Лабораторная работа № 7 Измерение и исследование ВАХ и параметров полевых транзисторов

1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является закрепление теоретических физических знаний 0 принципах работы И определяемых ИМИ характеристиках И параметрах полевых транзисторов путем экспериментального исследования их с помощью измерительных средств аппаратно-программного комплекса с удаленным доступом «Электроника».

5. Задание для экспериментального исследования вольтамперных характеристик и параметров полевых транзисторов

Необходимо с помощью средств АПК «Электроника» провести измерение статических и динамических передаточных и выходных ВАХ для ПТ с управляющим *p*–*n*-переходом и каналом *p*-типа и (или) ПТ с изолированным затвором и каналом *n*-типа в ручном и автоматическом режимах.

Определить значения параметров ПТ – сопротивления канала, крутизны, выходной проводимости (выходное сопротивление) в заданных точках ВАХ с помощью расчетов и автоматических курсорных измерений.

Порядок выполнения задания

5.1. Выполните соединение с сервером с титульного экрана аппаратнопрограммного комплекса «Электроника», нажав клавишу «Подключение».

Выберите исследуемый прибор – «Полевой транзистор», лабораторную работу – «Измерение и исследование ВАХ», тип полевого транзистора и номер индивидуального варианта.

Откройте лицевую панель виртуального лабораторного стенда, нажав клавишу «Начать выполнение».

5.2. Ознакомьтесь с лицевой панелью виртуального лабораторного стенда, с отображаемой на нем схемой измерения.

Проведите измерения в соответствии с приводимыми ниже заданиями (пунктами выполнения лабораторной работы).

5.3. В ручном режиме измерения снимите статические выходные характеристики ПТ $I_c = f(U_c)|U_3$ для трех значений напряжения затвор-исток $U_{3\mu}$:

а) при напряжении $U_{_{3и(1)}} = 0;$

б) при напряжении $U_{3u(2)}$, соответствующем достаточно малому току стока, например, $I_c = 0,1$ мА или 0,05 мА (при напряжении, близком к напряжению отсечки $U_{3.orc}$);

в) при промежуточном значении напряжения затвор-исток $U_{_{3\mu(3)}} = U_{_{3\mu(2)}}/2;$

Измерение статических выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ) включает определение с помощью пробных измерений априорно неизвестных значений U_{3u} (кроме $U_{3u(1)} = 0$) и равных им значений ЭДС E_3 и проведение контрольных измерений при найденных значениях E_3 и различных значениях ЭДС E_c .

Указания по проведению измерений и сохранению полученных результатов

5.3.1. Выберите режим измерения «Ручной», вид выводимых характеристик «Выходные». Установите предельное (максимальное по модулю) значение ЭДС питания цепи стока $E_c = E_{c.пред}$. Для исследуемых ПТ допустимыми являются предельные значения ЭДС $E_{c.пред} = 10$ В (ПТ с *n* каналом) и $E_{c.пред} = -10$ В (ПТ с *p*-каналом).

5.3.2. Установите значение ЭДС затвора $E_3 = U_{3и(1)} = 0$, проведите измерение и зафиксируйте измеренные значения I_c , U_{cu} , U_{3u} на цифровом и графическом индикаторах (путем нажатия кнопки «Запись»).

5.3.3. Изменяя ЭДС затвора E_3 в допустимых пределах, проводя измерения и фиксируя их результаты, найдите необходимые значения напряжений $U_{3u(2)}$, $U_{3u(3)}$. Запишите эти значения в рабочую тетрадь.

5.3.4. Соедините точки в окне графики линией. Полученная ВАХ является динамической выходной характеристикой с включенным в цепи стока ПТ сопротивлением $R_c = 300$ Ом, которая описывается выражением $I_c = (E_c - U_c)/R_c$ (нагрузочная прямая).

5.3.5. Установите ЭДС E_3 , соответствующую одному из найденных значений $U_{3и}$, например, $U_{3u(1)}=0$. Изменяя ЭДС питания цепи стока E_c в пределах от $E_c = 0$ до $E_{c.пред}$ с шагом 1 В, проводя измерения и фиксируя их результаты, снимите статическую выходную ВАХ, соответствующую заданному значению U_{3u} .

На участке ВАХ, соответствующем переходу из линейной области в область насыщения, шаг изменения ЭДС можно уменьшить до 0,25–0,5 В с целью лучшего выявления этого перехода. Соедините точки измеренной ВАХ линией.

5.3.6. Повторите действия п. 5.3.5 для других значений U_{3u} .

По верхней ВАХ, соответствующей $U_{3\mu(1)} = 0$ для ПТ с управляющим *pn*-переходом и $U_{3\mu(3)}$ для ПТ с изолированным затвором, определите значения тока стока и напряжения сток-исток в точке перегиба ВАХ (на границе перехода из линейной области в область насыщения), условно обозначаемые как $I_{c.наc}$, $U_{c.нac}$ (для ПТ с управляющим *p*-*n*-переходом $I_{c.нac} = I_{c.нay}$ – соответствует начальному току стока при $U_{3\mu} = 0$), а также значение напряжения $U_{c\mu(1)}$ в верхней точке ВАХ при $E_c = E_{c.пpeq}$.

Запишите значения Іс.нас (Іс.нач), Uс.нас, Uси(1) в рабочую тетрадь.

Сохраните для отчета копию лицевой панели виртуального

лабораторного стенда, показания цифрового индикатора и графики измеренного семейства статических выходных ВАХ (совместно с графиком динамической выходной ВАХ).

5.4. В ручном режиме измерения снимите семейство статических передаточных ВАХ ПТ $I_c = f(U_3)|U_c$ для трех значений напряжения сток-исток U_{cu} : $U_{cu(1)}$, $U_{c.\text{наc}}$ и $U_{c.\text{наc}}/2$, которые определены в п. 5.3.6. Измерения проведите при значениях напряжения затвор-исток U_{3u} , определенных в п. 5.3.3: $U_{3u(1)}$, $U_{3u(2)}$, $U_{3u(3)}$.

Измерение передаточных статических ВАХ при заданных значениях напряжения сток-исток включает поиск с помощью пробных измерений соответствующих им значений ЭДС питания цепи стока E_c при различных задаваемых значениях напряжения затвор-исток (ЭДС E_3) и проведение контрольных измерений при найденных значениях ЭДС E_c и заданных значениях ЭДС E_3 .

Указания по проведению измерений и сохранению полученных результатов

5.4.1. Выберите режим измерения «Ручной», вид выводимых характеристик «Передаточные». Установите ЭДС затвора E_3 , равной напряжению $U_{3u(3)}$ или $U_{3u(1)}$ в зависимости от типа ПТ, ЭДС стока $E_c = E_{c.пред}$ ($E_c = 10$ В для ПТ с *n*-каналом и $E_c = -10$ В для ПТ с *p*-каналом). Проведите измерение и зафиксируйте измеренные значения I_c , $U_{cu} = U_{cu(1)}$, U_{3u} на цифровом и графическом индикаторах.

5.4.2. Установите значение ЭДС затвора $E_3 = U_{3u(1)}$ для ПТ с изолированным затвором или $U_{3u(3)}$ для ПТ с управляющим *p*-*n*-переходом. Уменьшая по модулю ЭДС стока E_c и проводя пробные измерения (но не фиксируя их результаты), найдите значение E_c , при котором $U_{cu} \approx U_{cu(1)}$ с допустимой погрешностью в пределах ±0,1 В. Зафиксируйте результаты измерения во второй полученной точке передаточной ВАХ.

Аналогичным образом проведите измерения для других значений напряжения на затворе U_{3u} .

Соедините линией точки полученной статической передаточной ВАХ при $U_{cu} \approx U_{cu(1)}$.

5.4.3. Снимите вторую статическую передаточную ВАХ при $U_{cu} \approx U_{c.hac}$. Для этого в зависимости от типа ПТ установите ЭДС затвора E_3 , равной $U_{3u(3)}$ или $U_{3u(1)}$, и ЭДС стока $E_c = U_{c.hac} + (E_{c.nped} - U_{cu(1)})$. Уменьшая по модулю ЭДС стока E_c и проводя пробные измерения (но не фиксируя их результаты), найдите значение E_c , при котором $U_{cu} \approx U_{c.hac}$ с допустимой погрешностью в пределах ±0,1 В. Зафиксируйте результаты измерения в первой точке измеряемой передаточной ВАХ.

Аналогичным образом проведите измерения для других значений напряжения на затворе U_{3u} .

Соедините линией точки полученной статической передаточной ВАХ при $U_{cu} \approx U_{c.nac}$.

5.4.4. Повторите действия, приведенные в п. 5.4.3, для третьей

статической передаточной ВАХ при $U_{cu} \approx U_{c.nac}/2$. При недостаточной информативности полученных передаточных характеристик выполните дополнительные измерения при других допустимых значениях напряжения U_{3u} .

По измеренным в ручном режиме передаточным ВАХ определите приближенные значения напряжения отсечки $U_{3.otc}$ и начального тока стока $I_{c. нач}$ ПТ, запишите их в рабочую тетрадь.

Сохраните для отчета показания цифрового индикатора и графики измеренного семейства статических передаточных ВАХ.

5.5. Выполните измерение выходных и передаточных ВАХ полевого транзистора в автоматическом режиме. Измерения проведите при начальных и конечных значениях ЭДС стока и затвора $E_{c.нач}$, $E_{c.кон}$, $E_{3.нач}$, $E_{3.кон}$, соответствующих их значениям, найденным при ручных измерениях. Шаг изменения для ЭДС стока dE_c можно принять равным 0,5 В, для ЭДС затвора $dE_3 = 0,25$ В.

Указания по проведению измерений и сохранению полученных результатов

5.5.1. Установите необходимые параметры автоматического измерения ВАХ. Проведите измерение. Проанализируйте автоматически выводимые характеристики $I_c = f(E_3)|E_c = \text{const}$ и параметры вывода ВАХ. По характеристикам и строке состояния проверьте, отличаются ли фактические значения параметров измерения от их заданных значений, объясните возможные причины отличия.

5.5.2. С помощью соответствующих клавиш выберите для вывода семейство выходных статических характеристик. Путем подбора параметров вывода ограничьте число выводимых на экран характеристик исходя из удобства их анализа.

Выведите в окно графики совместно со статическими динамическую выходную ВАХ. По верхней выводимой ВАХ, соответствующей $U_{3u(1)}=0$ для ПТ с управляющим *p*-*n*-переходом и $U_{3u(3)}$ для ПТ с изолированным затвором (см. п. 5.3), определите значения начального тока $I_{c.нач}$ (тока насыщения $I_{c.нас}$) и напряжения насыщения $U_{c.нас}$ в точке перегиба ВАХ, запишите эти значения в рабочую тетрадь.

5.5.3. С помощью соответствующих клавиш выберите для вывода семейство передаточных статических характеристик. Подберите параметры вывода таким образом, чтобы в окне графики отображалось небольшое число измеренных характеристик, например три: верхняя ВАХ, нижняя и одна из промежуточных.

Выведите в окно графики совместно со статическими динамическую передаточную ВАХ. По измеренным в автоматическом режиме передаточным ВАХ определите приближенные значения напряжения отсечки $U_{3.otc}$ и начального тока стока $I_{c.нач}$ (тока насыщения $I_{c.нас}$ при $U_{3и(3)}$), запишите их в рабочую тетрадь.

Сохраните для отчета показания цифрового индикатора и выводимые графики передаточных характеристик ПТ, измеренных в автоматическом режиме.

6. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде электронного документа в текстовом редакторе *Word*.

В отчете должны быть приведены:

1. Цель выполнения лабораторной работы, тип исследуемого диода.

2. Вид сохраненной лицевой панели виртуального лабораторного стенда.

3. Результаты измерений и обработки по п. 5.

4. Выводы по лабораторной работе о степени соответствия результатов измерений теоретическим и физическим представлениям и закономерностям.

Контрольные вопросы

1. Какие полупроводниковые приборы называются полевыми транзисторами?

2. Какие существуют виды полевых транзисторов?

3. Чем управляются полевые транзисторы – напряжением или током?

4. Каковы полярности напряжений полевого транзистора и чем они определяются?

5. Как устроен и работает полевой транзистор с управляющим *p*-*n*-переходом?

6. Как устроен полевой транзистор с барьером Шоттки и каковы его особенности?

7. Какой вид имеют передаточные и выходные характеристики полевого транзистора с управляющим *p*–*n*-переходом и с барьером Шоттки?

8. Как устроен и работает МОП-транзистор?

9. Какой вид имеют передаточные и выходные характеристики МОПтранзистора со встроенным и с индуцированным каналами?

10. В чем заключается различие МОП-транзисторов с индуцированным и встроенным каналами?

11. Какие характерные области можно выделить на ВАХ полевых транзисторов?

12. Как определяется область и напряжение отсечки на ВАХ полевого транзистора?

13. Что такое крутизна полевого транзистора, как она определяется и от чего зависит?

14. Как зависят ВАХ и параметры полевых транзисторов от температуры?

Лабораторная работа № 9 Исследование работы полевого транзистора на переменном токе

1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является закрепление теоретических знаний о характеристиках, параметрах и применениях полевых транзисторов путем экспериментального их исследования с помощью измерительных средств аппаратно-программного комплекса с удаленным доступом «Электроника».

5. Задание для экспериментального исследования работы полевого транзистора на переменном токе

С помощью средств АПК УД «Электроника» измерить осциллограммы напряжений и токов в исследуемой схеме усилительного каскада на полевом транзисторе для разных режимов работы транзистора, значений амплитуды и частоты сигнала, сопротивления нагрузки и ЭДС источника питания. Обосновать результаты измерения посредством ВАХ транзистора; определить коэффициенты передачи и энергетические характеристики каскада по данным измерения.

Порядок выполнения задания

5.1. Выполните соединение с сервером с титульного экрана аппаратнопрограммного комплекса «Электроника», нажав клавишу «Подключение».

Выберите исследуемый прибор – «Полевой транзистор», лабораторную работу – «Исследование работы прибора на переменном токе», тип полевого транзистора и номер индивидуального варианта.

Откройте лицевую панель виртуального лабораторного стенда, нажав клавишу «Начать выполнение».

5.2. Ознакомьтесь по лицевой панели стенда со схемой исследуемого каскада на полевом транзисторе, с лицевыми панелями измерителя ВАХ и цифрового осциллографа, со схемой подключения каналов осциллографа, с параметрами источников постоянной и переменной ЭДС, с их выводимыми по умолчанию значениями.

5.3. Выполните измерение осциллограмм напряжений в исследуемой схеме усилительного каскада, соответствующих работе полевого транзистора в режиме большого сигнала без отсечки тока (в режиме А).

Указания по проведению измерений, сохранению и обработке полученных результатов

5.3.1. Проведите измерение ВАХ ПТ, нажав кнопку включения автоматического измерителя ВАХ. При успешном завершении измерения ознакомьтесь с выведенными графиками измеренных статических выходных и динамических передаточных и выходных ВАХ.

Установите значение ЭДС питания цепи стока $E_c = +7,5$ В для ПТ с *п*-каналом и $E_c = -7,5$ В для ПТ с *р*-каналом (или другое значение в соответствии с индивидуальным вариантом).

Изменяя ЭДС источника смещения цепи затвора E_{30} , по графикам ВАХ и показаниям цифровых индикаторов измерителя ВАХ определите нижнюю и верхнюю границы рабочего участка по напряжению затвор-исток $U_{3и.ниж}$, $U_{3и.верх}$, соответствующие работе ПТ в области насыщения без отсечки тока.

Запишите в рабочую тетрадь соответствующие границам рабочего участка значения ЭДС источника смещения цепи затвора $E_{3.ниж}, E_{3.верх}$.

Установите исходную рабочую точку в середине рабочего участка ВАХ путем задания ЭДС смещения $E_{0(0)} = (U_{3.\text{ниж}} + U_{3.\text{верх}})/2$ (рабочая точка 0).

Задайте соответствующую рабочему участку максимальную амплитуду переменной (гармонической) составляющей ЭДС затвора $E_{m \max}$ (амплитуду входного сигнала), равную $|U_{3,\text{верх}} - U_{3,\text{ниж}}|/2$. Частоту гармонического сигнала оставьте равной значению, выводимому по умолчанию.

Запишите в рабочую тетрадь выводимые на цифровые индикаторы значения токов и напряжений ПТ в рабочей точке $U_{3u(0)}$, $I_{c(0)}$, $U_{cu(0)}$.

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

При успешном завершении измерения на экран выводятся измеренные осциллограммы напряжений затвор-исток U_{3H} (входной ЭДС E_3) (канал 1), сток-исток U_{cH} (канал 2) и падения напряжения $U_{Rc} = I_c R_c$ на сопротивлении нагрузки R_c , пропорционального току стока I_c (канал 3). Мгновенные значения напряжений и тока стока ПТ отображаются также на графиках передаточной и выходной динамических ВАХ измерителя ВАХ.

Подберите удобное для анализа и проведения курсорных измерений число периодов развертки сигналов осциллографа, равное, например, одному периоду.

Определите по осциллограммам, каким является усилительный каскад с общим истоком – инвертирующим или неинвертирующим, а также в каком соотношении находятся фазы напряжения сток-исток и тока стока.

Сохраните для отчета лицевую панель виртуального лабораторного стенда. Сохраните измеренные ВАХ и осциллограммы напряжений с показаниями цифровых курсорных индикаторов и индикаторов измерителя ВАХ по п. 5.3.2.

5.3.2. Не изменяя положения курсорной линии, переведите входы каналов осциллографа в режим «Закрытые».

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений с показаниями цифровых курсорных индикаторов по п. 5.3.4, необходимые для определения

постоянных составляющих токов и напряжений.

5.4. Выполните измерение осциллограмм напряжений в исследуемой схеме усилительного каскада при разных положениях исходной рабочей точки ПТ в режиме малого сигнала без отсечки тока.

Указания по проведению измерений, сохранению и обработке полученных результатов

5.4.1. Установите входы каналов осциллографа в положение «Закрытые». Задайте амплитуду входного сигнала $E_m = E_{m \text{ max}}/3$. Оставьте установленное в п. 5.3 положение исходной рабочей точки в середине рабочего участка динамической ВАХ, соответствующее значению ЭДС смещения затвора, равному $E_{0(0)}$ (рабочая точка 0).

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

5.4.2. По выведенным осциллограммам напряжений проведите курсорные измерения, установив курсорную линию в положение, соответствующее моменту времени t_1 (см. п. 5.3.2).

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений с показаниями цифровых курсорных индикаторов и индикаторов измерителя ВАХ по п. 5.4.2 совместно с графиками ВАХ.

5.4.3. Установите ЭДС смещения затвора, равную $E_{30(1)} = (U_{3.\text{ниж}} + E_{m \text{ max}}/3)$ для ПТ с каналом *n*-типа или $E_{30(1)} = (U_{3.\text{ниж}} - E_{m \text{ max}}/3) - для ПТ с каналом$ *p*-типа, что соответствует рабочей точке в нижней области рабочего участка динамической ВАХ (рабочая точка 1).

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

5.4.4. По выведенным осциллограммам напряжений проведите курсорные измерения, установив курсорную линию в положение, соответствующее моменту времени t_1 (см. п. 5.3.2).

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений с показаниями цифровых курсорных индикаторов и индикаторов измерителя ВАХ совместно с графиками ВАХ по п. 5.4.4.

5.4.5. Установите ЭДС смещения затвора, равную $E_{30(2)} = (U_{3.Bepx} - E_{m max}/3)$ для ПТ с каналом *n*-типа или $E_{30(2)} = (U_{3.Bepx} + E_{m(max)}/3) - для ПТ с каналом$ *p*типа, что соответствует рабочей точке в верхней области рабочего участкадинамической ВАХ (рабочая точка 2).

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений с показаниями цифровых курсорных индикаторов и индикаторов измерителя ВАХ.

5.5. Выполните измерение осциллограмм напряжений в исследуемой схеме усилительного каскада, соответствующих работе полевого транзистора в режиме большого сигнала с отсечкой тока (режим, близкий к режиму В).

Указания по проведению измерений, сохранению и обработке

полученных результатов

5.5.1. Установите ЭДС смещения затвора, равную $E_{30(3)} = U_{3.ниж}$, что соответствует нижнему положению исходной рабочей точки на динамической ВАХ.

Задайте значение амплитуды входного сигнала $E_m = |U_{3.\text{верх}} - U_{3.\text{ниж}}| = 2E_m \max$. Если окажется, что сумма $E_m + E_{30(3)} > 10$ В, то уменьшите амплитуду входного сигнала до значения $E_m = 10 - E_{30(3)}$, В.

Измерьте осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы.

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений совместно с графиками ВАХ и показаниями цифровых индикаторов измерителя ВАХ по п. 5.5.1.

5.5.2. Проведите курсорные измерения при положении курсорной линии, соответствующем моменту времени t_1 (см. п. 5.3.2).

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений с показаниями цифровых курсорных индикаторов совместно с графиками ВАХ и показаниями цифровых индикаторов измерителя ВАХ по п. 5.5.2.

5.5.3. Переведите входы осциллографа в режим «Закрытые». Проведите курсорные измерения при положении курсорной линии, соответствующем моменту времени *t*₁ (см. п. 5.3.2).

Сохраните для отчета осциллограммы напряжений с показаниями цифровых курсорных индикаторов по п. 5.5.3.

6. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде электронного документа в текстовом редакторе *Word*.

В отчете должны быть приведены:

5. Цель выполнения лабораторной работы, тип исследуемого диода.

6. Вид сохраненной лицевой панели виртуального лабораторного стенда.

7. Результаты измерений и обработки по п. 5.

8. Выводы по лабораторной работе о степени соответствия результатов измерений теоретическим и физическим представлениям и закономерностям.

Контрольные вопросы

1. Какие возможны схемы включения полевых транзисторов?

2. Что такое динамические вольт-амперные характеристики усилительного каскада и как они строятся?

3. Что такое нагрузочная характеристика каскада, как она описывается и строится?

4. Как задается положение рабочей точки на нагрузочной характеристике?

5. На каком участке ВАХ необходимо выбирать рабочую точку полевого транзистора при использовании его для усиления электрических сигналов?

6. На каком участке ВАХ необходимо выбирать рабочую точку транзистора при использовании его в качестве резистора, управляемого напряжением?

7. Какие возможны режимы работы полевого транзистора в зависимости от положения исходной рабочей точки, в чем заключаются их особенности?

8. Как графически и аналитически определить коэффициент усиления каскада на полевом транзисторе?

9. Как графически определить амплитуды выходного напряжения и выходного тока усилительного каскада на полевом транзисторе при заданной амплитуде входного гармонического сигнала?

10. Что понимается под средней крутизной полевого транзистора при работе в режиме большого сигнала?

11. Как графически определить полезную выходную мощность усилительного каскада на полевом транзисторе при заданной амплитуде входного гармонического сигнала?

12. Как зависит коэффициент усиления по напряжению усилительного каскада на полевом транзисторе от значения тока покоя?

13. Что усиливают полевые транзисторы – напряжение или ток?

14. От чего возможны искажения формы сигналов в усилительном каскада на полевом транзисторе?

15. Какие характерные области можно выделить на ВАХ полевых транзисторов?



Номер варианта	Вид исследования	Тип полупроводникового прибора	Номер прибора
1	2	3	4
ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР			
1		КП103М	1
2		КП103М	2
3		КП103М	3
4	Экспериментальные	КП103М	4
5	исследования	КП305Д	1
6		КП305Д	2
7		КП305Д	3
8		КП305Д	4