

Министерство образования и науки Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

М.А. Самойличенко
А.М. Заболоцкий

МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ
К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «ЭЛЕКТРОНИКА»
«Исследование характеристик полевых транзисторов»

Томск
2023

УДК 621.3
ББК 31.85
С17

Рецензент:

Шалимов В.А., профессор кафедры телевидения и управления ТУСУР,
канд.техн.наук

Самойличенко, Мария Александровна

С17 «Исследование характеристик полевых транзисторов»: Методические указания к лабораторной работе, студентов радиотехнических специальностей / Самойличенко М.А., Залоцкий А.М. Томск: Томск гос. унт-систем упр. и радиоэлектроники, 2023. -14 с.

Методические указания содержат описание лабораторной работы, выполняемой в ходе изучения дисциплины «Электроника». Методические указания содержат так же краткую вводную теоретическую часть, расчетное задание и контрольные вопросы.

Одобрено на заседании каф. ТУ протокол №5 от 20.09.2023

УДК 621.3
ББК 31.85

©Самойличенко М.А. 2023
©Заболоцкий А.М. 2023
© Томск гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники, 2023 г.

Введение

Структура и условное обозначение полевых транзисторов с **p-n** переходом и каналами типа **n** и типа **p** показана на рисунке 1.1а и б. На рисунке 1.1 в показан примерный вид выходных характеристик $I_C(U_{СИ})$ и стоко-затворная характеристика $I_C(U_{ЗИ})$ транзистора с каналом типа **n**. Три вывода транзистора обозначаются: И – исток, С – сток, З – затвор.

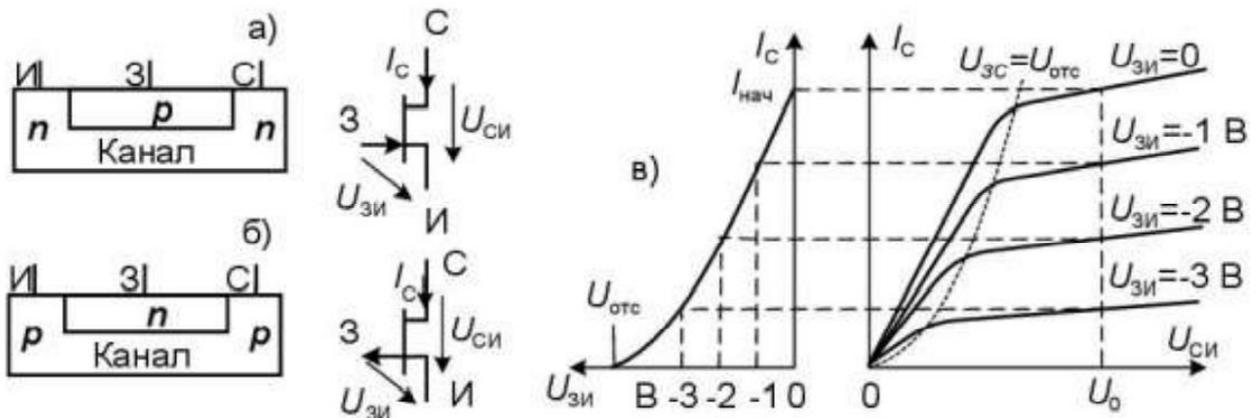


Рисунок 1.1

Когда напряжение $U_{ЗИ}$ равно нулю, а между стоком и истоком приложено постоянное напряжение $U_{СИ}=U_0$, по каналу протекает начальный ток стока $I_C=I_{НАЧ}$, который обеспечивается свободными электронами, имеющимися в канале типа **n**. Если же между затвором и истоком приложено управляющее отрицательное напряжение, то вблизи затвора увеличивается объёмный положительный заряд, количество свободных электронов уменьшается, сопротивление канала возрастает, и ток стока уменьшается. При $U_{ЗИ}=U_{отс}$ (напряжение отсечки) канал полностью перекрывается и ток прекращается.

При постоянном напряжении $U_{ЗИ}$ и увеличении напряжения $U_{СИ}$ от нуля ток стока сначала возрастает по линейному закону, но при этом возрастает и напряжение $U_{ЗС}$, что приводит к сужению канала проводимости в области, прилегающей к стоку. Когда это напряжение достигает значения $U_{отс}$ наклон характеристики $I_C(U_{СИ})$ резко уменьшается, и она становится почти горизонтальной. Эта область семейства выходных характеристик

называется зоной насыщения. Именно в ней обеспечивается линейное усиление сигналов.

Важной характеристикой транзистора является крутизна стоко-затворной характеристики в области насыщения:

$$S = \Delta I_C / \Delta U_{зи}$$

Все эти обозначения и рассуждения применимы также к транзистору с каналом типа **p** (рисунок 1.1б), с той лишь разницей, что полярность напряжений $U_{си}$ и $U_{зи}$ должно быть противоположными.

Полевые транзисторы с изолированным затвором отличаются тем, что затвор выполнен в виде слоя металла, отделённого от полупроводникового канала тонким изолирующим слоем оксида кремния. Поэтому их называют МОП-транзисторами (металл – оксид – полупроводник). Канал между истоком и стоком МОП-транзистора может быть встроенным, т.е. специально изготовленным или наведённым. В первом случае характеристики МОП-транзистора аналогичны характеристикам транзистора с **p-n** переходом, но отличаются возможностью работы с прямым смещением затвора (в режиме обогащения). На рисунке 1.2 показаны структура, условное обозначение и характеристики транзистора с встроенным каналом типа **n**.

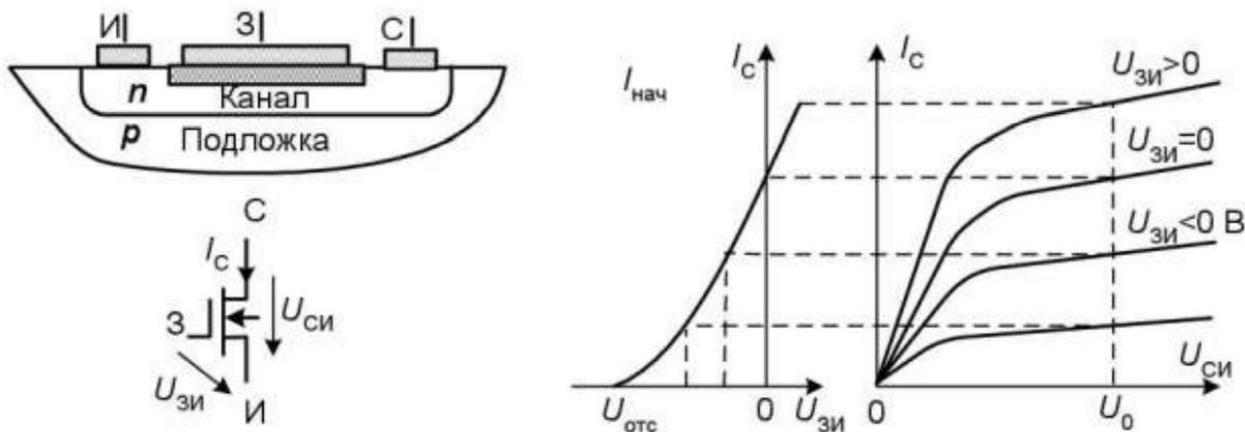


Рисунок 1.2

Структура, условное обозначение и стоко-затворная характеристика МОП-транзистора с индуцированным каналом типа **n** показана на рисунке 1.3. В подложке типа **p** изготовлены только небольшие области противоположного типа проводимости. При подаче на затвор положительного напряжения относительно истока к затвору будут притягиваться электроны, в то время как дырки от него будут оттесняться. При некотором напряжении, называемом пороговым ($U_{зи\text{пор}}$) под затвором образуется **n**-слой, переключающий **n**-области под истоком и стоком. Вся стоко-затворная характеристика лежит в области обогащения.

В МОП-транзисторе с индуцированным каналом типа **p** структура симметрична, и аналогичные процессы протекают при отрицательном напряжении на затворе.

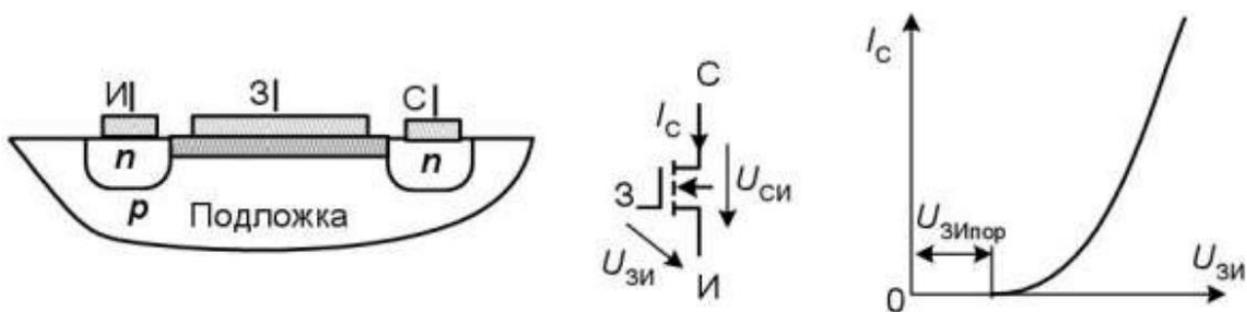


Рисунок 1.3

Экспериментальная часть

Задание

Протестировать транзисторы типа **n** и типа **p** с помощью мультиметра, снять статические выходные характеристики и стоко-затворную характеристику. Исследовать влияние сопротивления нагрузки на стоко-затворную характеристику и коэффициент усиления напряжения.

Порядок проведения эксперимента

1) Переключите мультиметр в режим тестирования диодов и измерьте падение напряжения на **p-n** переходах транзисторов по первым четырём схемам, приведённым в таблице 1.1

Примечание: в режиме тестирования диодов мультиметр измеряет падение напряжения на открытом **p-n** переходе при определённом токе (примерно 1 мА), создаваемом самим прибором. В обратном направлении он показывает обрыв цепи (1 в старшем разряде).

2) Переключите мультиметр в режим измерения сопротивлений и измерьте сопротивление «сток – исток» при $U_{зи}=0$ по двум последним схемам таблицы 1.1.

Таблица 1.1

Схемы измерений						
ΔU , мВ					$R_{ис} = \dots \text{ Ом}$	$R_{ис} = \dots \text{ Ом}$

3) Соберите цель для снятия характеристик транзистора (рисунок 1.4). Диод включен в схему для предотвращения подачи отрицательного напряжения на транзистор при снятии выходных характеристик, а между точками А и В включена перемычка, удалив которую можно включить в цель стока сопротивление нагрузки.

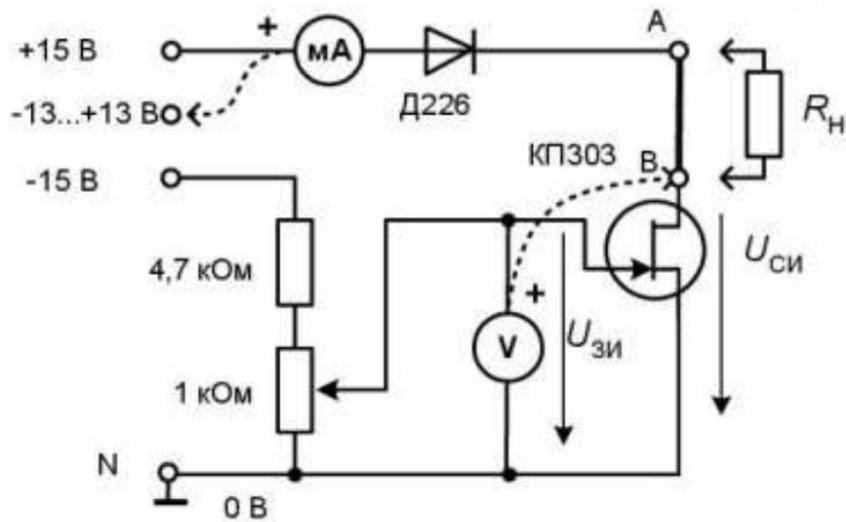


Рисунок 1.4

4) Включите блок генераторов напряжений и мультиметры. Регулируя напряжение на затворе потенциометром, определите начальный ток стока и напряжение отсечки.

$$I_{\text{нач}} = \dots\dots\dots \text{мА}; \quad U_{\text{отс}} = \dots\dots\dots \text{В}.$$

5) Изменяя напряжение на затворе потенциометром от нуля до напряжения отсечки, снимите стоко-затворную характеристику (таблица 1.2).

Таблица 1.2

$U_{\text{зи}}, \text{В}$	0	-1	-2	-3	-3,5		
$I_{\text{с}}, \text{мА}$							

6) Постройте график стоко-затворной характеристики (рисунок 1.5) и определите крутизну:

$$S = \frac{\Delta I_{\text{с}}}{\Delta U_{\text{зи}}} = \Lambda, \Lambda \frac{\text{мА}}{\text{В}};$$

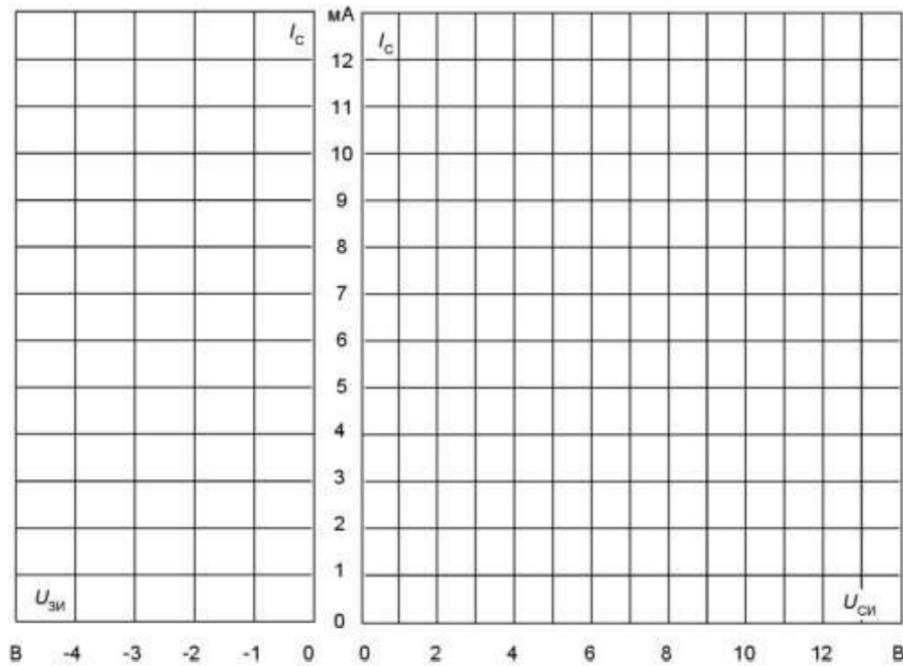


Рисунок 1.5

7) Для снятия выходных характеристик транзистора переключите питание на регулируемый источник постоянного напряжения $-13...+13$ В, как показано на схеме пунктиром, установите напряжение на затворе равным нулю и переключите вольтметр для измерения напряжения $U_{си}$.

8) Регулируя напряжение питания от 0 до максимального значения ($13...14$ В), снимите зависимость $I_C(U_{си})$ при $U_{зи}=0$ (таблица 1.3).

Таблица 1.3

$U_{си}, В$		0	0,5	1	1,5	2	3	4	6	8	12	
$I_C,$ мА	при $U_{зи}=0 В$											
	при $U_{зи}=-1 В$											
	при $U_{зи}=-2 В$											
	при $U_{зи}=-3 В$											

9) Переключите снова вольтметр для измерения напряжения $U_{зи}$, установите потенциометром $U_{зи}=-1 В$, переключите вольтметр обратно для измерения напряжения си и снимите зависимость $U_{си}$ при $U_{зи}=-1 В$.

10) Аналогично снимите выходные характеристики при других значениях $U_{зи}$.

11) На рисунке 1.6 постройте графики выходных характеристик.

12) Для исследования влияния нагрузочного сопротивления на крутизну стоко-затворной характеристики и коэффициент усиления напряжения вновь переключите питание на нерегулируемый источник +15В, удалите из схемы перемычку и включайте вместо неё различные сопротивления нагрузки, указанные в таблице 1.4.

13) При каждом сопротивлении записывайте в таблицу значения I_C и $U_{СИ}$ при двух значениях напряжения на затворе.

14) Вычислите по этим значениям коэффициенты усиления напряжения и крутизну затворно-стоковой характеристики. На рисунке 1.7 постройте графики и проанализируйте их.

Таблица 1.4

R_H , кОм	1		2,2		4,7		10	
$U_{ЗИ}$, В	-1	-1,5	-1,5	2	-2	-2,5	-2,5	-3
$U_{СИ}$, В								
I_C , мА								
$\Delta U_{ЗИ}$, В								
$\Delta U_{СИ}$, В								
ΔI_C , мА								
$k_U = \Delta U_{СИ} / \Delta U_{ЗИ}$								
$S = \Delta I_C / \Delta U_{ЗИ}$, В								

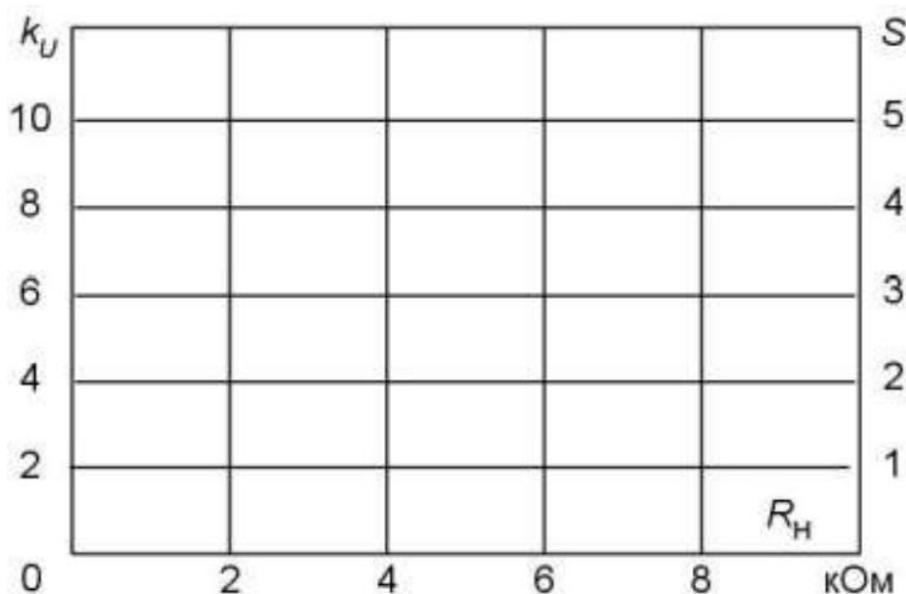


Рисунок 1.7

Задание

Снять статические выходные характеристики и стоко-затворную характеристику МОП-транзистора с индуцированным каналом типа **n**, определить пороговое напряжение $U_{\text{зипор}}$, максимальную крутизну стоко-затворной характеристики S , сопротивления канала в ключевом режиме (в закрытом состоянии $R_{\text{СИзакр}}$ и в открытом – $R_{\text{СИоткр}}$).

Порядок выполнения работы

1) Соберите цепь для снятия характеристик транзистора (рисунок 1.8). Диод Д226 включен в схему для предотвращения подачи отрицательного напряжения на транзистор при снятии выходных характеристик. Диод, показанный внутри микросхемы IRFD024 является паразитным элементом, обусловленным конструкцией **p-n** переходов в транзисторах подобного типа.

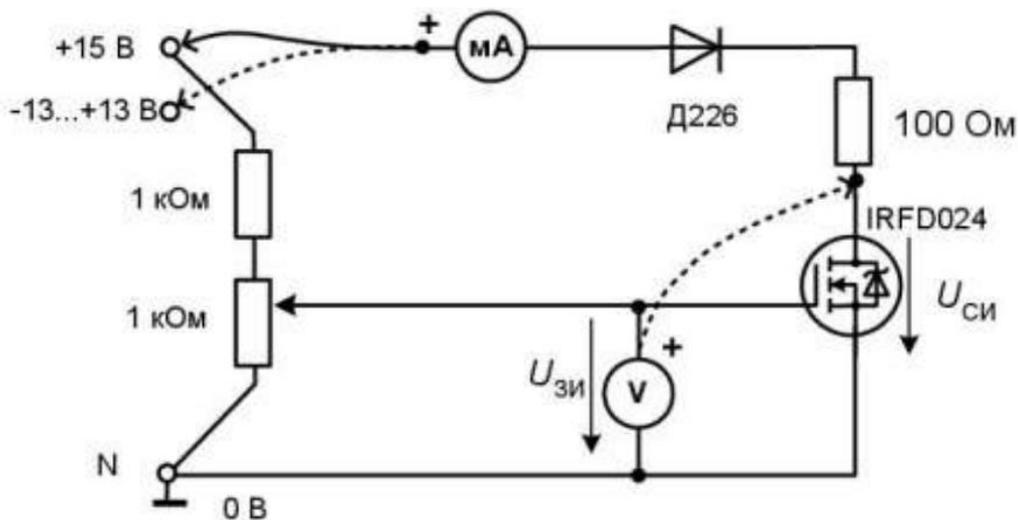


Рисунок 1.8

2) Включите блок генераторов напряжений и мультиметры. Регулируя напряжение на затворе потенциометром, определите пороговое напряжение, при котором появляется ток стока.

$$U_{\text{зипор}} = \dots\dots\dots \text{В.}$$

3) Устанавливая потенциометром напряжения на затворе, указанные в таблице 1.5, снимите стоко-затворную характеристику.

Таблица 1.5

$U_{ЗИ}, В$	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
$I_C, мА$										

4) Постройте график стоко-затворной характеристики (рисунок 1.9) и определите крутизну:

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{NE}} = \Lambda, \Lambda \frac{iA}{iA}$$

5) Для снятия выходных характеристик транзистора переключите питание на регулируемый источник постоянного напряжения -13...+13 В, как показано на схеме пунктиром, установите напряжение на затворе равным 3,9 В и переключите вольтметр для измерения напряжения $U_{СИ}$.

6) Регулируя напряжение питания от 0 до максимального значения (13...14 В), снимите зависимость $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ}=3,9 В$ (таблица 1.6).

Таблица 1.6

	$U_{СИ}, В$	0	0,2	0,5	1	1,5	2	4
$I_C, мА$	при $U_{ЗИ}=3,9 В$							
	при $U_{ЗИ}=4 В$							
	при $U_{ЗИ}=4,1 В$							
	при $U_{ЗИ}=4,2 В$							

7) Переключите снова вольтметр для измерения напряжения $U_{ЗИ}$, установите потенциометром $U_{ЗИ}=4 В$, переключите вольтметр обратно для измерения напряжения $U_{СИ}$ и снимите зависимость ($U_{СИ}$) при $U_{СИ}=4 В$.

8) Аналогично снимите выходные характеристики при других значениях $U_{ЗИ}$.

9) На рисунке 1.9 постройте графики выходных характеристик.

10) Установите такое напряжение на затворе, при увеличении которого ток стока не изменяется (полностью открытое состояние транзистора) и определите сопротивление:

$$R_{СИоткр} = U_{СИ} / I_C = \dots \dots \dots \text{Ом.}$$

11) Установите на затворе напряжение равным нулю и определите сопротивление транзистора в закрытом состоянии:

$$R_{СИоткр} = U_{СИ} / I_C = \dots\dots\dots \text{Ом.}$$

Примечание: В последнем опыте ток весьма мал, поэтому для его измерения необходимо отключить вольтметр и переключить прибор на минимальный предел измерения тока.

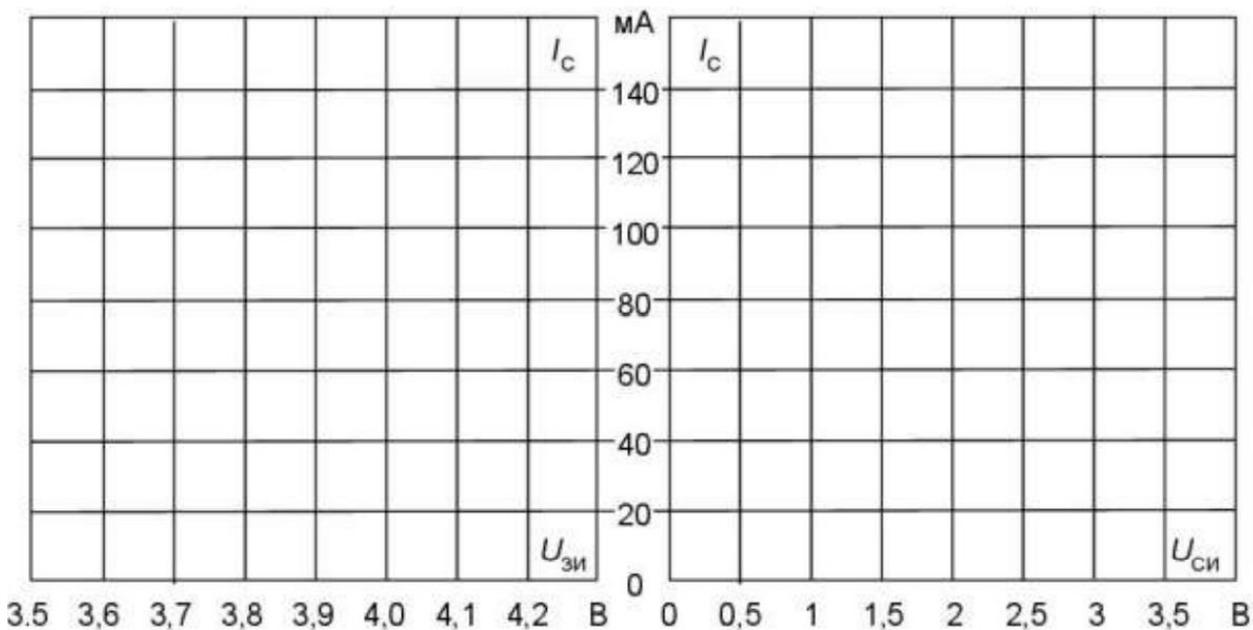


Рисунок 1.9

Контрольные вопросы

1. Что такое зона насыщения и зона линейного изменения сопротивления?
2. Почему коэффициент усиления по напряжению увеличивается при увеличении сопротивления нагрузки?
3. Как можно построить стоко-затворную характеристику по семейству внешних характеристик при $R_H=0$ и при $R_H \neq 0$?

Список используемых источников

1. Горбачёв Г. Н. Промышленная электроника: Учебник для ВУЗов. — М.: Энерго- атом издат, 1988. — 320 с.
2. Забродин Ю. С. Промышленная электроника: Учебник для ВУЗов. М.: Высшая школа, 1982.
3. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и цифровых электронных устройств. — М.: - Издательский дом «Додека-XX1», 2005, - 528 с.
4. Гальперин М. В. Электронная техника: Учебник для среднего профессионально- го образования. — М.: Издательский дом «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. — 352 с.