11,8	12,6	12,6
U_{R1} , мВ	1,4	2,8	3,7	5,5	6,6	8,3	9,3	12,9	11,2	16,4	21
I_B , мкА	14	28	37	55	66	83	93	129	112	164	210

По закону Ома определяем значения силы тока коллектора и базы:

$$I_K = U_{R2}/R_H, \text{ где } R_H = 842 \text{ Ом}, \quad I_B = U_{R1}/R_1, \text{ где } R_1 = 100 \text{ Ом}$$



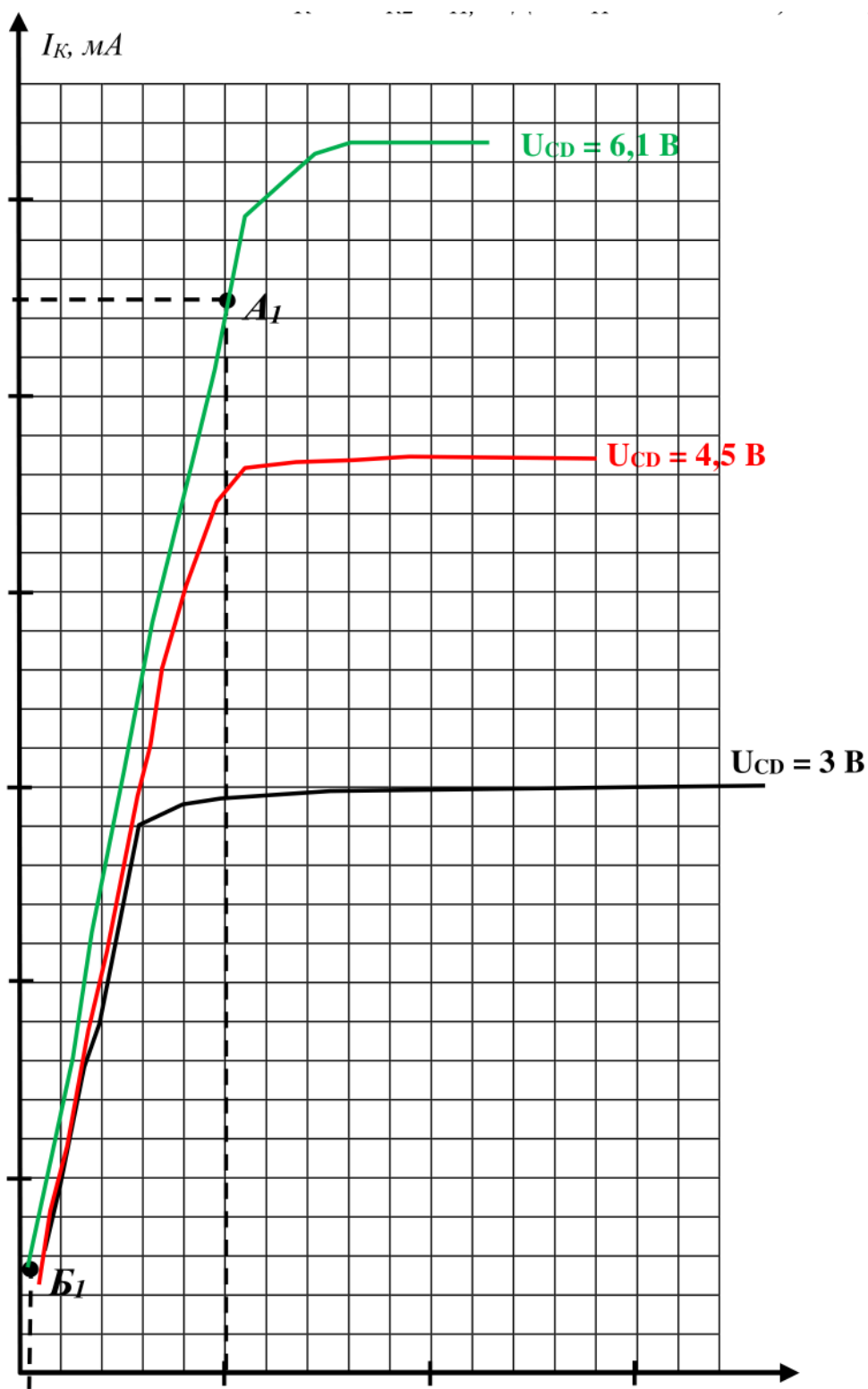


График $I_K = f(I_B)$ при $U_{ДС} = (3; 4,5; 6,1) \text{ В}$



3.2 Из графика $I_K = f(I_B)$ можно сделать вывод, что ток коллектора прямо пропорционален току базы в определенных интервалах значений тока базы! $I_K \sim I_B$ Более предпочтительным является напряжение источника $U_{CD} = 6,1$ В, так как усиление сигнала без искажений можно осуществлять при больших значениях тока базы. 3.3 $\beta = \Delta I_K / \Delta I_B = (11,8 - 1,5) / (112 - 14) \cdot 10^3 \approx 100$

4. Рабочая область и ограничения 4.1 Каждый транзистор имеет предельные эксплуатационные данные по току, напряжению и мощности. Предельные эксплуатационные данные транзистора МП41: $I_{Kmax} = 20$ мА, $U_{ЭКmax} = 15$ В, $P_{Kmax} = 150$ мВт. Чтобы избежать искажений входного сигнала для транзистора малой мощности нужно устранить работу транзистора при напряжении эмиттер - коллектор менее 1 В и токе коллектора менее 1 мА.

Итак, допустимый рабочий диапазон транзистора (на графике незаштрихованная область):

* по напряжению $1 \text{ В} \leq U_{ЭК} < 15 \text{ В}$; * по току $1 \text{ мА} \leq I_K < 20 \text{ мА}$;

* по мощности $P_K = I_K U_{ЭК} < 150 \text{ мВт}$.

4.2 Для определения максимального и минимального тока коллектора необходимо построить на графике выходных характеристик транзистора нагрузочную прямую, уравнение которой определяется значением сопротивления нагрузки и напряжения источника тока. Согласно закону Кирхгофа $I_K R_H + U_{ЭК} = U_{ДС}$, $R_H = 468 \text{ Ом}$, $U_{ДС} = 6,1 \text{ В}$ $468 I_K + U_{ЭК} = 6,1$ Уравнение нагрузочной прямой $I_K = 13 \cdot 10^{-3} - U_{ЭК} / 468$ Определим точки пересечения прямой с осью тока коллектора и осью напряжений:

$I_{K1} = 6,1 / 468 \approx 13 \text{ мА}$ при $U_{ЭК1} = 0 \text{ В}$, $I_{K2} = 0 \text{ мА}$ при $U_{ДС2} = U_{ЭК2} = 6,1 \text{ В}$.

Нагрузочная прямая построена на графике выходных характеристик транзистора. Максимальный, минимальный ток коллектора соответствуют точкам А и В на выходной характеристике транзистора, так как допустимый ток коллектора $I_K \geq 1 \text{ мА}$, а допустимое напряжение эмиттер-коллектор $U_{ЭК} \geq 1 \text{ В}$. $I_{Kmax} \approx 11 \text{ мА}$, $I_{Kmin} \approx 1 \text{ мА}$

По графику зависимости $I_K = f(I_B)$ определим максимальный и минимальный ток базы, точки А₁, В₁: $I_{Bmax} \approx 100 \text{ мкА}$ $I_{Bmin} \approx 8 \text{ мкА}$

на графике незаштрихованная

