

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль **M1**.

### 4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

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

Установите ключ в разъем модуля **M1** лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис.2.3.

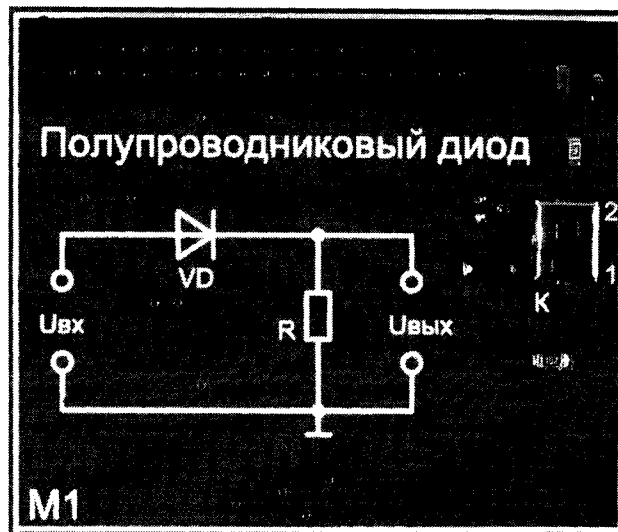


Рис. 2.3. Внешний вид модуля **M1**

Загрузите и запустите программу **Lab2(M1).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП (рис.2.4), необходимого для выполнения лабораторного задания.

#### **Задание. Исследование работы**

##### **однополупериодного полупроводникового выпрямителя**

4.1. Установите переключатель «К» модуля **M1** в положение «1».

4.2. Получите осциллограммы напряжений на входе и выходе однополупериодного выпрямителя. Для этого, на лицевой панели ВП нажмите кнопку «Измерение» и с помощью элемента управления  $U_{ВХ.m}$  установите амплитуду входного сигнала  $U_{ВХ}$  такой величины, чтобы выходной сигнал  $U_{ВЫХ}$  не имел видимых искажений и был удобен для наблюдения. Скопируйте полученные осциллограммы в отчет.

4.3. Измерьте и запишите в отчет максимальное мгновенное значение напряжения на выходе выпрямителя  $U_{ВЫХ.max}$ . Для измерения используйте горизонтальную линию курсора, положение которой изменяется ползунковым регулятором «Y» (рис.2.4). По цифровому индикатору ползункового регулятора «Y» определите измеряемое значение напряжения.

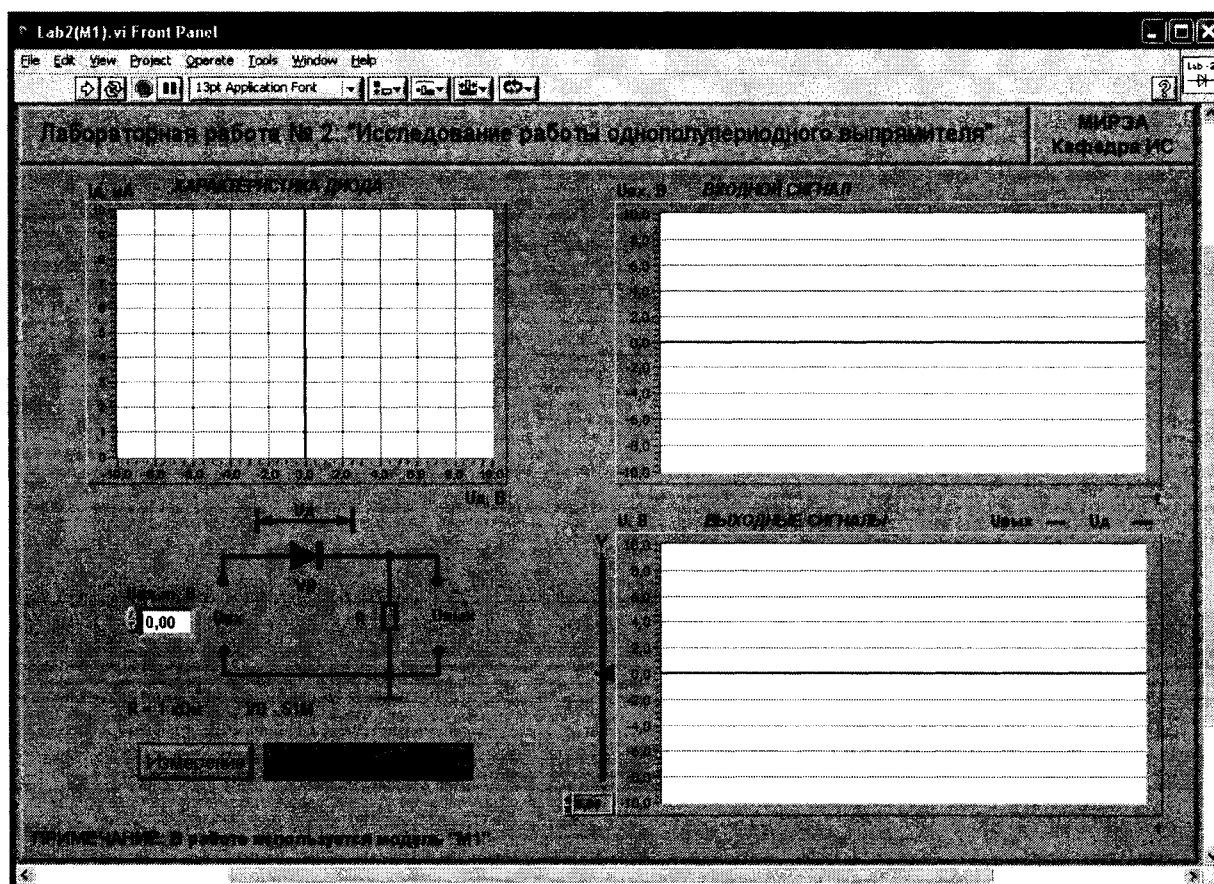


Рис. 2.4. Лицевая панель ВП

4.4. Вычислите и запишите в отчет средневывпрямленное значение напряжения на выходе выпрямителя. Для вычислений используйте формулу:  $U_{ВЫХ.СР} = U_{ВЫХ.мах}/\pi$ .

4.5. Используя полученные осциллограммы, измерьте максимальное обратное напряжение на диоде. Сравните периоды изменения сигналов на входе и выходе выпрямителя. Результаты и выводы запишите в отчет.

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

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие свойства диодов используются в выпрямителях?
- Начертите электрическую принципиальную схему однополупериодного выпрямителя.
- Чему равно максимальное обратное напряжение на диоде в однополупериодном выпрямителе?
- Одинаковы ли частоты входного и выходного напряжения однополупериодного выпрямителя?
- Чему равен коэффициент пульсаций однополупериодного выпрямителя?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование работы мостового выпрямителя.

#### 2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Анализируя работу однофазного однополупериодного выпрямителя, можно сделать вывод, что для улучшения характеристик выпрямителя нужно обеспечить протекание тока в нагрузочном резисторе в течение обоих полупериодов входного напряжения. Схема такого выпрямителя приведена на рис. 3.1.

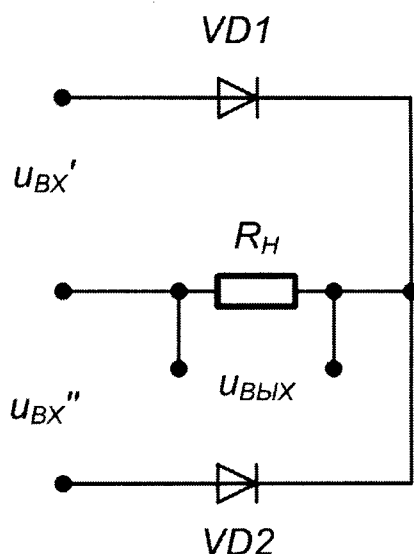


Рис. 3.1. Схема двухфазного двухполупериодного выпрямителя

Она представляет собой два параллельно соединенных однофазных однополупериодных выпрямителя, которые питаются от двух источников первичного напряжения  $u_{вх}' = U_m \sin(\omega t)$  и  $u_{вх}'' = U_m \sin(\omega t + \pi)$ , имеющих противоположные фазы. Такая схема выпрямителя называется **двухфазная двухполупериодная**. Временные диаграммы, поясняющие работу этого выпрямителя, приведены на рис.3.2.

На интервале  $0 < t < T/2$  под действием напряжения  $u_{вх}'$  диод VD1 смещен в прямом направлении и поэтому ток нагрузки определяется напряжением  $u_{вх}'$ . На этом же интервале диод VD2 смещен в обратном направлении и к нему прикладывается сумма напряжений  $u_{н} + u_{вх}''$ . В результате этого максимальное обратное напряжение запертого диода равно:

$$U_{д.обр} = 2 \cdot U_m. \quad (3.1)$$

На интервале  $T/2 < t < T$  диод  $VD1$  смещен в обратном направлении, а ток нагрузки под действием напряжения  $u_{BX}''$  протекает через диод  $VD2$ , смещенный в прямом направлении.

Если не учитывать падение напряжения на открытых диодах выпрямителя, среднее значение напряжения на его выходе можно вычислить по формуле:

$$U_{ВЫХ.СР} = \frac{2U_m}{\pi} \quad (3.2)$$

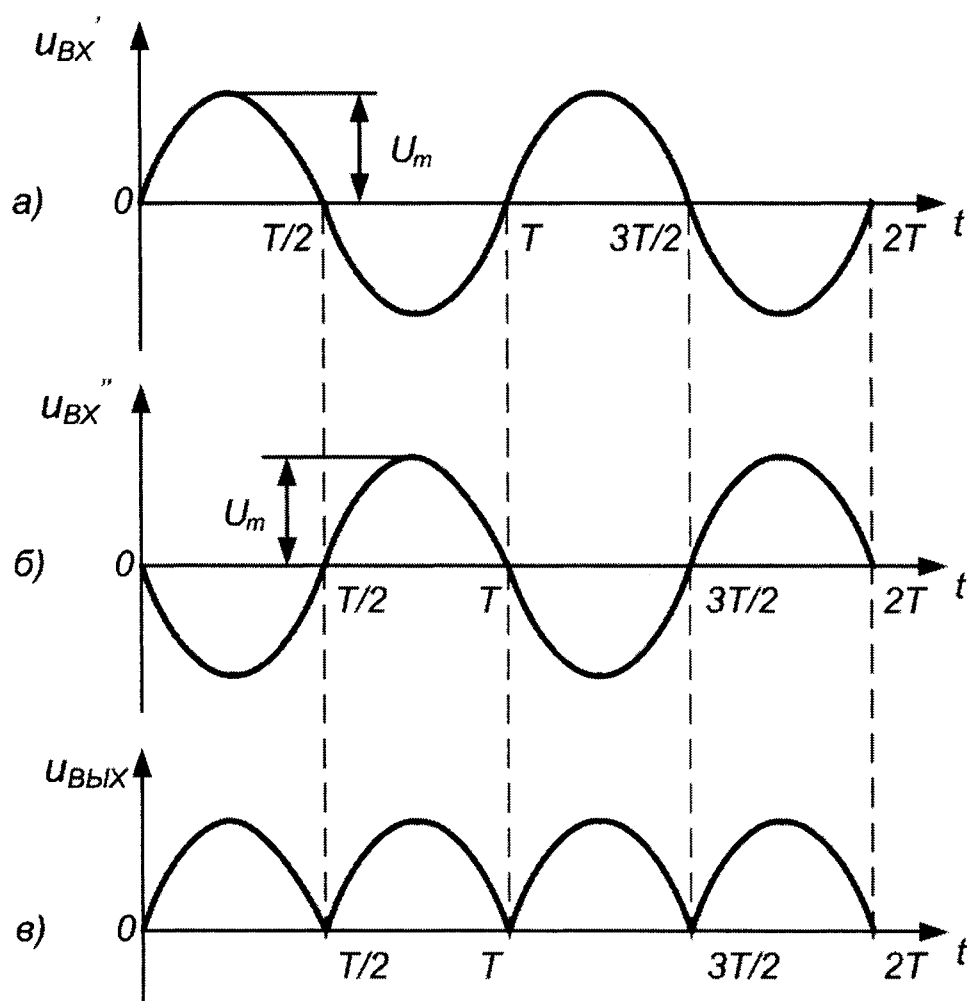


Рис. 3.2. Временные диаграммы напряжений на входе (а, б) и выходе (в) двухфазного двухполупериодного выпрямителя

Период сигнала на выходе двухполупериодного выпрямителя в два раза меньше чем на его входе, т.е. первая гармоника в спектре выходного сигнала отсутствует. Амплитуда второй гармоники составляет:

$$U_{m2} = \frac{4U_m}{3\pi}. \quad (3.3)$$

Используя выражения (3.2) и (3.3), можно определить коэффициент

пульсаций двухполупериодного выпрямителя:

$$k = \frac{U_{m2}}{U_{ВЫХ.СР}} = \frac{2}{3} \approx 0,67. \quad (3.4)$$

Таким образом, эффективность двухполупериодного выпрямителя более чем в два раза выше, чем у однополупериодного.

К основным недостаткам рассмотренной схемы следует отнести:

- необходимость двух источников входного напряжения;
- высокое значение обратного напряжения, прикладываемого к диодам при их обратном смещении ( $U_{Д.ОБР} = 2 \cdot U_m$ ).

Наиболее широкое практическое распространение получил **однофазный мостовой выпрямитель**, схема которого приведена на рис. 3.3. В отличие от предыдущей схемы для работы мостового выпрямителя требуется только один источник входного напряжения. Временные диаграммы, поясняющие работу однофазного мостового выпрямителя, показаны на рис. 3.4.

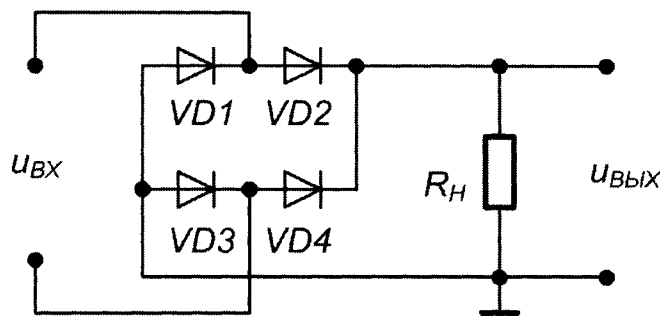


Рис. 3.3. Схема однофазного мостового выпрямителя

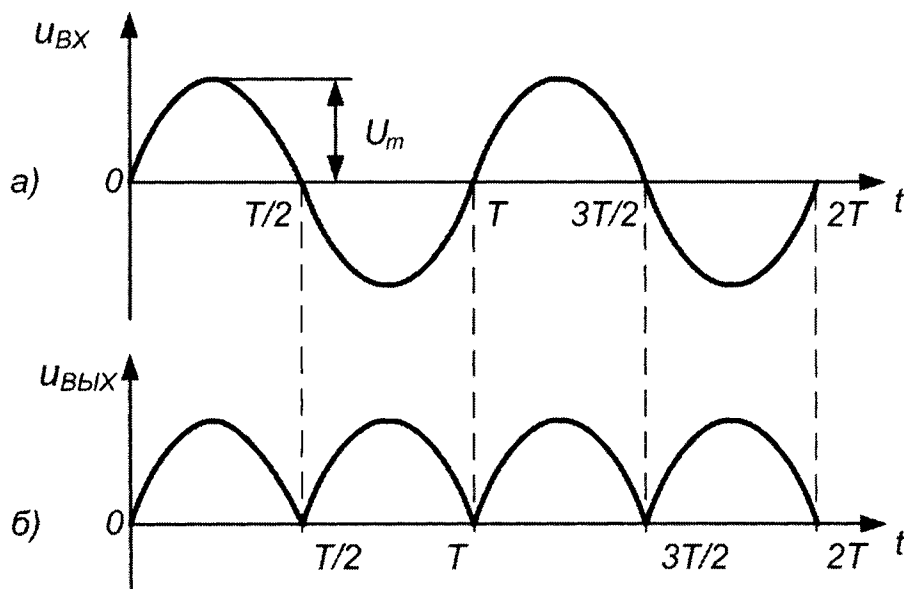


Рис. 3.4. Временные диаграммы напряжений на входе (а) и выходе (б) однофазного мостового выпрямителя

На интервале  $0 < t < T/2$  входное напряжение  $u_{BX} = U_m \sin(\omega t)$  смещает в прямом направлении включенные последовательно с нагрузкой диоды  $VD2$  и  $VD3$ . При этом диоды  $VD1$  и  $VD4$  смещены в обратном направлении напряжением, приложенным к нагрузке ( $U_{д.обр} = U_H$ ). На интервале  $T/2 < t < T$  входное напряжение смещает диоды  $VD1$  и  $VD4$  в прямом, а диоды  $VD2$  и  $VD3$  в обратном направлении. Из сказанного следует, что, как и в двухфазной двухполупериодной схеме, напряжение прикладывается к нагрузке в течение всего периода изменения входного напряжения  $u_{BX}$ .

Основные параметры мостового выпрямителя, как и для двухфазной двухполупериодной схемы (при условии  $u_{BX} = u_{BX}' = u_{BX}''$ ), определяются выражениями (3.2), (3.3) и (3.4).

### Емкостной сглаживающий фильтр

Сглаживающий фильтр предназначен для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения на нагрузке. Он должен пропускать постоянную составляющую выпрямленного напряжения и ослаблять его гармонические составляющие.

Емкостной сглаживающий фильтр является наиболее простым и состоит из конденсатора  $C_\Phi$ , включенного параллельно сопротивлению нагрузки (рис.3.5).

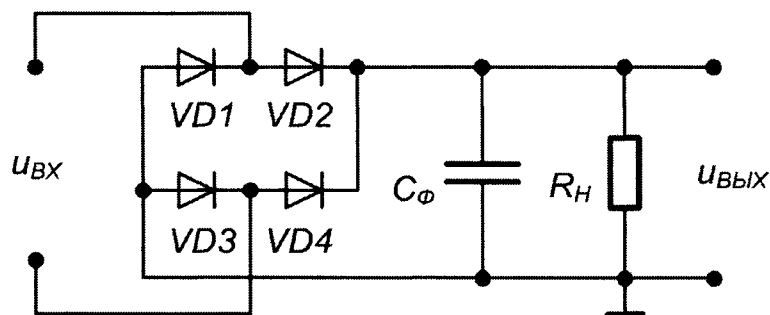


Рис. 3.5. Схема однофазного мостового выпрямителя с емкостным фильтром

На рис. 3.6 приведены временные диаграммы, поясняющие работу емкостного фильтра.

Будем считать, что в схеме выпрямителя используются идеальные диоды, у которых при смещении в прямом направлении сопротивление и падение напряжения равны нулю. Начиная с момента времени  $t = 0$  мгновенное значение входного напряжения  $u_{BX} = U_m \sin(\omega t)$  больше нуля, что приводит к открыванию диодов  $VD2$  и  $VD3$ . Через эти диоды протекает ток, равный сумме тока нагрузки и тока заряда конденсатора:

$$i_{ax} = \frac{U_m}{R_H} \sin(\omega t) + C_\Phi \omega U_m \cos(\omega t), \quad (3.5)$$

где  $U_m$  – амплитудное значение входного напряжения;  
 $\omega = 2\pi f$  – круговая частота входного напряжения.

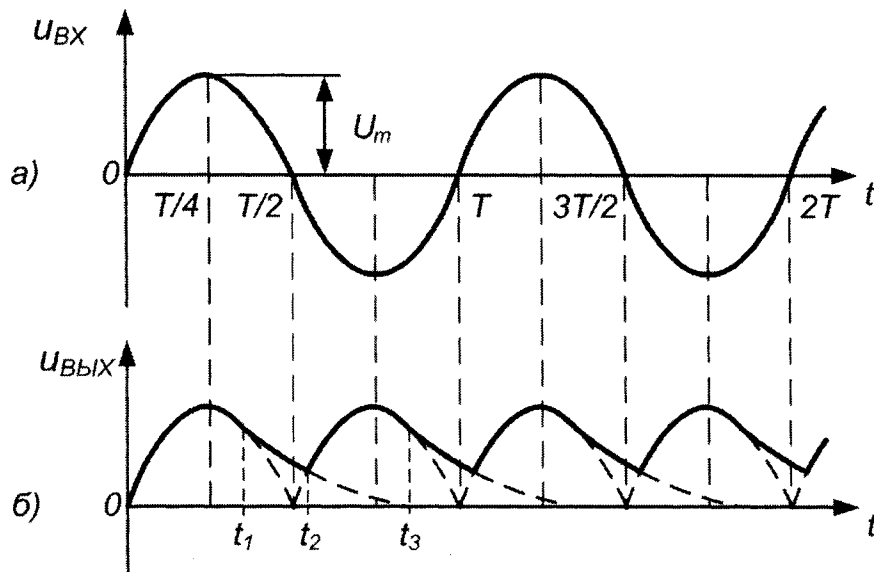


Рис. 3.6. Временные диаграммы напряжений на входе (а), выходе (б) однофазного мостового выпрямителя с емкостным фильтром

До момента времени  $t_1$  мгновенные значения напряжений  $u_c = u_{\text{ВЫХ}}$  и  $u_{\text{ВХ}}$  будут равны. После момента  $t_1$  напряжение  $u_{\text{ВХ}}$  становится меньше  $u_c$ . Это вызовет запирающие ранее открытых диодов  $VD2$  и  $VD3$  и отключение нагрузки от входного напряжения. Далее до момента  $t_2$  напряжение на нагрузке будет поддерживаться исключительно за счет электрического заряда, накопленного в конденсаторе  $C_\Phi$  до момента  $t_1$ . Разряд конденсатора происходит до момента времени  $t_2$  по экспоненциальному закону:

$$u_c = U_m \sin(\omega t_1) \exp\left[-\frac{(t - t_1)}{R_H C_\Phi}\right]. \quad (3.6)$$

В момент времени  $t_2$  входное напряжение становится равным напряжению на конденсаторе и диоды  $VD1$  и  $VD4$  открываются. Начиная с момента  $t_2$  и до момента  $t_3$ , конденсатор заряжается от источника входного напряжения. Далее описанные выше процессы заряда и разряда конденсатора периодически повторяются.

На рис. 3.6 видно, что включение конденсатора  $C_\Phi$  параллельно сопротивлению нагрузки приводит к снижению пульсаций выходного напряжения выпрямителя. Величину емкости конденсатора  $C_\Phi$  на практике выбирают так, чтобы при заданном сопротивлении нагрузки выполнялось соотношение  $\omega R_H C_\Phi > 1$ , тогда напряжение на конденсаторе в фазе разряда падает относительно медленно.

В установившемся режиме степень пульсации напряжения на выходе

выпрямителя оценивается коэффициентом пульсации:

$$k = \frac{U_{ВЫХ\max} - U_{ВЫХ\min}}{U_{ВЫХ.СР}}, \quad (3.7)$$

где  $U_{ВЫХ.\max}$  – максимальное напряжение на выходе;  
 $U_{ВЫХ.\min}$  – минимальное напряжение на выходе;  
 $U_{ВЫХ.СР}$  – средняя величина выходного напряжения.

Средняя величина выходного напряжения может быть определена с помощью выражения:

$$U_{ВЫХ.СР} = \frac{1}{2\pi} \int_{t_1}^{t_3} u_{ВЫХ}(t) dt. \quad (3.8)$$

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль **M2**.

### 4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

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

Установите ключ в разъем модуля **M2** лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис.3.7.

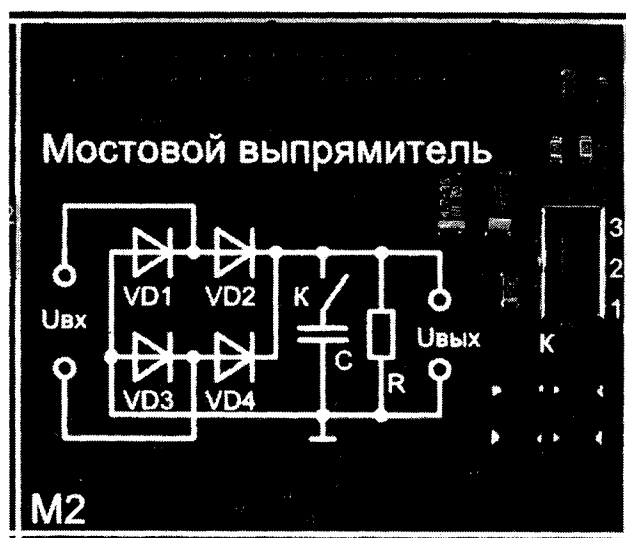


Рис.3.7. Внешний вид модуля **M2**

Загрузите и запустите программу **Lab3(M2).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП (рис.3.8), необходимого для выполнения лабораторных заданий.



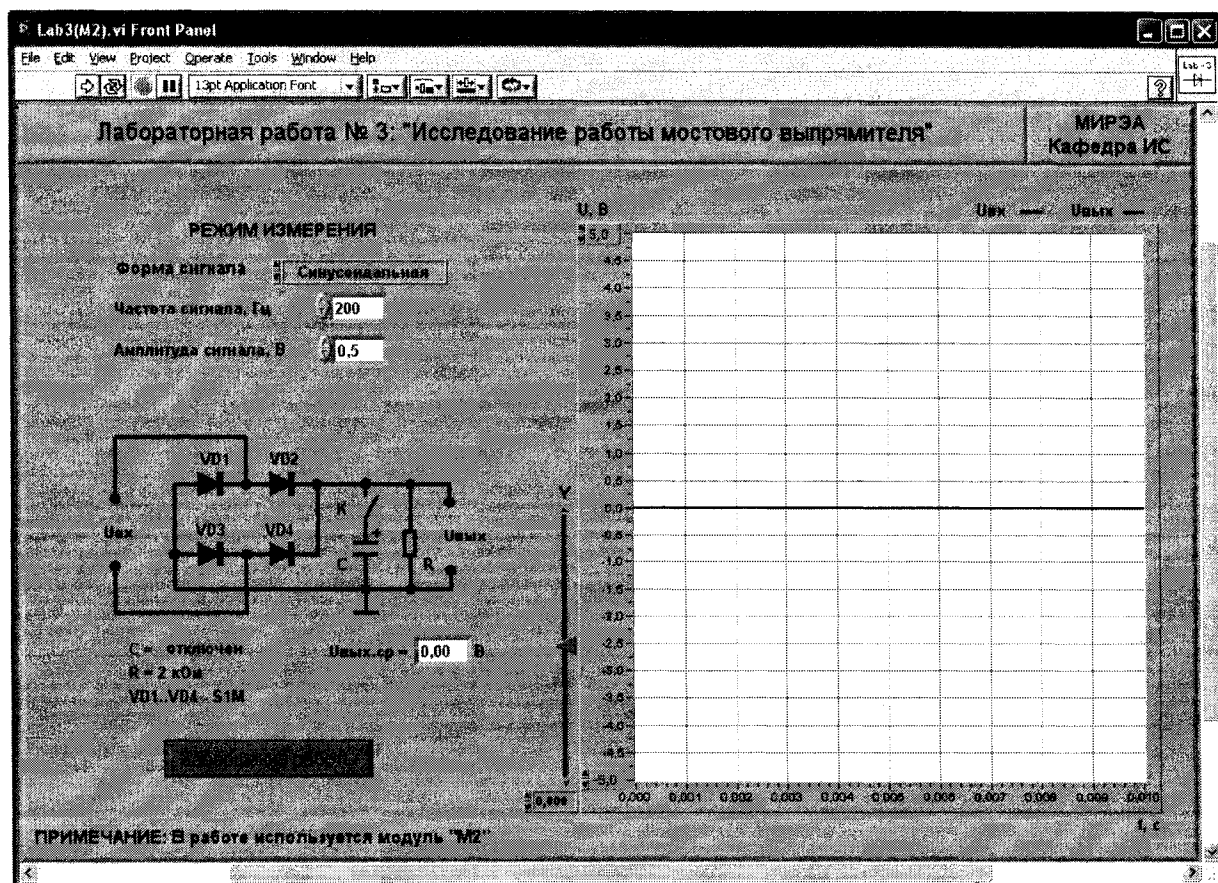


Рис.3.8. Лицевая панель ВП

### Задание 1. Исследование работы однофазного мостового выпрямителя

4.1.1. Установите переключатель «К» модуля **M2** в положение «1», при котором емкостной сглаживающий фильтр **C** отключен от выхода выпрямителя.

4.1.2. С помощью элементов управления на лицевой панели ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – **синусоидальная**, частота сигнала – **100 Гц**. Амплитуду сигнала на входе схемы установите такой величины, чтобы сигналы на осциллограмме не имели видимых искажений и были удобны для наблюдения и измерений.

4.1.3. На графическом индикаторе будут отображены осциллограммы входного и выходного сигналов выпрямителя. Скопируйте полученные осциллограммы в отчет.

4.1.4. Используя полученные осциллограммы, сравните периоды изменения сигналов на входе и выходе выпрямителя. Выводы запишите в отчет.

4.1.5. Измерьте и запишите в отчет максимальное значение напряжения на выходе выпрямителя  $U_{\text{ВЫХ.мах}}$ . Для измерения используйте горизонтальную линию курсора, положение которой изменяется ползунковым регулятором «Y» (рис.3.8). По цифровому индикатору ползункового регулятора «Y» определите измеряемое значение напряжения.

4.1.6. Вычислите и запишите в отчет среднее значение напряжения на выходе выпрямителя. Для вычислений используйте формулу:  $U_{ВЫХ.СР} = 2 \cdot U_{ВЫХ.мах} / \pi$ . Сравните вычисленное значение напряжения с величиной, отображаемой на цифровом индикаторе « $U_{ВЫХ.СР}$ », расположенном на лицевой панели ВП. Выводы и результаты запишите в отчет.

### **Задание 2. Исследование работы однофазного мостового выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром**

4.2.1. Установите переключатель «К» модуля М2 в положение «2», при котором на выходе выпрямителя параллельно сопротивлению нагрузки ( $R_H = 2$  кОм) подключается емкостной сглаживающий фильтр ( $C_\Phi = 4,7$  мкФ).

4.2.2. С помощью элементов управления на лицевой панели ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – **синусоидальная**, частота сигнала – **100 Гц**. Амплитуду сигнала на входе схемы установите такой величины, чтобы сигналы на осциллограмме не имели видимых искажений и были удобны для наблюдения и измерений.

4.2.3. На графическом индикаторе будут отображены осциллограммы входного и выходного сигналов выпрямителя. Скопируйте полученные осциллограммы в отчет.

4.2.4. Используя полученные осциллограммы, сравните периоды изменения сигналов на входе и выходе выпрямителя. Выводы запишите в отчет.

4.2.5. Измерьте и запишите в отчет максимальное  $U_{ВЫХ.мах}$  и минимальное  $U_{ВЫХ.мин}$  значения напряжения на выходе выпрямителя. Для измерения используйте горизонтальную линию курсора, положение которой изменяется ползунковым регулятором «Y» (рис.3.8). По цифровому индикатору ползункового регулятора «Y» определите измеряемое значение напряжения. Для удобства измерений масштаб шкалы для вертикальной оси графика может быть изменен с помощью цифровых элементов управления, задающих ее начальное и конечное значения.

4.2.6. Запишите в отчет среднее значение напряжения на выходе выпрямителя, отображаемое на цифровом индикаторе « $U_{ВЫХ.СР}$ », расположенном на лицевой панели ВП.

4.2.7. Вычислите коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя с емкостным фильтром по формуле:

$$k = \frac{U_{ВЫХ.мах} - U_{ВЫХ.мин}}{U_{ВЫХ.СР}}.$$

Сравните полученное значение с коэффициентом пульсаций двухполупериодного выпрямителя ( $k \approx 0,67$ ). Выводы и результаты запишите в отчет.

4.2.8. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2.2 – 4.2.7 при частоте сигнала **400 Гц**. Сравните работу выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром при разных частотах входного напряжения. Вывод запишите его в отчет.

4.2.9. Установите переключатель «К» модуля **M2** в положение «3», при котором на выходе выпрямителя параллельно сопротивлению нагрузки ( $R_H = 2 \text{ кОм}$ ) подключается емкостной сглаживающий фильтр ( $C_\Phi = 47 \text{ мкФ}$ ).

4.2.10. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2.2. – 4.2.8. при новом значении емкости конденсатора фильтра. Сделайте вывод о влиянии емкости конденсатора фильтра на работу выпрямителя.

4.2.11. Исследуйте работу мостового выпрямителя при других формах входного сигнала: *прямоугольной, треугольной и пилообразной*. Результаты занесите в отчет.

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

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Сравните характеристики однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей?
- Какие схемы двухполупериодных выпрямителей вам известны. Опишите принцип их работы.
- Для чего в выпрямителях используются фильтры? Как устроен емкостной фильтр?
- Как можно оценить степень пульсаций выходного напряжения выпрямителя без фильтра и с емкостным сглаживающим фильтром?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИТРОНА

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование характеристик полупроводникового стабилизатора.

#### 2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, *p-n*-переход которого работает в режиме лавинного пробоя. Такой режим возникает при смещении *p-n*-перехода в обратном направлении. В режиме лавинного пробоя в широком диапазоне изменения тока через диод падение напряжения на нем остается практически неизменным. На рис.4.1, *а* и *б* показаны условные графические изображения стабилитронов, а на рис.4.1, *в* приведена типовая ВАХ стабилитрона.

Схемы включения стабилитрона приведены на рис.4.2. Для ограничения тока через стабилитрон последовательно с ним включают балластный резистор  $R_B$ . Если лавинный ток таков, что мощность, рассеиваемая на стабилитроне, не превышает предельно допустимого значения, то в таком