

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРНОГО КАСКАДА С ОБЩИМ ИСТОКОМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование работы транзисторного каскада с общим истоком в различных режимах.

2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Полевые транзисторы нашли широкое применение во входных каскадах усилителей. Объясняется это следующими преимуществами полевого транзистора перед биполярным:

- большее входное сопротивление полевого транзистора упрощает его согласование с высокоомным источником сигнала;
- как правило, полевой транзистор имеет весьма малый коэффициент шума, что делает его более предпочтительным при усилении слабых сигналов;
- полевой транзистор имеет большую собственную температурную стабильность режима покоя.

Вместе с тем каскады на полевых транзисторах обычно обеспечивают меньший коэффициент усиления по напряжению, по сравнению с каскадами на биполярных транзисторах.

В усилителях полевые транзисторы чаще всего включаются по схеме с общим истоком. Типовая схема такого каскада на МОП транзисторе с индуцированным каналом приведена на рис. 10.1. В этой схеме $e_{ВХ}$ – источник входного сигнала, а E_3 – источник напряжения смещения затвора, с помощью которого устанавливается требуемый режим работы каскада.

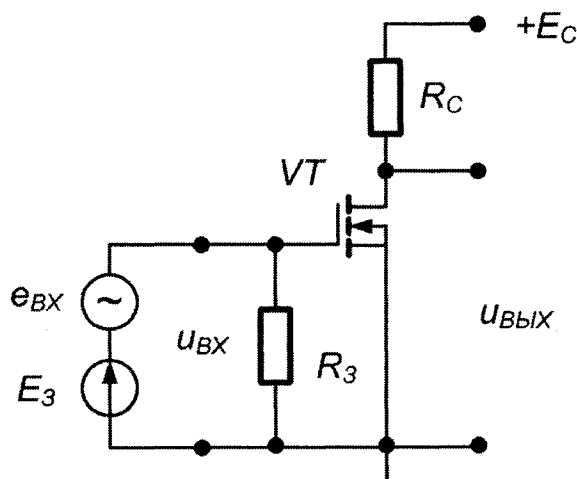


Рис. 10.1. Схема усилительного каскада на МОП транзисторе с индуцированным каналом

Параллельно входным выводам усилительного каскада между затвором и истоком подключен резистор R_3 . Этот резистор обеспечивает гальваническую связь затвора с общей шиной, что необходимо для замыкания цепи смещения, а также стабилизирует входное сопротивление каскада. Сопротивление резистора R_3 выбирается меньше собственного входного сопротивления транзистора и обычно составляет 1...5 МОм.

Определим коэффициент усиления каскада по напряжению. С учетом влияния сопротивления канала для тока стока полевого транзистора можно записать выражение:

$$I_C = S U_{BX} + U_{ВЫХ} / r_C, \quad (10.1)$$

где S – крутизна транзистора;

r_C – дифференциальное выходное сопротивление транзистора.

Выходное напряжение каскада равно падению напряжения на нагрузочном резисторе и определяется соотношением:

$$U_{ВЫХ} = I_C R_C = R_C (S U_{BX} + U_{ВЫХ} / r_C), \quad (10.2)$$

или

$$U_{ВЫХ} = \frac{R_C S U_{BX} r_C}{r_C + R_C}. \quad (10.3)$$

Коэффициент усиления транзисторного каскада равен отношению выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ ко входному $U_{ВХ}$:

$$K = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{R_C S r_C}{r_C + R_C} = \frac{R_C S}{1 + R_C / r_C}. \quad (10.4)$$

Обычно в каскадах выполняется условие $r_C \gg R_C$. Тогда выражение (10.4) принимает более простой вид:

$$K = S R_C. \quad (10.5)$$

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. Внеш-

ний вид модуля показан на рис. 10.2.

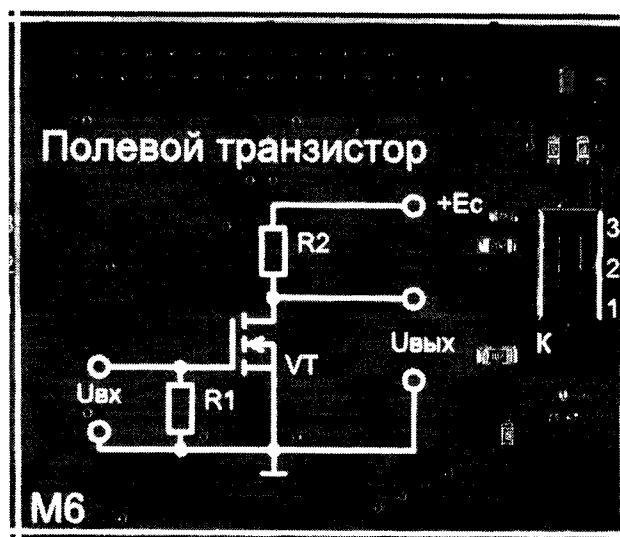


Рис. 10.2. Внешний вид модуля М6

Загрузите и запустите программу **Lab10(M6).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП (рис. 10.3), необходимого для выполнения лабораторного задания.

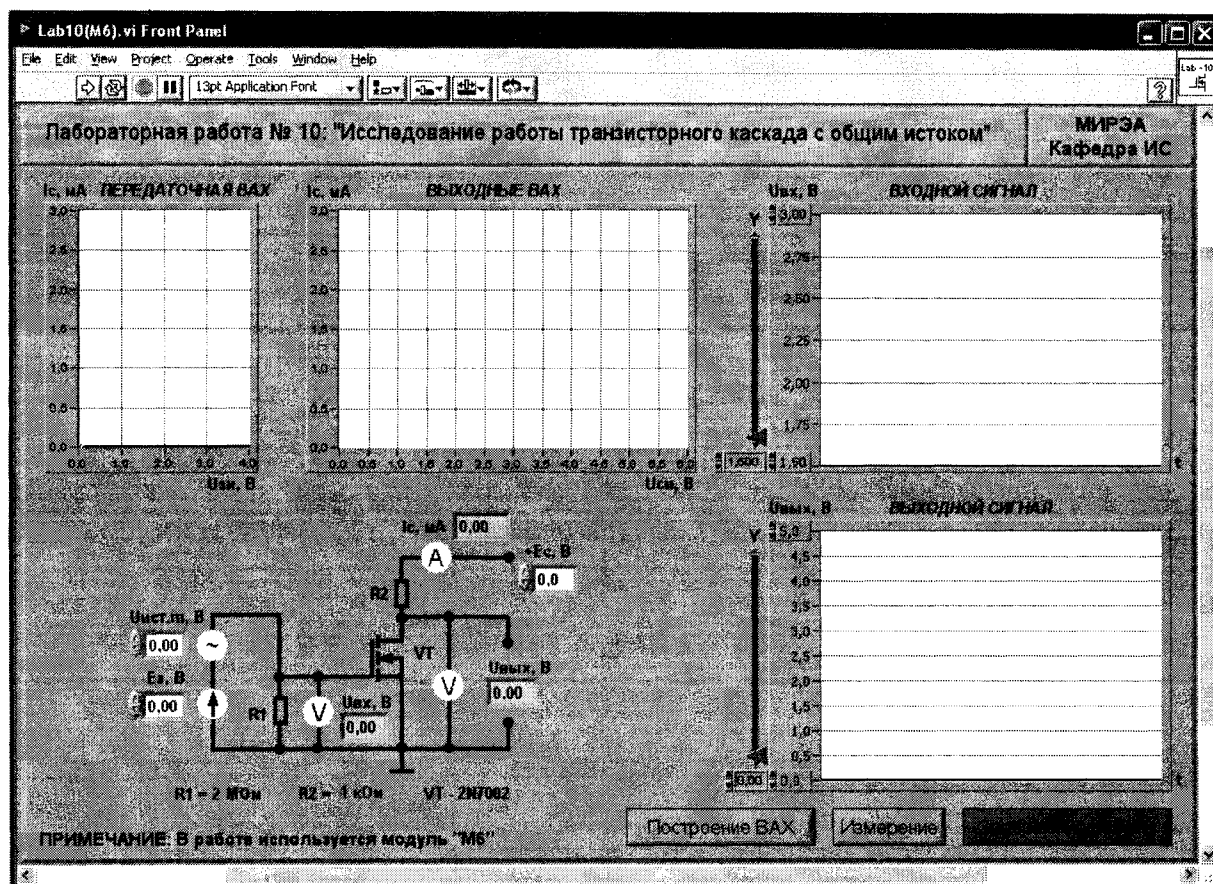


Рис. 10.3. Лицевая панель ВП

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

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

4.2. Для построения вольтамперных характеристик транзистора нажмите кнопку «Построение ВАХ». На графические индикаторы «Передаточная ВАХ» и «Выходные ВАХ» будут выведены 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 стока $E_C = 5$ 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 затвора E_3 , установите такое значение напряжения $U_{зи}$, при котором рабочая точка находится в середине линии нагрузки. По цифровым индикаторам лицевой панели ВП определите и занесите в табл.10.1 параметры статического режима транзисторного каскада с общим истоком.

Таблица 10.1

$U_{зи}$, В	I_C , мА	$U_{си}$, 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 истоком 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:

$$K_y = S \cdot R_c$$

где S – значение крутизны передаточной характеристики полевого транзистора, полученное в **Лабораторной работе № 9**; R_c – сопротивление резистора в цепи стока. 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 истоком. Для этого, регулируя напряжение источника питания в цепи затвора E_z , измените значение напряжения затвор-исток примерно на $(30 \div 40)\%$ от величины $U_{зи}$, 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 **М6** в положение «2». При этом в цепь стока будет включен резистор сопротивлением 2 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2 – 4.9.

4.11. Установите переключатель «К» модуля **М6** в положение «3». При этом в цепь стока будет включен резистор сопротивлением 3 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2 – 4.9.

4.12. Сравните результаты, полученные при разных значениях сопротивления резистора в цепи стока.

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

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какими преимуществами обладают полевые транзисторы по сравнению с биполярными?
- Какие схемы включения полевых транзисторов вам известны? Нарисуйте и приведите их основные характеристики?
- Чему равен коэффициент усиления каскада на полевом транзисторе с общим истоком?
- Как задается режим работы по постоянному току в каскаде на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим истоком?
- Какой тип полевого транзистора может работать в схеме с общим истоком без источника смещения затвора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование работы инвертирующего усилителя на основе операционного усилителя.

2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Одной из разновидностей полупроводниковых приборов являются полупроводниковые интегральные микросхемы – монолитные функциональные приборы, все элементы которых изготавливаются в едином технологическом цикле. Интегральные микросхемы предназначены для выполнения различных операций, как с аналоговыми, так и с цифровыми электрическими сигналами. Среди интегральных микросхем, предназначенных для обработки аналоговых электрических сигналов, важнейшее место занимает операционный усилитель (ОУ) – полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления напряжения и обеспечивающий выполнение различных операций по преобразованию аналоговых электрических сигналов: усиление, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование и т.д. Возможность выполнения этих операций ОУ определяется наличием цепей отрицательной и/или положительной обратной связи, в состав которых могут входить сопротивления, емкости, индуктивности, диоды, стабилитроны, транзисторы и некоторые другие электронные элементы.

Типовой ОУ представляет собой дифференциальный усилитель с очень высоким коэффициентом усиления. На рис.11.1 показано условное обозначение ОУ на принципиальных схемах.

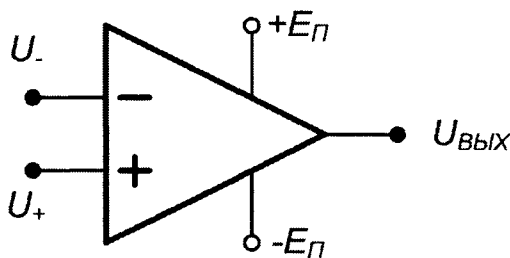


Рис. 11.1. Условное графическое обозначение ОУ

На рис.11.1 использованы следующие обозначения: «-» – инвертирующий вход ОУ; «+» – неинвертирующий вход ОУ; U_- – напряжение на инвертирующем входе; U_+ – напряжение на неинвертирующем входе; $U_{\text{ВЫХ}}$ – выходное напряжение ОУ; $+E_{\text{П}}$ – положительное напряжение питания ОУ; $-E_{\text{П}}$ – отрицательное напряжение питания ОУ.

Поскольку ОУ используются как преобразователи сигналов, к их характеристикам предъявляются определенные требования. В основном эти требования сводятся к тому, чтобы характеристики наилучшим образом соответствовали характеристикам идеального ОУ. Идеальный операционный усилитель обладает следующими свойствами:

- коэффициент передачи ОУ без обратной связи равен бесконечности;
- входной ток равен нулю;
- напряжение смещения и ток смещения на выходе ОУ равны нулю;
- входное сопротивление ОУ равно бесконечности;
- выходное сопротивление ОУ равно нулю.

Для вывода математических соотношений, описывающих работу реальных ОУ в различных режимах, можно применить модель идеального операционного усилителя.

Выходное напряжение ОУ определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = -A (U_- - U_+) = -A (\Delta U), \quad (11.1)$$

где A - коэффициент передачи усилителя, не охваченного обратной связью; U_- - напряжение на инвертирующем входе; U_+ - напряжение на неинвертирующем входе.

Минус перед коэффициентом передачи A в выражении (11.1) показывает, что сигналы на выходе и входе имеют противоположный знак. Коэффициент передачи A можно вычислить как отношение величины выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ к разности значений входных напряжений ΔU . Для реальных ОУ коэффициент передачи на постоянном токе колеблется в пределах от 10000 до 2000000.

Большинство ОУ имеют биполярный выход. Это означает, что выходной сигнал может иметь как положительную, так и отрицательную полярность. Поэтому для нормальной работы ОУ требуются два источника питания.

Выходное напряжение никогда не может превысить напряжение питания ($-U_{\text{п}} < U_{\text{вых}} < +U_{\text{п}}$). Как правило, максимальное выходное напряжение ОУ на доли вольта меньше напряжения питания. Это ограничение известно как напряжение ограничения (положительное $U_{\text{огр}+}$ и отрицательное $U_{\text{огр}-}$).

При высоком значении коэффициента передачи достаточно трудно управлять усилителем и удерживать его от перехода в режим насыщения выходного сигнала. С помощью внешних цепей часть выходного сигнала можно передать обратно на вход, т.е. организовать обратную связь. Применяя отрицательную обратную связь, когда сигнал с выхода усилителя приходит на вход в противофазе с входным сигналом, можно сделать усилитель более стабильным. Однако это приводит к снижению коэффициента передачи по сравнению с усилителем без обратной связи. Обычно схе-

мы ОУ с цепью обратной связи имеют коэффициент передачи от 10 до 1000, т.е. меньше, чем собственный коэффициент передачи ОУ более чем в тысячу раз. Если обратная связь положительна, усилитель переходит в режим генерирования колебаний, т.е. становится автогенератором.

На рис. 11.2 показана схема инвертирующего усилителя. Цепь обратной связи в этом случае представляет собой единственный резистор R_{OC} , который служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход. Тот факт, что резистор соединен с инвертирующим входом, указывает на отрицательный характер обратной связи.

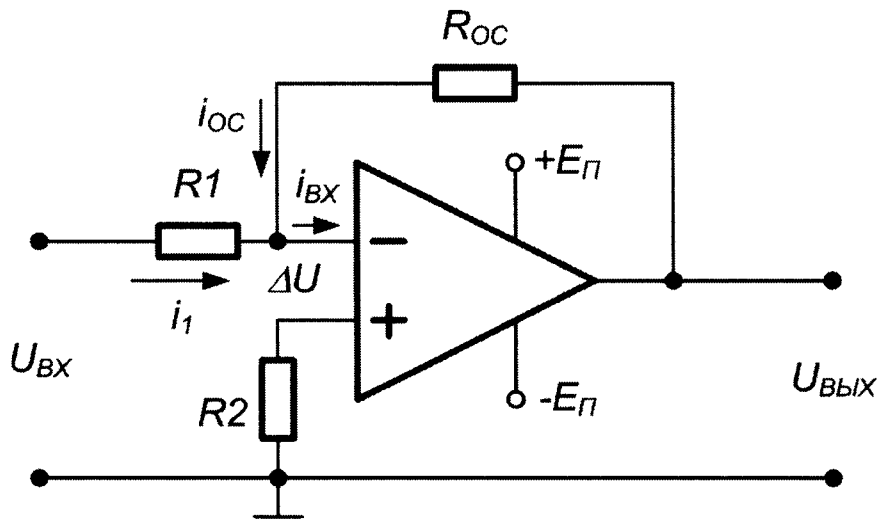


Рис. 11.2. Принципиальная схема инвертирующего усилителя на ОУ

В данной схеме входное напряжение $U_{ВХ}$ подается на инвертирующий вход ОУ через резистор $R1$. Резистор $R2$ включен в цепь неинвертирующего входа для уменьшения составляющей погрешности выходного напряжения, обусловленной протеканием тока во входных цепях реального операционного усилителя. Сопротивление резистора $R2$ определяется из соотношения:

$$R2 = R1 \cdot R_{OC} (R1 + R_{OC}). \quad (11.2)$$

Очевидно, что при $R_{OC} \gg R1$ можно выбрать $R2 = R1$.

Применяя правила Кирхгофа, для схемы рис.11.2 можно составить следующие уравнения:

$$U_1 = i_1 \cdot R1 + \Delta U, \quad (11.3)$$

$$U_{ВЫХ} = -i_{OC} \cdot R_{OC} + \Delta U, \quad (11.4)$$

$$i_1 = -i_{OC} + i_{ВХ}, \quad (11.5)$$

$$U_{ВЫХ} = -A \cdot \Delta U. \quad (11.6)$$

Решая эти уравнения совместно, можно получить следующее выражение для выходного напряжения схемы:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(i_{\text{ВХ}} - \frac{U_1}{R_1} \right) \cdot Z, \quad (11.7)$$

где Z – полное сопротивление цепи обратной связи, определяемое соотношением:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_{\text{OC}}} + \frac{1}{A \cdot R_1} + \frac{1}{A \cdot R_{\text{OC}}}. \quad (11.8)$$

Вторым и третьим слагаемыми в выражении (11.8) можно пренебречь, т.к. коэффициент передачи ОУ имеет большую величину ($A > 100000$). Тогда полное сопротивление цепи обратной связи с высокой точностью можно считать равным $Z = R_{\text{OC}}$. Кроме того, величина ΔU обычно составляет несколько микровольт и, благодаря большому значению входного сопротивления ОУ ($Z_{\text{ВХ}}^* \approx 10 \text{ МОм}$), входной ток $i_{\text{ВХ}} = \Delta U / Z_{\text{ВХ}}^*$ чрезвычайно мал, т.е. им можно пренебречь. С учетом сказанного выходное напряжение схемы будет равно:

$$U_{\text{ВЫХ}} = - (R_{\text{OC}} / R_1) U_1 = - K \cdot U_1, \quad (11.9)$$

где K – коэффициент передачи усилителя, охваченного обратной связью, равный $K = R_{\text{OC}} / R_1$.

Знак минус в выражении (11.9) означает, что выходной сигнал имеет полярность противоположную входному сигналу, т.е. инвертирован относительно него, поэтому такой усилитель называют инвертирующим усилителем. Коэффициент передачи инвертирующего усилителя на операционном усилителе можно регулировать посредством выбора сопротивлений двух резисторов, R_1 и R_{OC} .

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль М7.

Примечание: Во всех схемах лабораторного практикума, построенных на основе операционного усилителя, установлено напряжение питания ОУ $U_{\text{П}} = \pm 9 \text{ В}$ для согласования диапазона изменения выходного сигнала ОУ с пределами измерения ($\pm 10 \text{ В}$) каналов аналогового ввода лабораторной станции NI ELVIS.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Подготовьте шаблон отчета в редакторе MS Word.

Установите ключ в разъем модуля М7 лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис.11.3.

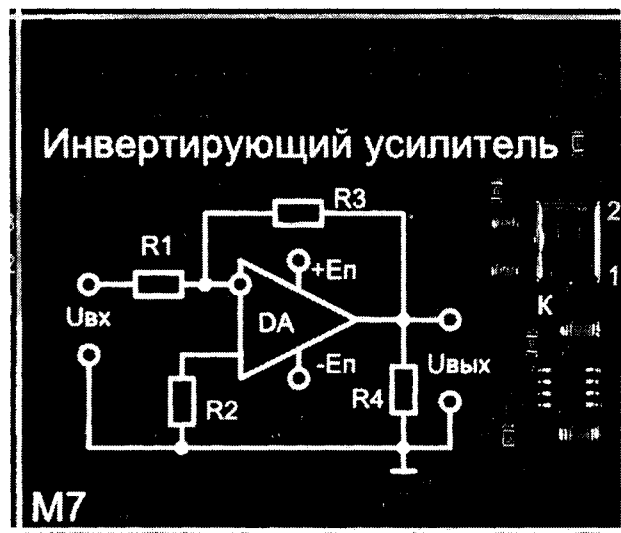


Рис. 11.3. Внешний вид модуля M7

Загрузите и запустите программу **Lab11(M7).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «Получение передаточной характеристики» (рис. 11.4), используемая при выполнении задания 1.

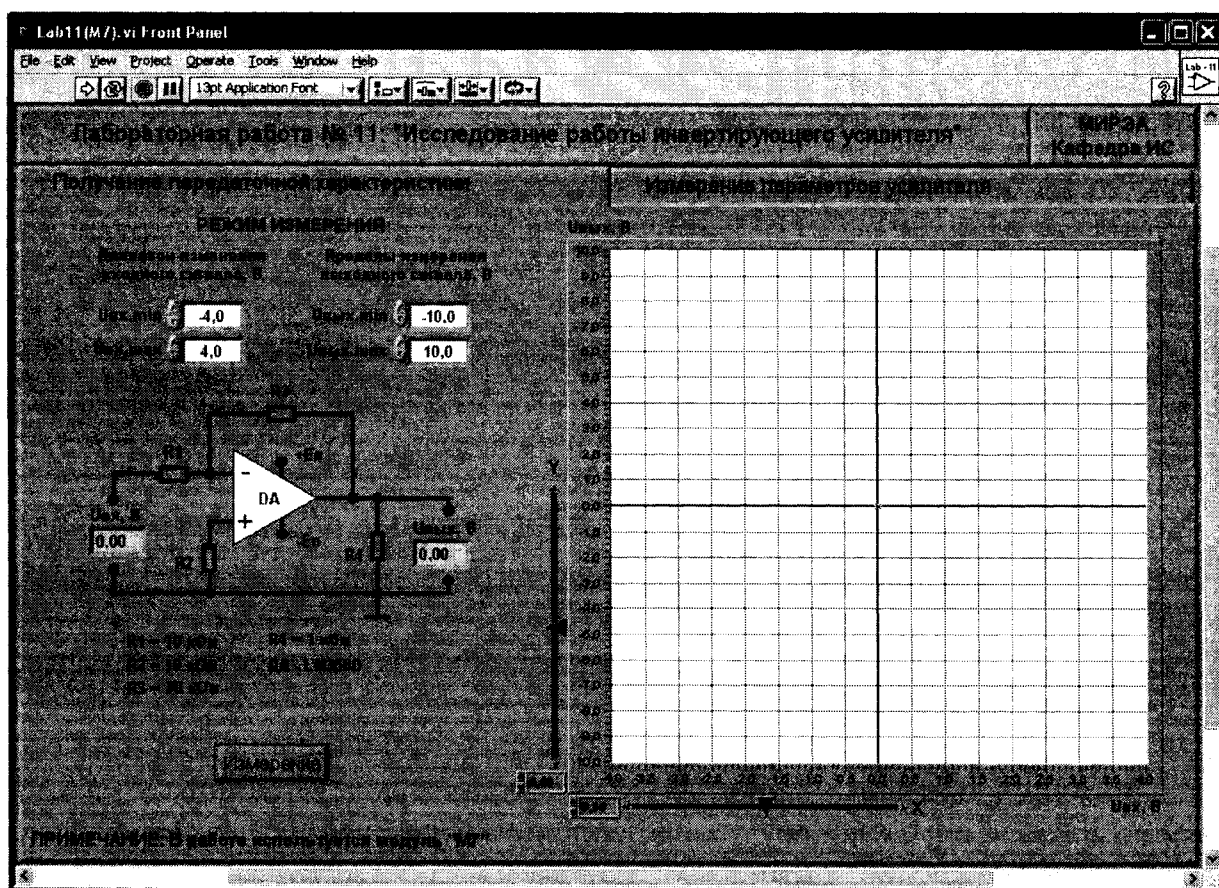


Рис. 11.4. Лицевая панель ВП, при выполнении задания 1

Задание 1. Получение передаточной характеристики инвертирующего усилителя

4.1.1. Установите переключатель «К» модуля **М7** в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор **R3** сопротивлением 30 кОм.

4.1.2. С помощью элементов управления ВП установите диапазон изменения входного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВХ.min} = -4,0$ В, $U_{ВХ.max} = 4,0$ В) и пределы изменения выходного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВЫХ.min} = -10$ В, $U_{ВЫХ.max} = 10$ В). Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена передаточная характеристика инвертирующего усилителя. Скопируйте полученную характеристику в отчет.

4.1.3. По передаточной характеристике определите положительное $U_{огр+}$ и отрицательное $U_{огр-}$ напряжения ограничения сигнала на выходе схемы, используя для этого горизонтальную линию курсора, перемещающую с помощью ползункового регулятора «Y». Полученные результаты запишите в отчет.

4.1.4. Определите коэффициент усиления инвертирующего усилителя. Для этого на передаточной характеристике с помощью горизонтальной и вертикальной линий курсора определите координаты двух произвольных точек на наклонном участке характеристики и произведите вычисления по формуле: $K_{УС} = (U_{ВЫХ.2} - U_{ВЫХ.1}) / (U_{ВХ.2} - U_{ВХ.1})$. Полученный результат запишите в отчет.

4.1.5. Установите переключатель «К» модуля **М7** в положение «2». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор **R3** сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.1.2–4.1.4.

Задание 2. Исследование работы инвертирующего усилителя.

4.2.1. Установите переключатель «К» модуля **М7** в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор **R3** сопротивлением 30 кОм.

4.2.2. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Измерение параметров усилителя». На экране появится изображение ВП, приведенное на рис.11.5.

4.2.3. С помощью элементов управления ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – **синусоидальная**, частота сигнала – **200 Гц**. Амплитуду входного сигнала выберите такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Скопируйте полученное изображение в отчет.

4.2.4. Используя изображение, полученное на графическом индикаторе ВП, сравните фазы сигналов на входе и выходе инвертирующего уси-

лителя. Сделайте вывод о характере изменения фазы сигнала инвертирующим усилителем и запишите его в отчет.

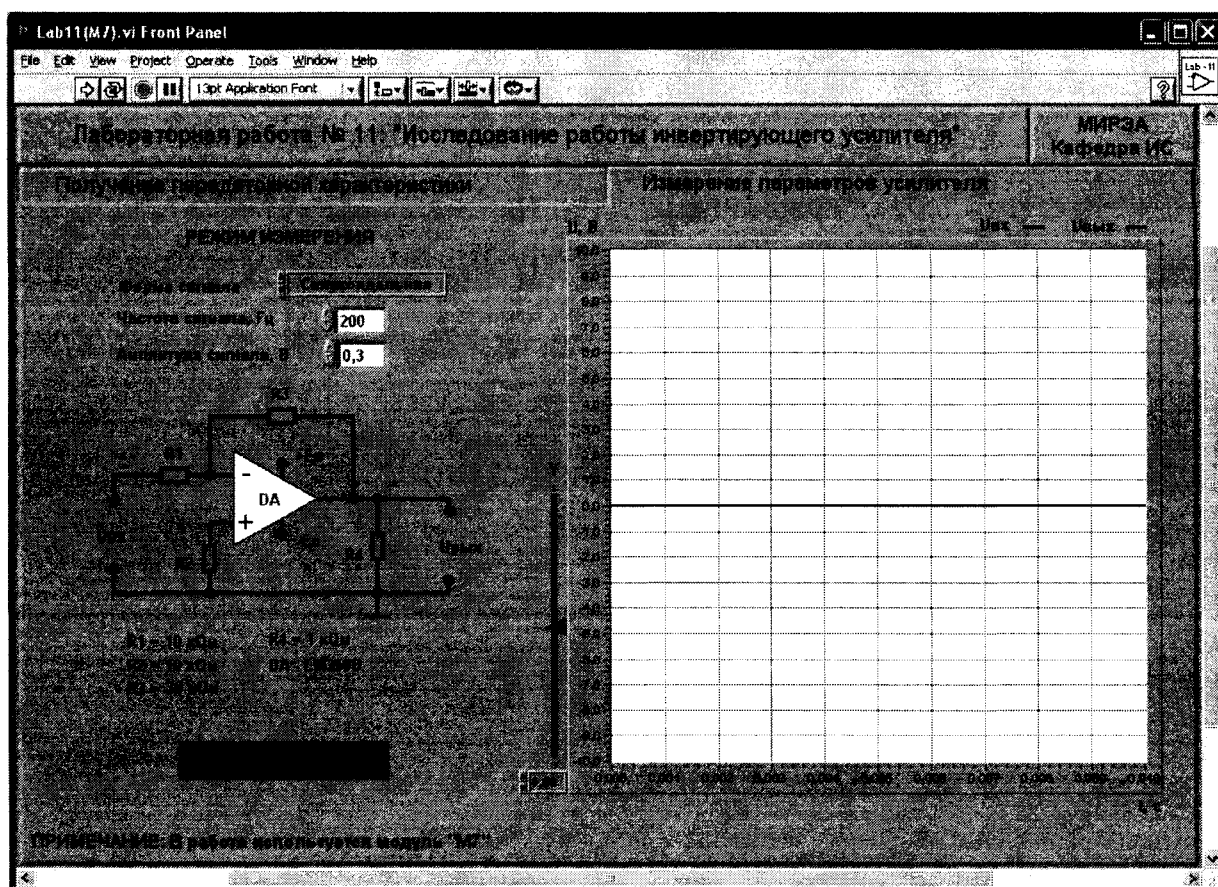


Рис. 11.5. Лицевая панель ВП при выполнении задания 2

4.2.5. Используя изображения входного и выходного сигналов на графическом индикаторе ВП, определите с помощью горизонтальной линии курсора амплитуды входного $U_{ВХ.m}$ и выходного $U_{ВЫХ.m}$ сигналов. По полученным данным вычислите коэффициент усиления инвертирующего усилителя по формуле: $K = U_{ВЫХ.m} / U_{ВХ.m}$. Результат запишите в отчет.

Примечание: Для определения амплитуды сигнала необходимо измерить его максимальное u_{max} и минимальное u_{min} мгновенные значения и произвести вычисление по формуле:

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

4.2.6. Рассчитайте коэффициент усиления инвертирующего усилителя. Для расчета воспользуйтесь соотношением $K = R3 / R1$. Результат запишите в отчет.

4.2.7. Сравните значения коэффициентов усиления, полученные по передаточной характеристике (п.4.1.4), на основе результатов измерений (п.4.2.5) и расчетным путем (п.4.2.6). Выводы и результаты запишите в отчет.

4.2.8. Установите переключатель «К» модуля М7 в положение «2».

При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R_3 сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2.3 – 4.2.7.

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

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Что такое операционный усилитель?
- Перечислите основные характеристики операционного усилителя и методы их измерения.
- Приведите схему инвертирующего усилителя на основе ОУ и выражение для расчета его коэффициента передачи.
- Какова разность фаз между входным и выходным сигналами инвертирующего усилителя на ОУ? Почему?
- Чем определяется постоянная составляющая выходного напряжения усилителя на ОУ?
- При каких условиях для анализа схемы инвертирующего усилителя на основе ОУ можно использовать соотношения, описывающие работу идеального ОУ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование работы неинвертирующего усилителя на основе операционного усилителя.

2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Схема неинвертирующего усилителя на основе операционного усилителя приведена на рис.12.1. Входное напряжение в этой схеме подается на неинвертирующий вход ОУ через резистор R_2 . Он предназначен, как и в схеме инвертирующего усилителя, для уменьшения составляющей погрешности выходного напряжения, вызванной входными токами реального операционного усилителя. Сопротивление резистор R_2 определяется по формуле (11.2).

Напряжение обратной связи, подаваемое на инвертирующий вход ОУ, снимается с делителя напряжения, который образован резистором обратной связи R_{OC} и резистором R_I . Это напряжение равно:

$$U_- = [R_I / (R_I + R_{OC})] U_{ВЫХ} \quad (12.1)$$

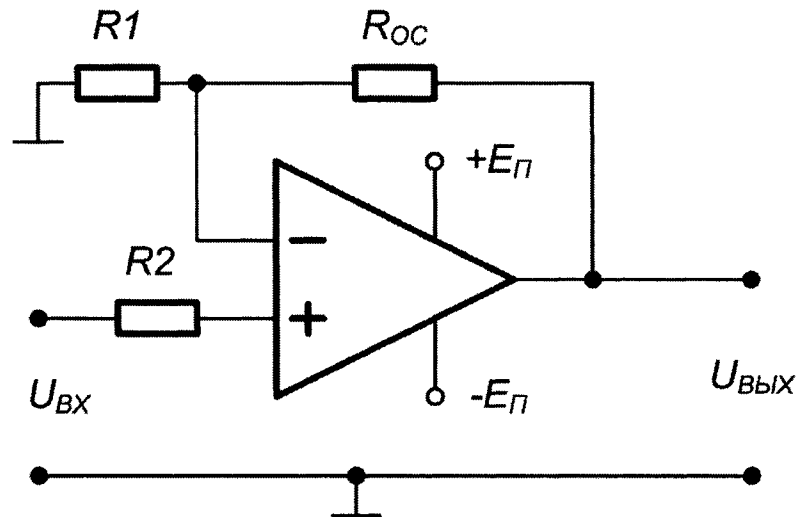


Рис. 12.1. Принципиальная схема неинвертирующего усилителя на ОУ

Для идеального ОУ входное дифференциальное напряжение ΔU равно нулю, следовательно, $U_{ВХ} = U_-$ и выражение (12.1) можно представить в следующем виде:

$$U_{ВЫХ} = (1 + R_{OC} / R1) U_{ВХ}. \quad (12.2)$$

Из выражения (12.2) следует, что данная схема усиливает входной сигнал без изменения его знака. Коэффициент усиления с контуром обратной связи равен $K = (1 + R_{OC} / R1)$. Входной импеданс усилителя очень большой и определяется по формуле:

$$Z_{ВХ} \approx Z_{ВХ}^* [R1 / (R1 + R_{OC})] A, \quad (12.3)$$

где $Z_{ВХ}^*$ – входной импеданс операционного усилителя, имеющий величину порядка 10 МОм.

Можно показать, что выходной импеданс схемы $Z_{ВЫХ}$ стремится к нулю, если коэффициент усиления ОУ с разорванной петлей ОС становится очень большим. Таким образом, неинвертирующий усилитель на ОУ может служить буфером между схемами, подключенными к его входу и выходу.

Особым является случай, когда $R_{OC} = 0$, а резистор $R1$ во входной цепи отсутствует (рис.12.2). При этом отпадает надобность и в резисторе $R2$. Тогда $U_{ВЫХ} = U_{ВХ}$; $Z_{ВХ} = Z_{ВХ}^* \cdot A$; $Z_{ВЫХ} = Z_{ВЫХ}^* / A$, где $Z_{ВЫХ}^*$ – выходной импеданс ОУ. Такая схема называется повторителем напряжения, т.к. коэффициент усиления по напряжению для нее равен 1. Эта схема используется для преобразования импеданса и может иметь большой коэффициент усиления по мощности.

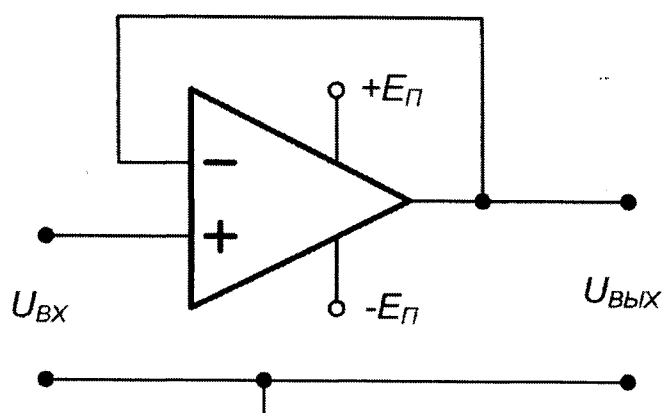


Рис. 12.2. Принципиальная схема повторителя напряжения на ОУ

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль **М8**.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Подготовьте шаблон отчета в редакторе **MS Word**.

Установите ключ в разъем модуля **М8** лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис. 12.3.

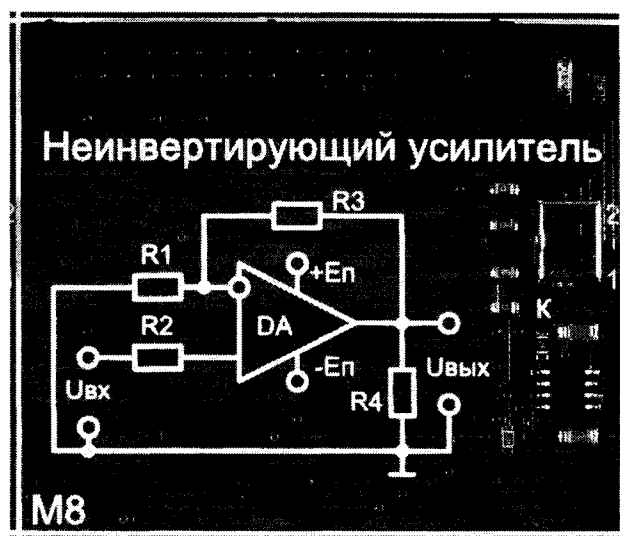


Рис. 12.3. Внешний вид модуля **М8**

Загрузите и запустите программу **Lab12(M8).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «Получение передаточной характеристики» (рис.12.4), используемая при выполнении задания 1.

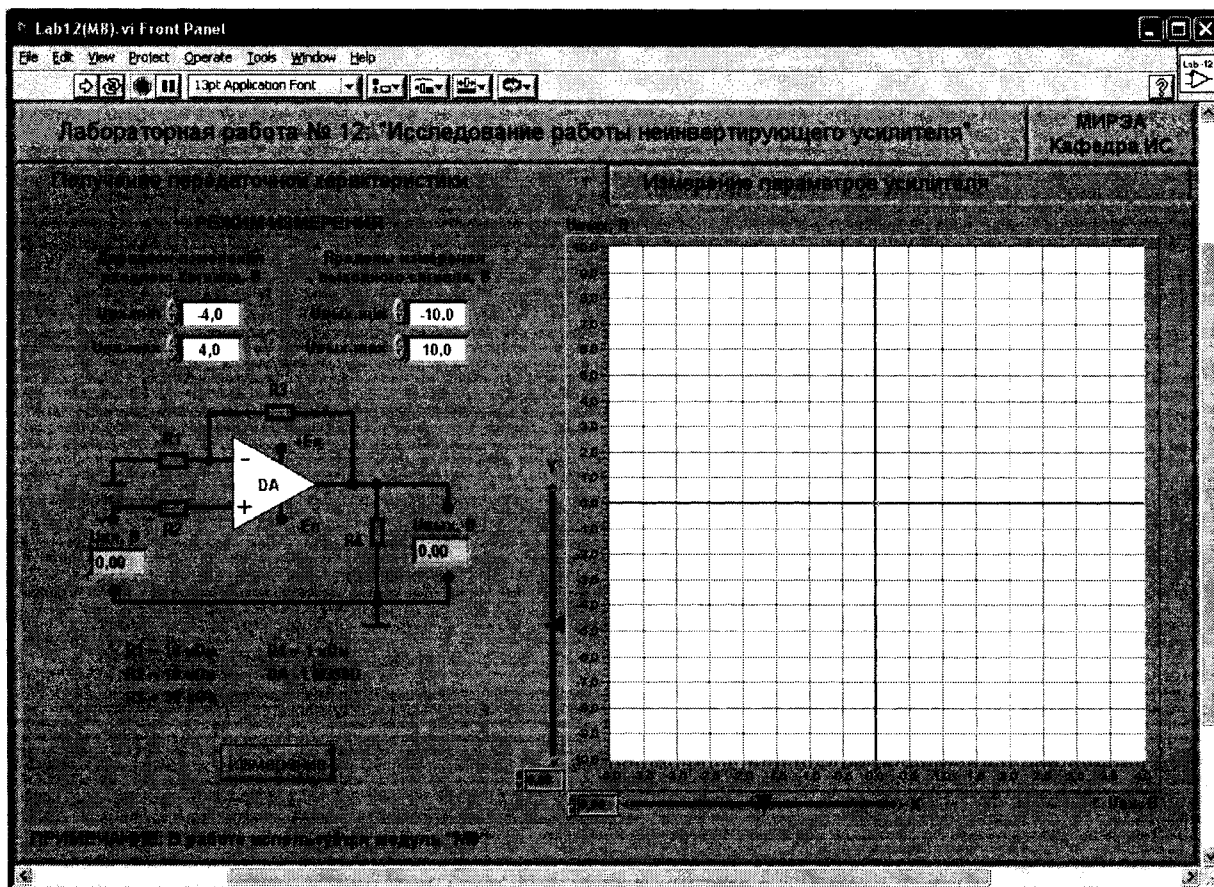


Рис. 12.4. Лицевая панель ВП, при выполнении задания 1

Задание 1. Получение передаточной характеристики неинвертирующего усилителя

4.1.1. Установите переключатель «К» модуля **M8** в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор $R3$ сопротивлением 30 кОм.

4.1.2. С помощью элементов управления ВП установите диапазон изменения входного сигнала (рекомендуемые значения $U_{BX.min} = -4,0$ В, $U_{BX.max} = 4,0$ В) и пределы изменения выходного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВЫХ.min} = -10$ В, $U_{ВЫХ.max} = 10$ В). Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена передаточная характеристика неинвертирующего усилителя. Скопируйте полученную характеристику в отчет.

4.1.3. По передаточной характеристике определите положительное $U_{огр+}$ и отрицательное $U_{огр-}$ напряжения ограничения сигнала на выходе схемы, используя для этого горизонтальную линию курсора, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Y». Полученный результат запишите в отчет.

4.1.4. Определите коэффициент усиления неинвертирующего усилителя. Для этого на передаточной характеристике с помощью горизонтальной и вертикальной линий курсора определите координаты двух произ-

вольных точек на наклонном участке характеристики и произведите вычисления по формуле: $K_{yc} = (U_{вых.2} - U_{вых.1}) / (U_{вх.2} - U_{вх.1})$. Полученный результат запишите в отчет.

4.1.5. Установите переключатель «К» модуля М8 в положение «2». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор $R3$ сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.1.2–4.1.4.

Задание 2. Исследование работы неинвертирующего усилителя

4.2.1. Установите переключатель «К» модуля М8 в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор $R3$ сопротивлением 30 кОм.

4.2.2. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Измерение параметров усилителя». На экране появится изображение ВП, приведенное на рис. 12.5.

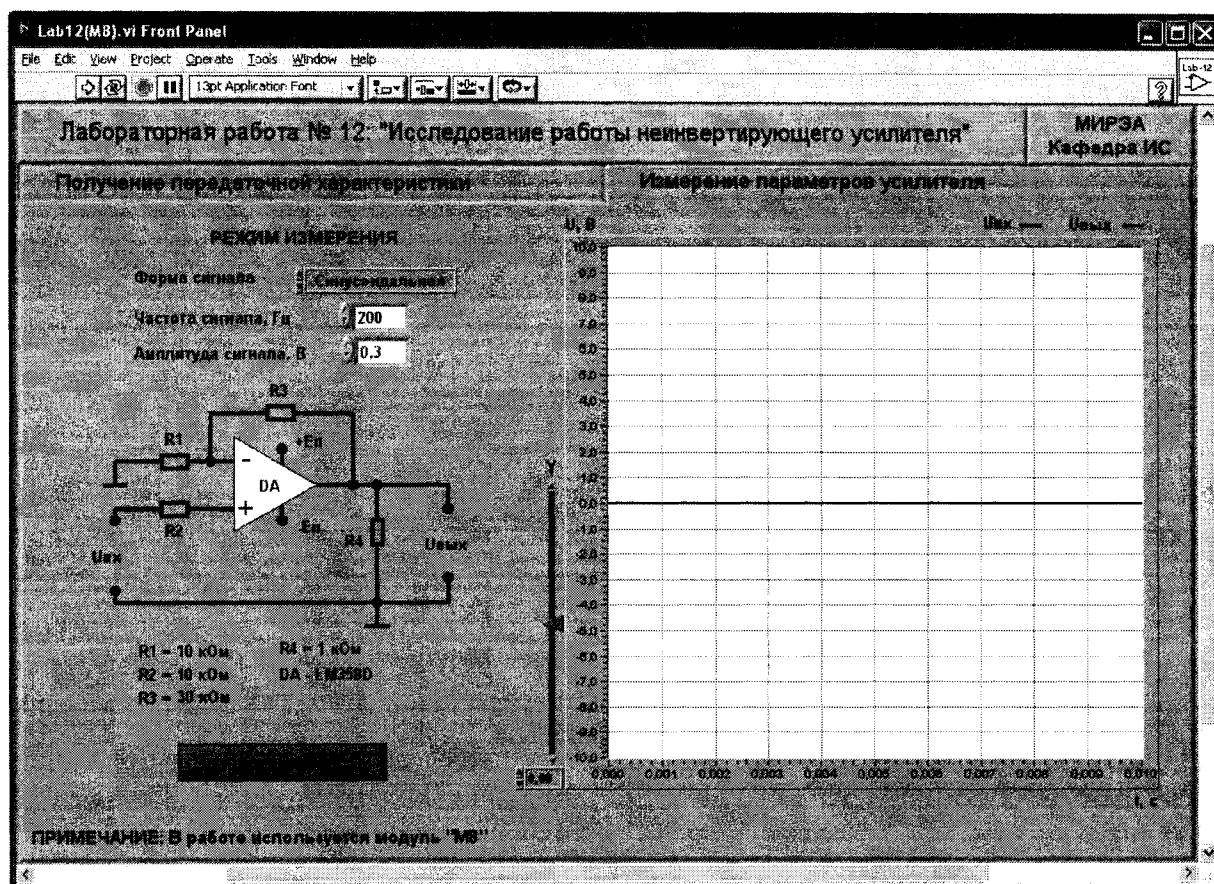


Рис. 12.5. Лицевая панель ВП при выполнении задания 2

4.2.3. С помощью элементов управления ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – **синусоидальная**, частота сигнала – **200 Гц**. Амплитуду входного сигнала выберите такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не

имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Скопируйте полученное изображение в отчет.

4.2.4. Используя изображение, полученное на графическом индикаторе ВП, сравните фазы сигналов на входе и выходе неинвертирующего усилителя. Сделайте вывод о характере изменения фазы сигнала неинвертирующим усилителем и запишите его в отчет.

4.2.5. Используя изображения входного и выходного сигналов, полученные на графическом индикаторе ВП, определите с помощью горизонтальной линии курсора амплитуды входного $U_{ВХ.м}$ и выходного $U_{ВЫХ.м}$ сигналов. По полученным данным вычислите коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по формуле: $K = U_{ВЫХ.м} / U_{ВХ.м}$. Результат запишите в отчет.

Примечание: Для определения амплитуды сигнала необходимо измерить его максимальное u_{max} и минимальное u_{min} мгновенные значения и произвести вычисление по формуле:

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

4.2.6. Рассчитайте коэффициент усиления неинвертирующего усилителя. Для расчета воспользуйтесь соотношением $K = 1 + R3/R1$. Результат запишите в отчет.

4.2.7. Сравните значения коэффициентов усиления, полученные по передаточной характеристике (п.4.1.4), на основе результатов измерений (п.4.2.5) и расчетным путем (п.4.2.6). Выводы и результаты запишите в отчет.

4.2.8. Установите переключатель «К» модуля М8 в положение «2». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор $R3$ сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2.3 – 4.2.7.

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

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Приведите схему неинвертирующего усилителя на основе ОУ и выражение для расчета его коэффициента передачи.
- Каковы величины входного и выходного сопротивлений неинвертирующего усилителя?
- Приведите схему повторителя напряжения на основе ОУ.
- За счет чего повторитель напряжения может иметь большой коэффициент усиления по мощности?
- Какова разность фаз между входным и выходным сигналами неинвертирующего усилителя на ОУ? Почему?
- При каких условиях для анализа схемы неинвертирующего усилителя на основе ОУ можно использовать соотношения, описывающие работу идеального ОУ?