

мально и равно напряжению источника питания E_K . Данный режим соответствует точке 2 на рис. 8.2, б.

Работа транзисторного каскада в режиме малого сигнала

При работе транзисторного каскада в режиме малого сигнала обеспечивается наибольшее усиление входного сигнала при минимальных искажениях. Характерной особенностью данного режима является то, что при всех возможных значениях входного сигнала рабочая точка транзистора не выходит из линейной области.

Расчет режима малого сигнала состоит в нахождении постоянных и переменных составляющих токов и напряжений в транзисторном каскаде. Расчет постоянных составляющих позволяет найти параметры рабочей точки транзисторного каскада (статический режим). Расчет переменных составляющих – усилительные свойства каскада в этой точке.

Коэффициент усиления по напряжению определяется отношением амплитуд выходного синусоидального напряжения к входному:

$$K_v = \frac{U_{Выхм}}{U_{Вхм}}. \quad (8.8)$$

Величина этого параметра в схеме с общим эмиттером равна отношению сопротивления в цепи коллектора r_K к сопротивлению в цепи эмиттера $r_Э$:

$$K_v = \frac{r_K}{r_Э}. \quad (8.9)$$

Сопротивление в цепи коллектора r_K определяется параллельным соединением сопротивления коллектора R_K и сопротивления нагрузки R_H , роль которого может играть, например, входное сопротивление следующего каскада:

$$r_K = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}. \quad (8.10)$$

Сопротивление в цепи эмиттера $r_Э$ – это сопротивление эмиттерного перехода, равное:

$$r_Э = 25\text{мВ}/I_Э, \quad (8.11)$$

причем в силу малости тока базы можно считать $I_Э \approx I_K$. Если в цепи эмиттера включен резистор сопротивлением $R_Э$, то коэффициент усиления следует рассчитывать по формуле:

$$K_y = \frac{r_k}{r_3 + R_3}. \quad (8.12)$$

Важными параметрами транзисторного каскада являются также входное и выходное сопротивления.

Входное сопротивление усилителя по переменному току равно отношению амплитуд синусоидального входного напряжения U_{BXm} и входного тока I_{BXm} :

$$r_{BX} = \frac{U_{BXm}}{I_{BXm}}. \quad (8.13)$$

Эта величина также вычисляется как параллельное соединение входного сопротивления транзистора $r_i = \beta_{AC} \cdot r_3$ и резисторов в цепи смещения базы. В схеме рис.8.1 используется один резистор R_B , поэтому входное сопротивление каскада равно:

$$\frac{1}{r_{BX}} = \frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_B}. \quad (8.14)$$

Значение дифференциального **выходного сопротивления** схемы находится по напряжению U_{XXm} холостого хода на выходе усилителя и по напряжению $U_{ВЫХm}$, измеренному для сопротивления нагрузки R_H , из следующего уравнения, решаемого относительно $r_{ВЫХ}$:

$$\frac{U_{ВЫХm}}{U_{XXm}} = \frac{R_H}{R_H + r_{ВЫХ}}. \quad (8.15)$$

Выбор рабочей точки транзисторного каскада определяет особенности работы транзисторного каскада. Максимальная величина неискаженного переменного напряжения на выходе может быть получена при условии, когда в статическом режиме постоянное напряжение на коллекторе равно половине напряжения коллекторного источника питания $U_K = E_K/2$.

При неудачном выборе амплитуды входного сигнала и величины базового смещения возникают искажения: выходное напряжение принимает не-синусоидальную форму. Для устранения искажений нужно скорректировать положение рабочей точки или уменьшить амплитуду входного сигнала.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль М5.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Подготовьте шаблон отчета в редакторе MS Word.

Установите ключ в разъем модуля М5 лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис. 8.3.

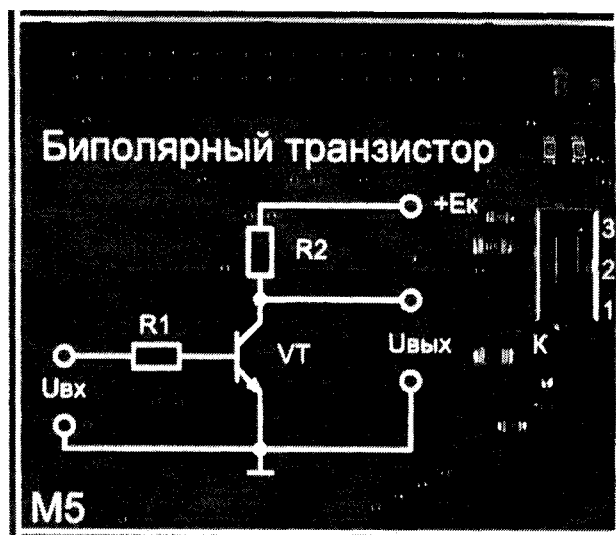


Рис. 8.3. Внешний вид модуля M5

Загрузите и запустите программу Lab8(M5).vi. На экране появится изображение лицевой панели ВП (рис.8.4), необходимого для выполнения лабораторного задания.

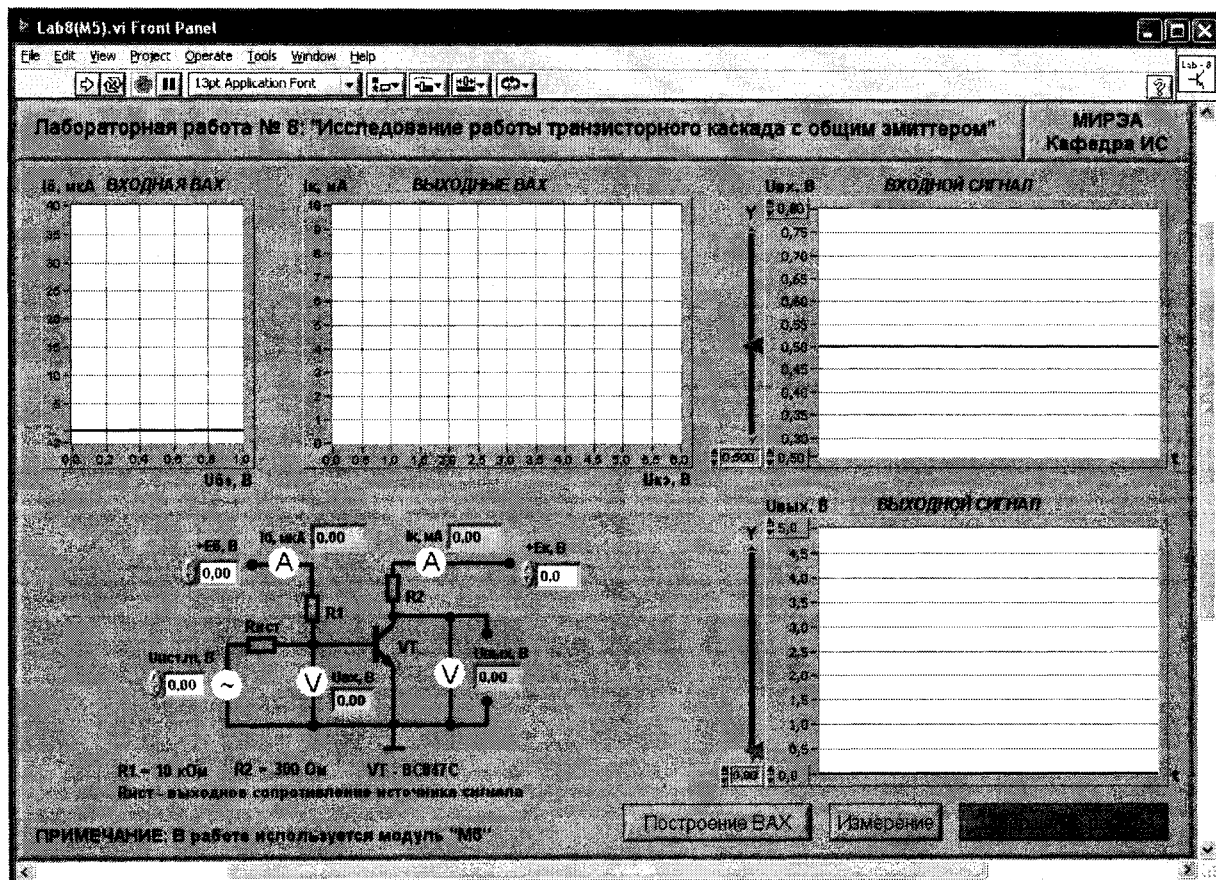


Рис. 8.4. Лицевая панель ВП

Задание. Установка рабочей точки и исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером

4.1. Установите переключатель «К» модуля **М5** в положение «1». При этом в цепь коллектора транзистора будет включен резистор сопротивлением 300 Ом.

4.2. Для построения вольтамперных характеристик транзистора нажмите кнопку «**Построение ВАХ**». На графических индикаторах «Входная ВАХ» и «Выходные ВАХ» будут построены соответствующие характеристики. Скопируйте в отчет полученные изображения ВАХ транзистора.

4.3. С помощью органов управления на лицевой панели ВП установите амплитуду напряжения источника входного сигнала $U_{ист.м} = 0$, и величину напряжения источника питания в цепи коллектора $E_K = 5$ В. Нажмите кнопку «**Измерение**». На графике выходных характеристик транзистора будет построена линия нагрузки. Скопируйте в отчет изображение, полученное на графическом индикаторе.

4.4. Регулируя напряжение источника смещения базы $+E_B$, установите такое значение тока базы I_B , при котором рабочая точка находится в середине линии нагрузки. По цифровым индикаторам лицевой панели ВП определите и занесите в табл.8.1 параметры статического режима транзисторного каскада с общим эмиттером.

Таблица 8.1

I_B , мкА	$U_{БЭ}$, В	I_K , мА	U_K , В

4.5. Постепенно увеличивая амплитуду напряжения источника входного сигнала $U_{ист.м}$ получите на графическом индикаторе ВП максимальный неискаженный выходной сигнал. Скопируйте изображение выходного сигнала в отчет. Сопоставьте осциллограммы входного и выходного сигналов транзисторного каскада с общим эмиттером и сделайте вывод о соотношении их фаз.

4.6. Измерьте амплитуды входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ сигналов. Для этого по соответствующей осциллограмме с помощью горизонтальной линии курсора определите максимальное (u_{max}) и минимальное (u_{min}) мгновенные значения сигнала. Для удобства измерений масштаб шкалы вертикальной оси графика может быть изменен с помощью цифровых элементов управления, задающих ее начальное и конечное значения. Амплитуду сигнала вычислите по формуле:

$$U_m = (u_{max} - u_{min}) / 2.$$

Полученный результат запишите в отчет.

4.7. Используя полученные в п.4.6 значения амплитуд входного и выходного сигналов, определите коэффициент усиления транзисторного

каскада по формуле:

$$K_y = U_{\text{ВЫХ.м}} / U_{\text{ВХ.м}}$$

Полученный результат запишите в отчет.

4.8. Вычислите коэффициент усиления транзисторного каскада по формуле:

$$K_y = r_K / r_{\text{Э}}$$

При этом из-за отсутствия сопротивления нагрузки ($R_H = \infty$) в соответствии с выражением (8.10) $r_K = R_K$. Значение сопротивления $r_{\text{Э}}$ можно определить по формуле (8.11), учитывая, что $I_{\text{Э}} \approx I_K$. Величину тока коллектора I_K следует взять из табл.8.1. Сравните полученный результат со значением коэффициента усиления транзисторного каскада, определенным в п.4.7. Выводы и результаты запишите в отчет.

4.9. Исследуйте, как влияет положение рабочей точки на работу транзисторного каскада с общим эмиттером. Для этого, регулируя напряжение источника питания в цепи базы E_B , измените значение тока базы примерно на (30 ÷ 40)% от величины I_B , полученной в п. 4.4, сначала в сторону увеличения, а затем в сторону уменьшения. Пронаблюдайте характер искажения выходного сигнала. Скопируйте в отчет изображение, полученное на графическом индикаторе ВП в обоих случаях. Объясните причину наблюдаемых искажений выходного сигнала.

4.10. Установите переключатель «К» модуля М5 в положение «2». При этом в цепь коллектора транзистора будет включен резистор сопротивлением 510 Ом. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2 – 4.9.

4.11. Установите переключатель «К» модуля М5 в положение «3». При этом в цепь коллектора транзистора будет включен резистор сопротивлением 1 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2 – 4.9.

4.12. Сравните результаты, полученные при разных значениях сопротивления резистора в цепи коллектора. Выводы запишите в отчет.

4.13. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Завершение работы».

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие вам известны режимы работы биполярного транзистора?
- Какие вы знаете способы задания режима работы по постоянному току в транзисторном каскаде с общим эмиттером?
- Как построить линию нагрузки на семействе выходных характеристик биполярного транзистора?
- От каких параметров зависит коэффициент усиления транзисторного каскада с общим эмиттером?
- При каком условии биполярный транзистор будет находиться в режиме отсечки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является получение передаточной характеристики, зависимости сопротивления канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток и семейства выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком.

2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Униполярными или полевыми транзисторами называются полупроводниковые приборы, в которых регулирование тока производится изменением проводимости проводящего канала с помощью электрического поля, перпендикулярного направлению тока. Оба названия этих транзисторов достаточно точно отражают их основные особенности: прохождение тока в канале обусловлено только одним типом зарядов, и управление током канала осуществляется при помощи электрического поля.

Электроды, подключенные к каналу, называются *стоком* (*C*) и *истоком* (*I*), а управляющий электрод называется *затвором* (*З*). Напряжение управления, которое создает поле в канале, прикладывается между затвором и истоком. Униполярные транзисторы делятся на две группы: с изолированным затвором и с управляющим *p-n*-переходом.

Устройство **полевого транзистора с изолированным затвором** (ПТИЗ) показано на рис. 9.1.

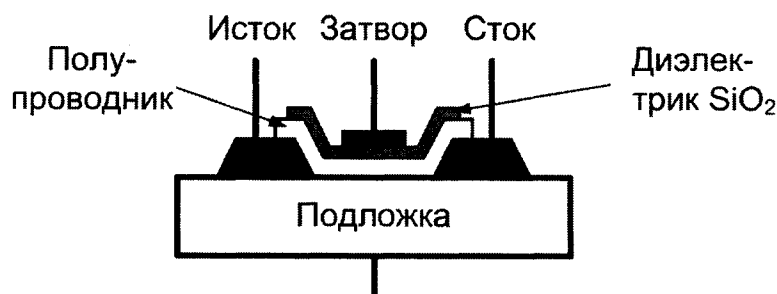


Рис. 9.1. Устройство полевого транзистора с изолированным затвором

В этих приборах электрод затвора изолирован от полупроводникового канала с помощью слоя диэлектрика из двуокиси кремния SiO_2 . Поэтому полевой транзистор с такой структурой называют МОП-транзистором (металл-окисел-полупроводник). Электроды стока и истока располагаются по обе стороны затвора и имеют контакт с полупроводниковым каналом. Ток утечки затвора пренебрежимо мал даже при повышенных температу-

рах. Полупроводниковый канал может быть обеднен носителями зарядов или обогащен ими. При обедненном канале электрическое поле затвора повышает его проводимость, поэтому канал называется *индуцированным*. Если канал обогащен носителями зарядов, то он называется *встроенным*. Электрическое поле затвора в этом, случае приводит к обеднению канала носителями зарядов.

Проводимость канала может быть электронной или дырочной. Если канал имеет электронную проводимость, то он называется *n*-каналом. Каналы с дырочной проводимостью называются *p*-каналами. В результате полевые транзисторы с изолированным затвором могут быть четырех типов: с каналом *n*- или *p*-типов, каждый из которых может иметь индуцированный или встроенный канал.

Условные изображения этих типов транзисторов приведены на рис. 9.2. Графическое обозначение транзисторов содержит информацию о его устройстве. Штриховая линия обозначает индуцированный канал, а сплошная – встроенный. Подложка (П) изображается как электрод со стрелкой, направление которой указывает тип проводимости канала. Если корпус транзистора выполнен из металла, то подложка имеет с ним электрический контакт. Подложка также может быть соединена с истоком. Затвор изображается вертикальной линией, параллельной каналу. Вывод затвора смещен к электроду истока.

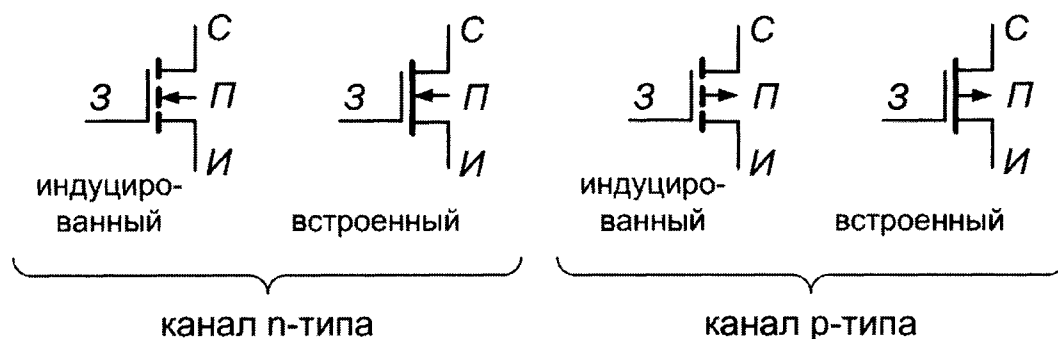


Рис. 9.2. Условное графическое изображение полевых транзисторов с изолированным затвором

Устройство полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом (ПТУП) приведено на рис. 9.3, а. В таком транзисторе затвор выполнен в виде обратно смещенного *p-n*-перехода. Изменение обратного напряжения на затворе позволяет регулировать ток в канале. На рис. 9.3, а показан полевой транзистор с каналом *p*-типа и затвором, выполненным в виде областей *n*-типа. Увеличение обратного напряжения на затворе приводит к снижению проводимости канала, поэтому полевые транзисторы с управляющим *p-n*-переходом работают только на обеднение канала носителями зарядов. Условное графическое обозначение полевых транзисторов с управляющим *p-n*-переходом приведено на рис. 9.3, б.

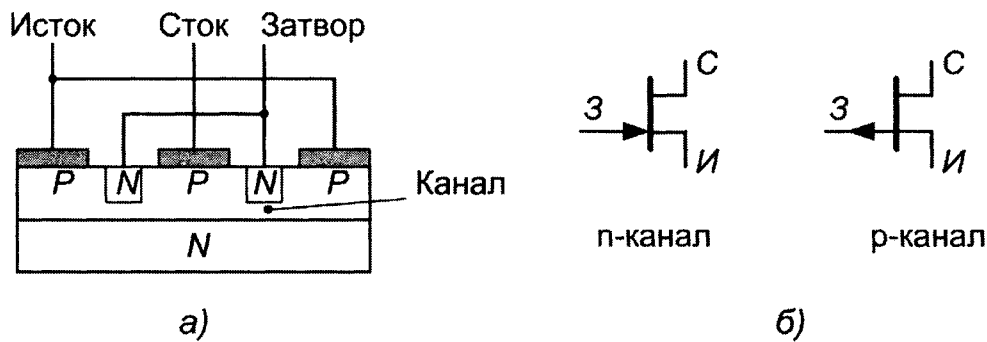


Рис. 9.3. Устройство полевого транзистора с управляющим p-n-переходом

Поскольку ПТУП могут работать только с обеднением канала, то наличие встроенного канала показано на этом изображении сплошной линией, которая имеет контакты с электродами стока и истока. Направление стрелки на выводе затвора указывает тип проводимости канала.

Входное сопротивление полевых транзисторов составляет десятки – сотни мегом. При этом входной ток очень мал и практически не зависит от напряжения $U_{зи}$ между затвором и истоком. Поэтому для полевых транзисторов входная характеристика, т.е. зависимость I_z от $U_{зи}$ при фиксированном значении $U_{си}$, практического значения не имеет. При расчетах схем на полевых транзисторах используются только передаточные и выходные вольтамперные характеристики.

Типовые передаточные характеристики n-канальных полевых транзисторов приведены на рис. 9.4. Как видно, ток стока для n-канальных транзисторов имеет положительный знак, что соответствует положительному напряжению на стоке.

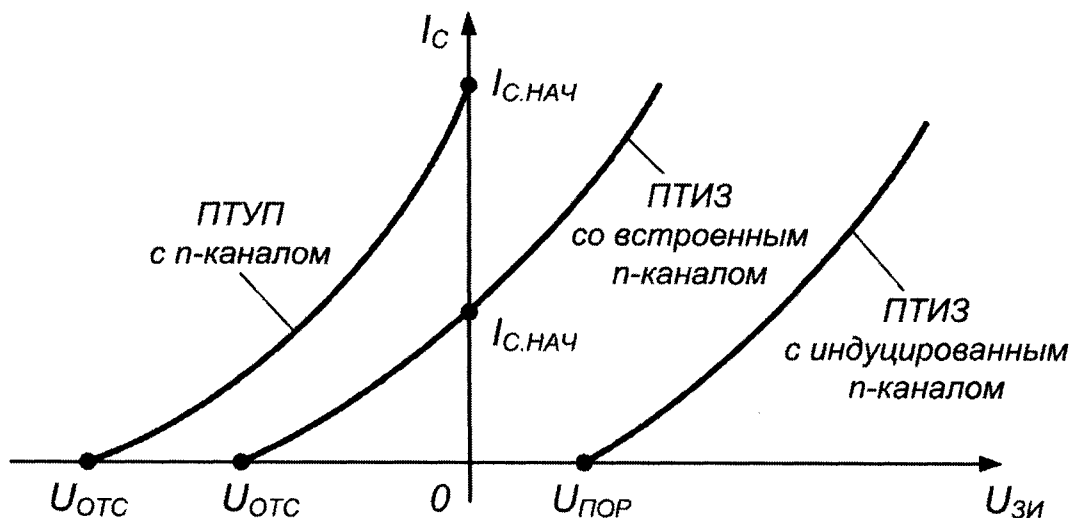


Рис. 9.4. Типовые передаточные характеристики n-канальных полевых транзисторов

ПТУП при нулевом напряжении на затворе имеют максимальное значение тока стока, которое называется начальным $I_{с.нач}$. При уменьшении напряжения на затворе ток стока уменьшается и при напряжении отсечки $U_{отс}$ становится близким к нулю.

Характеристики ПТИЗ с индуцированным каналом таковы, что при нулевом напряжении на затворе ток стока транзистора равен нулю. Появление тока стока в таких транзисторах происходит при напряжении на затворе больше порогового значения $U_{пор}$. Увеличение напряжения на затворе приводит к увеличению тока стока.

Характеристики ПТИЗ со встроенным каналом при нулевом напряжении на затворе имеют начальное значение тока $I_{с.нач}$. Такие транзисторы могут работать как в режиме обогащения, так и в режиме обеднения. При увеличении напряжения на затворе канал обогащается и ток стока растет, а при уменьшении – обедняется. При напряжении на затворе ниже напряжения отсечки $U_{отс}$, ток стока равен нулю.

Для полевых транзисторов с p -каналом передаточные характеристики имеют такой же вид, только располагаются в нижней половине графика. Ток стока и напряжение на стоке у таких транзисторов имеют отрицательное значение.

Типовые выходные характеристики полевых транзисторов с изолированным затвором и индуцированным каналом приведены на рис.9.5. Выходные характеристики других типов полевых транзисторов имеют аналогичный вид.

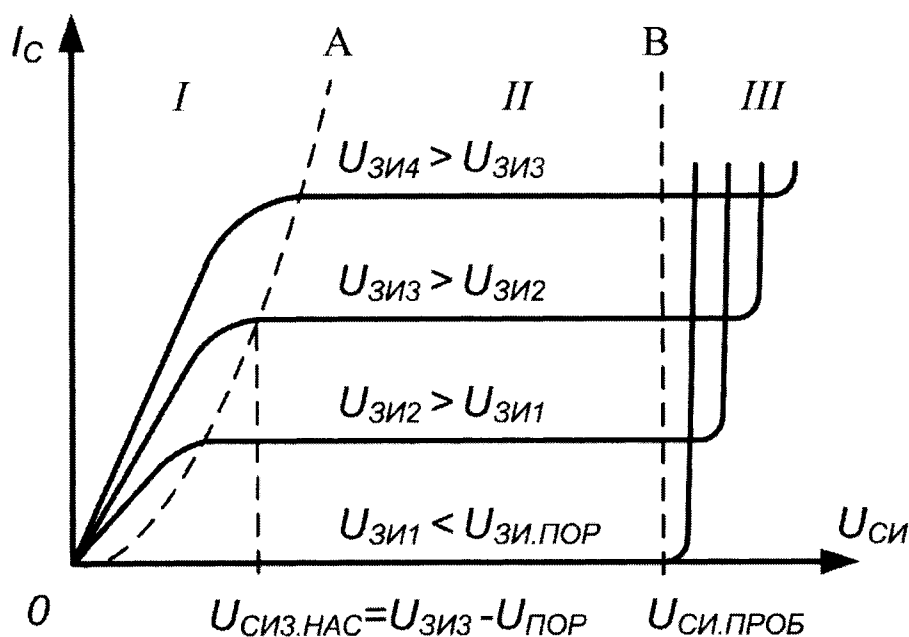


Рис. 9.5. Выходные характеристики ПТИЗ со встроенным каналом: I- линейная область, II- область насыщения, III- область пробоя, пунктирные линии A и B – границы между областями

На ВАХ полевого транзистора можно выделить три характерные области: линейную, насыщения и пробоя. В линейной области при малых значениях $U_{СИ}$ вольтамперные характеристики представляют собой прямые линии, наклон которых зависит от напряжения на затворе. В области насыщения ВАХ идут практически горизонтально, что позволяет говорить о независимости тока стока I_C от напряжения на стоке $U_{СИ}$. В области пробоя транзистор становится неуправляемым – это аварийный режим.

Особенности характеристик в первых двух областях обуславливают применение полевых транзисторов. В линейной области полевой транзистор используется как сопротивление, управляемое напряжением на затворе, а в области насыщения – как усилительный элемент.

Линейная область. В линейной области ток стока полевого транзистора определяется уравнением:

$$I_C = b[(U_{ЗИ} - U_{ПОР})U_{СИ} - \frac{U_{СИ}^2}{2}], \quad (9.1)$$

где b – постоянный коэффициент, называемый удельной крутизной, $U_{ПОР}$ – пороговое напряжение, $U_{ЗИ}$ – напряжение между затвором и истоком, $U_{СИ}$ – напряжение между стоком и истоком.

Удельная крутизна полевого транзистора равна:

$$b = \frac{\mu_n W C_d}{L}. \quad (9.2)$$

где μ_n – подвижность электронов в кремнии; W – ширина канала; L – длина канала; C_d – удельная емкость между затвором и каналом.

На начальном участке линейной области, учитывая малую величину напряжения на стоке ($U_{СИ} \approx 0$), можно воспользоваться упрощенным выражением:

$$I_C \approx b(U_{ЗИ} - U_{ПОР})U_{СИ}. \quad (9.3)$$

Выражение (9.3) позволяет определить сопротивление канала в линейной области:

$$R_K = \frac{U_{СИ}}{I_C} = \frac{1}{b(U_{ЗИ} - U_{ПОР})}. \quad (9.4)$$

Из выражения (9.4) следует, что если напряжение на затворе стремится к пороговому значению $U_{ЗИ} \rightarrow U_{ПОР}$, то сопротивление канала возрастает до бесконечности: $R_K \rightarrow \infty$. График зависимости сопротивления канала от напряжения на затворе приведен на рис.9.6.

Основное применение полевых транзисторов в линейной области определяется их способностью изменять сопротивление при изменении напряжения на затворе. Это сопротивление для мощных полевых транзи-

сторон с изолированным затвором достигает значений 0,5...2,0 Ом, что позволяет использовать их в качестве замкнутого ключа с весьма малым собственным сопротивлением канала. С другой стороны, если напряжение на затворе сделать равным пороговому значению (или меньше его), то сопротивление канала транзистора увеличивается, что соответствует разомкнутому ключу с весьма малой собственной проводимостью. Таким образом, полевой транзистор можно использовать как ключ, управляемый напряжением на затворе.

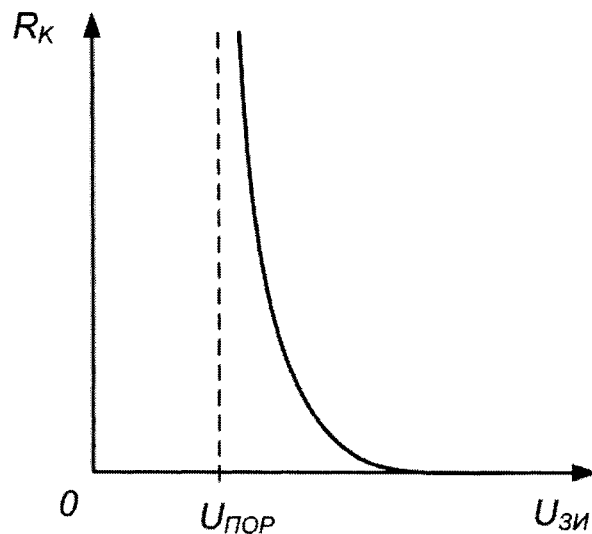


Рис. 9.6. Зависимость сопротивления канала полевого транзистора от напряжения на затворе

Область насыщения. В этой области ВАХ идут практически горизонтально, т.е. $dI_C / dU_C = 0$. Продифференцировав выражение (9.1) по U_C и приравняв к нулю можно найти значение напряжения насыщения:

$$U_{СИ.НАС} = (U_{ЗИ} - U_{ПОР}). \quad (9.5)$$

Подставив (9.5) в (9.1), получим выражение для тока стока полевого транзистора в области насыщения:

$$I_C = \frac{b}{2} (U_{ЗИ} - U_{ПОР})^2, \quad (9.6)$$

из которого следует его независимость от напряжения на стоке $U_{СИ}$. Практически такая зависимость есть, но в большинстве случаев она слабо выражена.

Полевые транзисторы, в области насыщения используются в основном как усилительные приборы и их усилительные свойства определяются крутизной вольтамперной характеристики:

$$S = \left| \frac{dI_c}{dU_{зи}} \right| = b(U_{зи} - U_{пор}). \quad (9.7)$$

Из уравнения (9.7) следует, что крутизна линейно зависит от эффективного напряжения на затворе ($U_{зи} - U_{пор}$). Параметр b называется удельной крутизной, потому что при $U_{зи} - U_{пор} = 1$ величина b равна крутизне транзистора в режиме насыщения.

Крутизна МОП транзистора однозначно связана с протекающим через канал током. Выражение для этой зависимости можно получить из соотношений (9.6) и (9.7):

$$S = \sqrt{2b I_c}. \quad (9.8)$$

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль М6.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Подготовьте шаблон отчета в редакторе MS Word.

Установите ключ в разъем модуля М6 лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис.9.7.

Загрузите и запустите программу Lab9(M6).vi. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «Передаточная характеристика» (рис.9.8), используемая при выполнении задания 1.

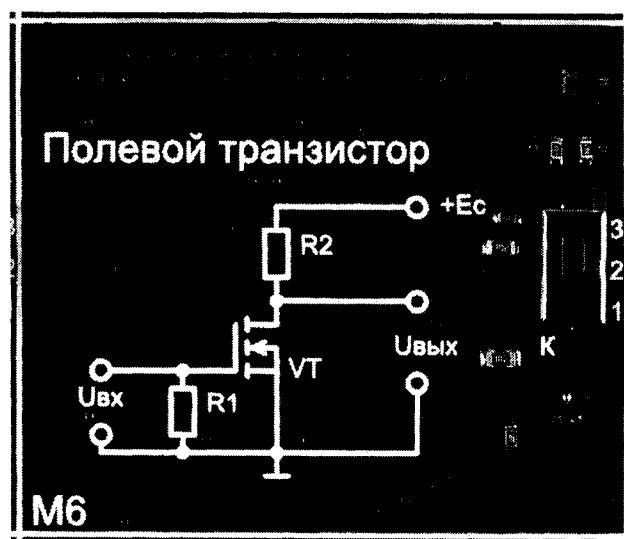


Рис.9.7. Внешний вид модуля М6

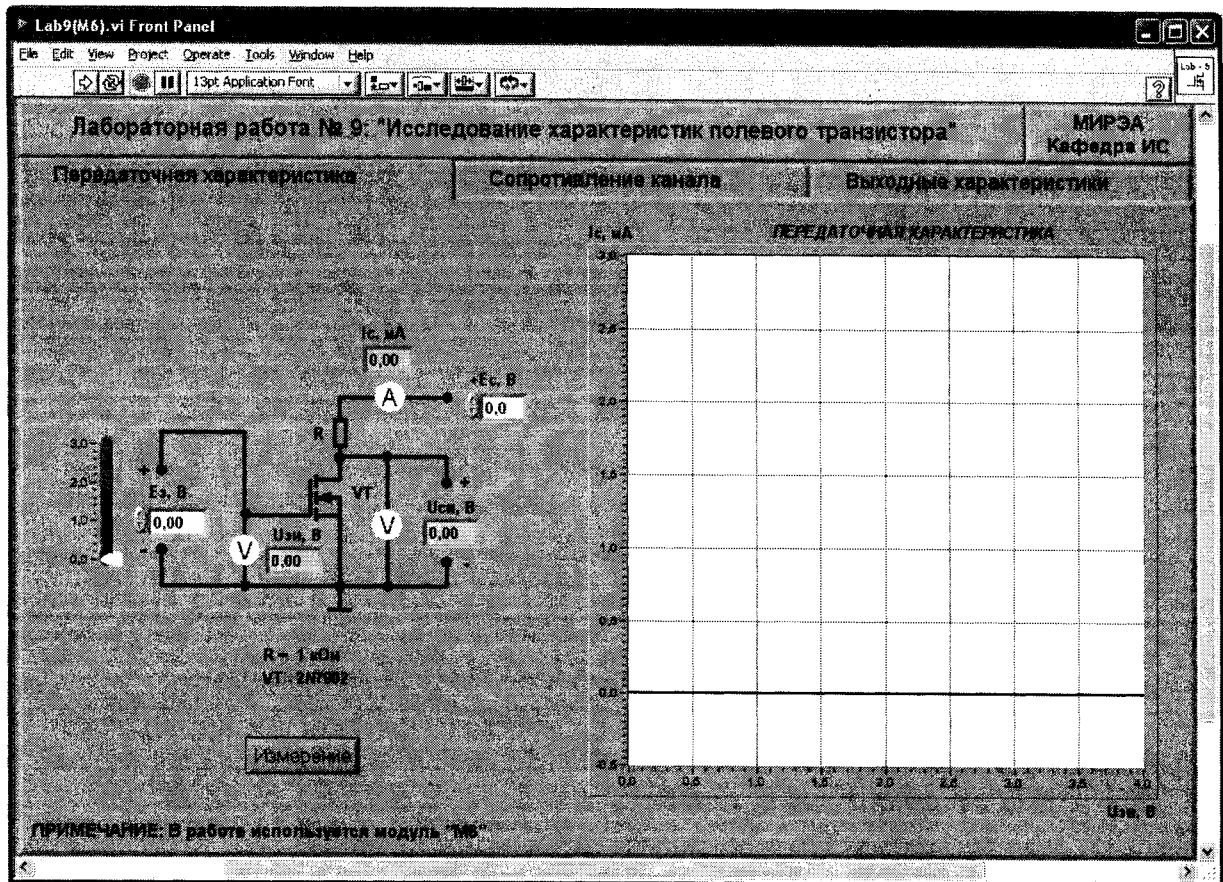


Рис. 9.8. Лицевая панель ВП при выполнении задания 1

Задание 1. Получение передаточной характеристики полевого транзистора в схеме с общим истоком

4.1.1. Установите переключатель «К» модуля М6 в положение «1». При этом в цепь стока транзистора будет включен резистор сопротивлением 1 кОм.

4.1.2. С помощью элемента управления E_c на лицевой панели ВП установите значение напряжения питания в цепи стока равным 10 В. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость выходного тока I_c транзистора от входного напряжения $U_{зи}$. Скопируйте изображение передаточной характеристики в отчет.

4.1.3. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора E_z , расположенного на лицевой панели ВП, установите значение тока стока I_c примерно равным 0,01 мА. Запишите в отчет значение порогового напряжения затвор-исток $U_{пор}$, отображаемое на цифровом индикаторе $U_{зи}$.

4.1.4. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора E_z , расположенного на лицевой панели ВП, установите значение тока стока I_c сначала равным $I_{c.1} = 1,0$ мА, а затем равным $I_{c.2} = 2,5$ мА. Запишите в отчет значения напряжений $U_{зи.1}$ и $U_{зи.2}$.

для этих точек передаточной характеристики.

4.1.5. Используя полученные в п.4.1.4 значения тока стока и напряжения затвор-исток, вычислите крутизну передаточной характеристики полевого транзистора по формуле: $S = (I_{C2} - I_{C1}) / (U_{зи2} - U_{зи1})$. Полученное значение запишите в отчет.

4.1.6. Определите значение удельной крутизны полевого транзистора по формуле $b = S / (U_{зи} - U_{пор})$, используя значения параметров, полученные при выполнении пп.4.1.3 – 4.1.5. При этом величину напряжения затвор-исток нужно взять равным $U_{зи} = (U_{зи1} + U_{зи2}) / 2$. Полученное значение удельной крутизны запишите в отчет.

Задание 2. Получение зависимости сопротивления канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток

4.2.1. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Сопротивление канала». На экране появится изображение ВП, приведенное на рис. 9.9.

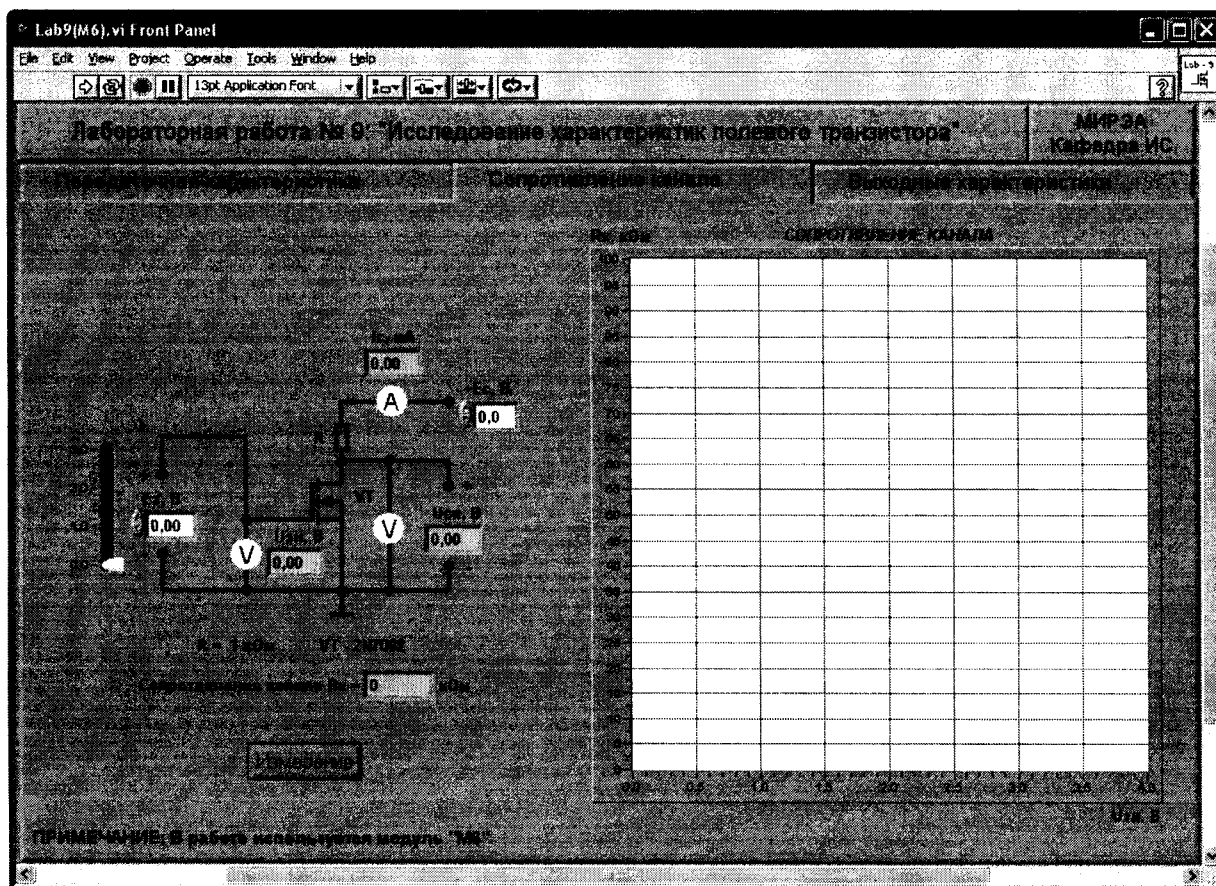


Рис. 9.9. Лицевая панель ВП при выполнении задания 2

4.2.2. С помощью элемента управления E_C на лицевой панели ВП установите значение напряжения источника питания в цепи стока равным 10 В. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графиче-

ском индикаторе ВП будет построена зависимость сопротивления R_K канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток $U_{ЗИ}$. Скопируйте полученный график в отчет.

4.2.3. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора E_3 , расположенного на лицевой панели ВП, установите значение тока стока I_C примерно равным 0,01 мА. Запишите в отчет значение сопротивления $R_{K.макс}$, соответствующее закрытому состоянию транзистора.

4.2.4. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора E_3 , расположенного на лицевой панели ВП, установите максимально возможное значение тока стока I_C . Запишите в отчет значение сопротивления $R_{K.мин}$, соответствующее открытому состоянию транзистора.

Задание 3. Получение семейства выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком

4.3.1. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Выходные характеристики». На экране появится изображение ВП, приведенное на рис. 9.10.

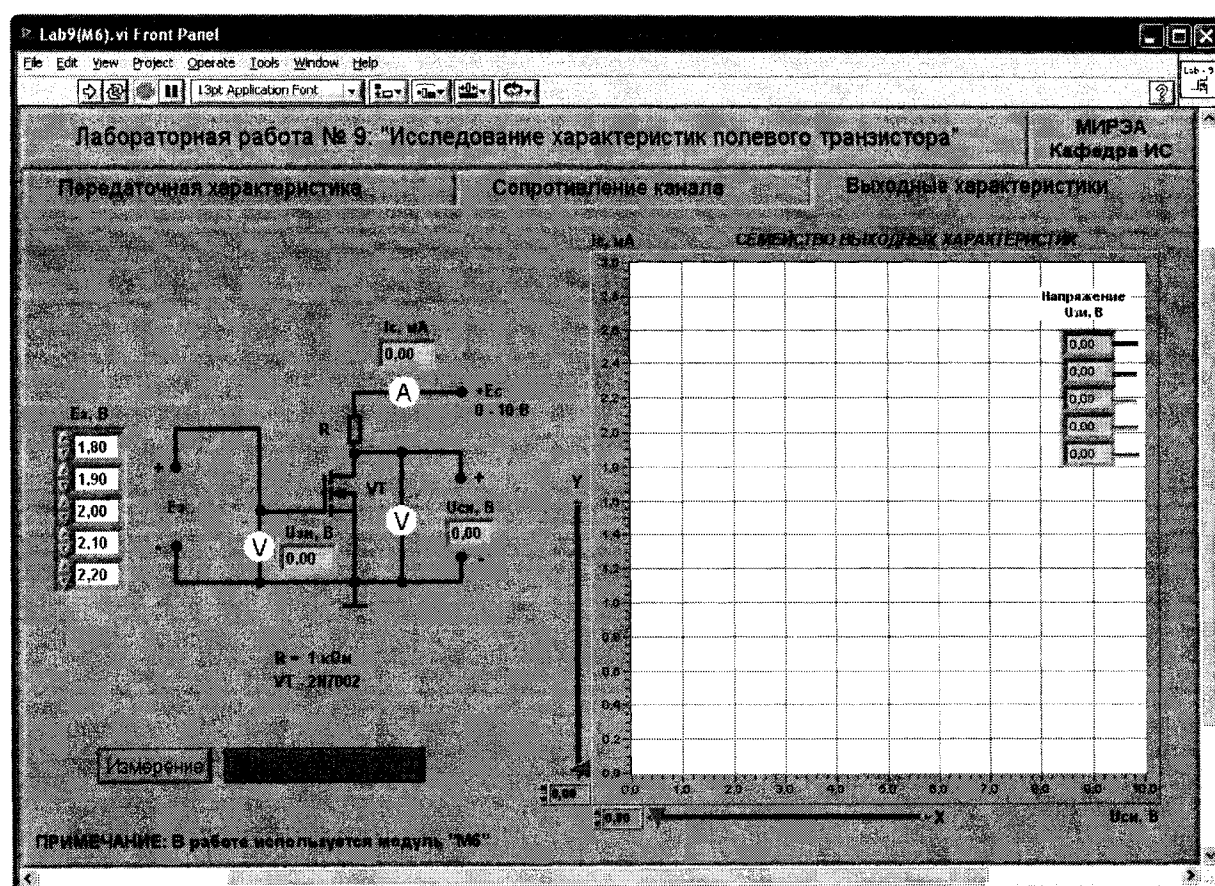


Рис. 9.10. Лицевая панель ВП при выполнении задания 3

4.3.2. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». ВП произведет измерение зависимостей тока стока I_C от напряжения сток-исток $U_{СИ}$. Измерения выполняются при фиксированных значениях напряжения источника питания в цепи затвора E_3 , которые представлены на лицевой панели ВП слева от схемы измерений в виде таблицы. В процессе измерений напряжение источника питания в цепи стока E_C плавно изменяется от 0 до 10 В. На экране графического индикатора отображаются графики полученных зависимостей, а также соответствующие им значения напряжения затвор-исток $U_{ЗИ}$ в виде таблицы.

4.3.3. При необходимости с помощью кнопок изменения значений цифровых элементов управления можно задать другие величины напряжения E_3 . После нажатия на кнопку «Измерение» выходные характеристики будут построены заново. Скопируйте изображение полученных ВАХ в отчет. Около каждого графика укажите соответствующее значение напряжения затвор-исток $U_{ЗИ}$.

4.3.4. Для каждой полученной выходной характеристики определите значение тока стока I_C , соответствующее напряжению $U_{СИ} = 5$ В. Для этого с помощью ползункового регулятора «Х» установите вертикальную линию курсора напротив деления «5 В» горизонтальной оси графика. Затем, поочередно совмещая горизонтальную линию курсора с точками пересечения вертикальной линии курсора с выходными характеристиками, определите соответствующие значения тока стока по цифровому индикатору ползункового регулятора «У». Полученные результаты запишите в отчет.

4.3.5. Используя величины тока стока, полученные в п.4.3.4, вычислите соответствующие им значения крутизны S полевого транзистора с помощью формулы (9.8). Сравните полученные результаты с величиной крутизны, определенной в п.4.1.5 по передаточной характеристике полевого транзистора. Выводы и результаты запишите в отчет.

4.3.6. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Завершение работы».

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие транзисторы называются полевыми или униполярными? Объясните происхождение таких названий.
- Как устроены полевые транзисторы с изолированным затвором и управляющим p - n -переходом? Опишите принцип их работы.
- В чем отличие встроенного и индуцированного каналов ПТИЗ?
- Как выглядят передаточные и выходные характеристики полевых транзисторов известных вам типов? Почему входная характеристика полевого транзистора не имеет практического значения?
- Какие характерные области можно выделить на выходных ВАХ полевого транзистора?
- Назовите области применения полевых транзисторов.