

## Лабораторная работа № 3

**ИЗМЕРЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНЫХ И НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ****Цель работы**

Выработать навыки предварительной подготовки и подключения измерительных приборов к тестируемой цепи, выполнения измерений синусоидальных напряжений и токов с помощью аналоговых и цифровых приборов, в том числе многопредельных. Учитывать влияние на показания приборов отклонений формы кривой от синусоидальной и наличия постоянной составляющей напряжения и тока.

**1. ИЗМЕРЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ**

Принципиальные электрические схемы экспериментов по измерению синусоидальных напряжений и токов приведены на рис. 1.1 а и 1.1 б. Показания приборов, предназначенных для измерения синусоидальных напряжений и токов, соответствуют действующему (среднеквадратическому) значению измеряемой величины.

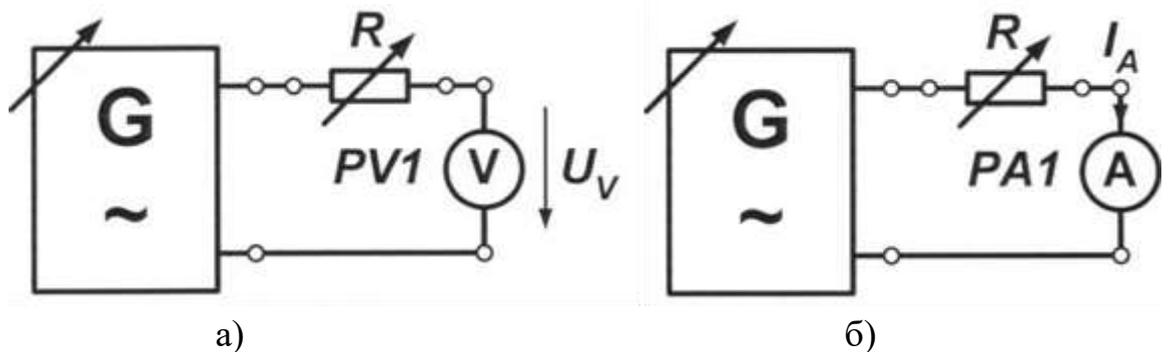


Рис. 1.1. Принципиальные электрические схемы экспериментов по измерению синусоидального напряжения (а) и тока (б)

В схемах рис. 1.1 регулируемый источник синусоидального напряжения  $G$  и переменный резистор  $R$  моделируют эквивалентный генератор, соответствующий цепи, в которой измеряются напряжения и токи. Широкий диапазон изменения напряжения и частоты источника  $G$  и сопротивления переменного резистора  $R$  позволяют моделировать цепи с различной степенью влияния измерительных приборов на напряжения и токи цепи.

Лабораторная установка (рис. 1.2) состоит из однофазного источника питания  $G1$  (218), блока питания  $A1$  (212.2) с выходом регулируемого по частоте и амплитуде синусоидального напряжения, переменного резистора

330 Ом (A7 – блок резисторов 2330) и одного из испытываемых приборов (блоки 510.1, 512.1, 532 или 534). Схемы подключения блоков мультиметров A2 (534) и A3 (510.1) приведены на рисунках 1.3, 1.4, 1.5.

Подключение аналогового вольтметра (блок A4, 512.1) и миллиамперметров (блок A5, 532) показаны на рис. 1.6.

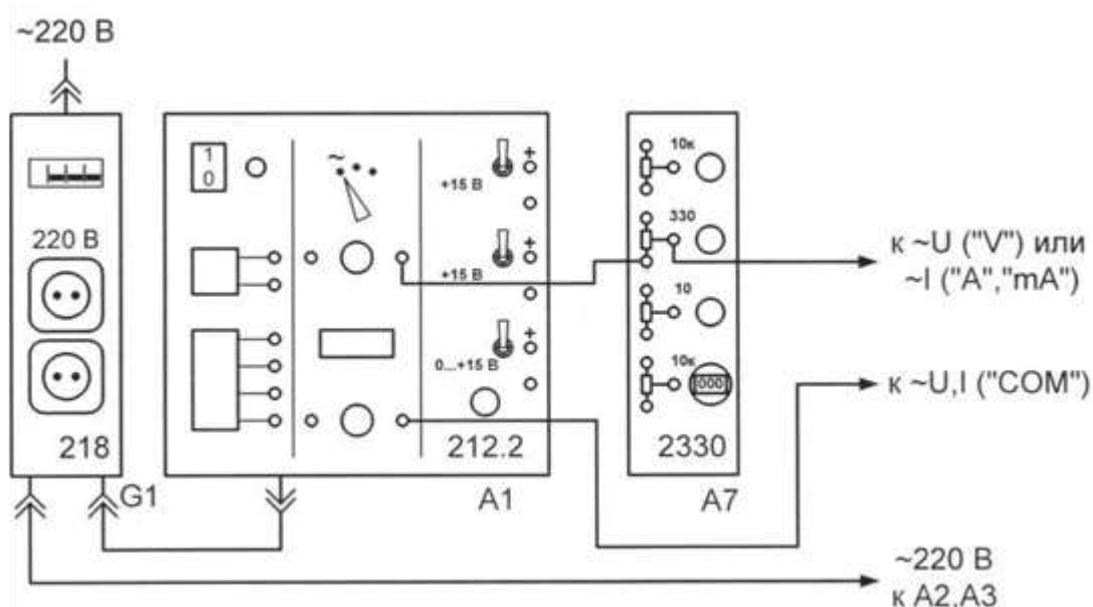


Рис. 1.2. Схема электрическая соединений источников питания для измерения синусоидального напряжения или тока

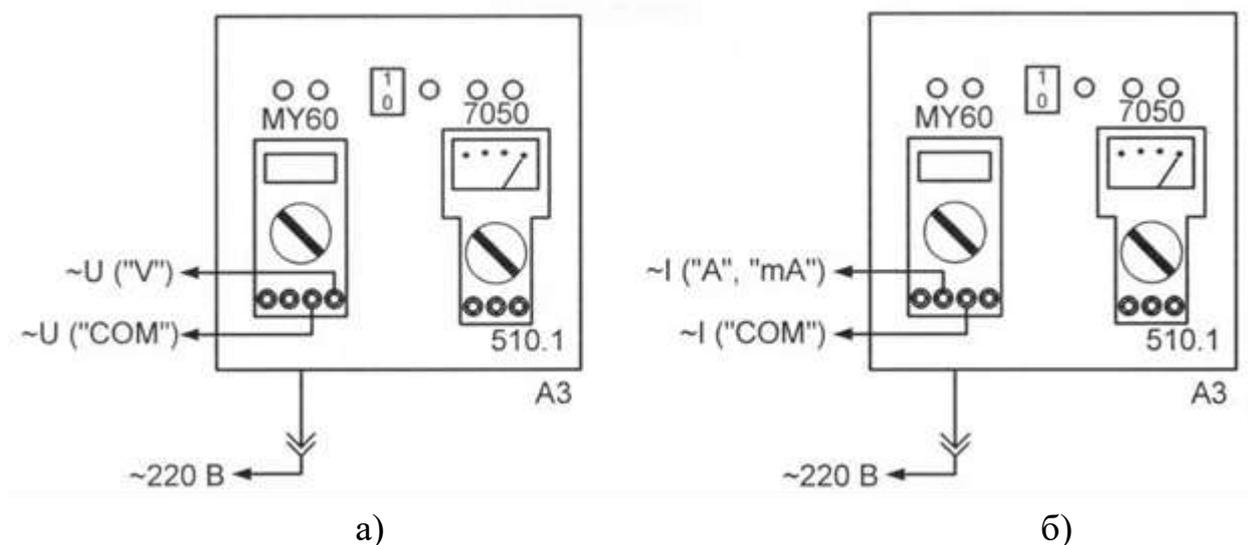


Рис.1.3. Схемы электрических соединений для измерения синусоидального напряжения (а) и тока (б) мультиметром МУ60 блока мультиметров А3 (510.1)

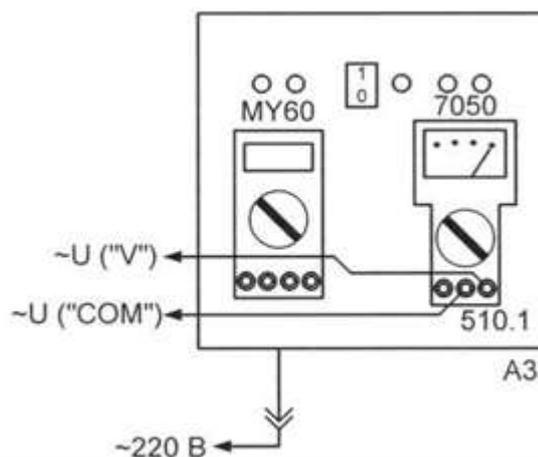


Рис. 1.4. Схемы электрических соединений для измерения синусоидального напряжения мультиметром 7050 блока мультиметров АЗ (510.1)

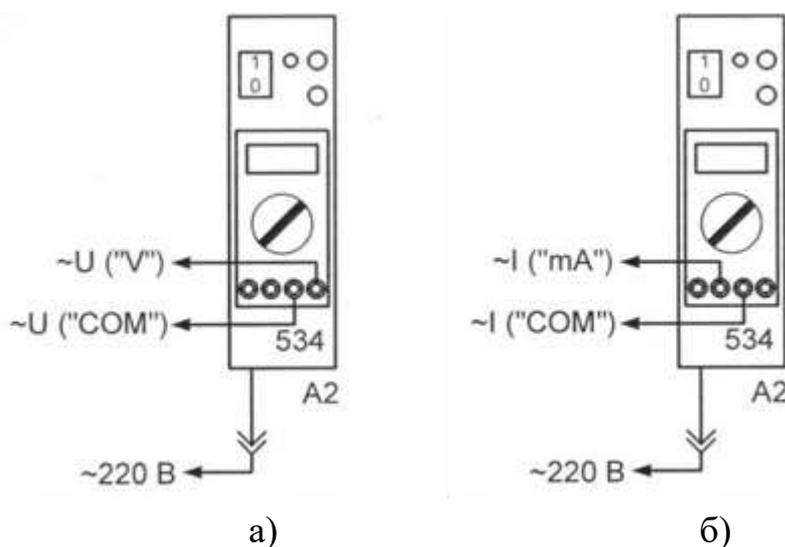


Рис. 1.5. Схемы электрических соединений для измерения синусоидального напряжения (а) и тока (б) мультиметром А2 (534)

Для любого испытываемого прибора в качестве источника синусоидального напряжения или тока используются «Генератор напряжения специальной формы» блока генераторов А1. К испытываемому прибору генератор подключается гнездами «Выход» (через переменный резистор 330 Ом блока А7) и «0 В» (рис. 1.2). При измерении напряжения мультиметры подключаются к источнику гнездами «V» и «COM» (рис. 3 а, 4 и 5 а). При измерении тока мультиметры подключаются к источнику гнездами «А» («mA») и «COM» (рис. 1.3б и 1.5б).

Полярность подключения приборов при измерении синусоидального напряжения не имеет значения.

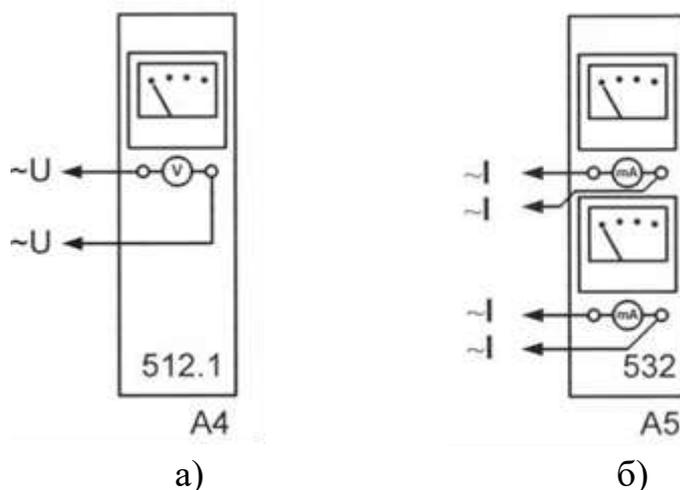


Рис. 1.6. Схемы электрических соединений для измерения синусоидального напряжения вольтметром А4 (512.1) (а) и синусоидально тока миллиамперметрами блока А5 (532) (б).

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блоков А1 (212.2) и приборов А2 (534) и А3 (510.1), требующих сетевого питания.

Не регулируемые синусоидальные напряжения частотой 50 Гц выведены на гнезда «Генератора синусоидальных напряжений 50 Гц» блока генераторов А1 (212.20).

### Указания по проведению эксперимента

#### 1. Подготовка цепи измерения напряжения или тока

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис. 1.2. Измерительные приборы к схеме не подключать.
- Установите параметры «Генератора напряжений специальной формы» блока генераторов А1 (212.2):
  - переключатель «Форма» в положение синусоидального напряжения (« $\sim$ »);
  - минимальное выходное напряжение: ручка регулирования выходного напряжения «Амплитуда» повернута против часовой стрелки до упора;

- минимальная частота (менее 200 Гц). Ручка регулирования «Частота» повернута против часовой стрелки до упора; показания индикатора - менее 0.20 (кГц).

- Установите максимальное сопротивление переменного резистора 330 Ом блока резисторов 2330. Для этого поверните ручку этого резистора по часовой стрелке до упора (указатель на отметке 100).

- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжения A1 и блоков мультиметров A2 и A3.

## **2. *Измерение напряжений и токов прибором с автоматическим выбором пределов измерения (мультиметр A2, 534).***

### **2.1. *Подготовка мультиметра к измерению переменного напряжения***

- Включите мультиметр. Для этого переведите переключатель на лицевой панели прибора из положения «OFF» в положение измерения переменного напряжения «V~». В правой части индикатора между цифровым значением и аналоговой шкалой отображается буква «V». Если при длительном простое произойдет автоматическое отключение мультиметра – отключите мультиметр от измеряемой цепи, и кратковременно переведите выключатель в положение «OFF», а затем установите в положение измерения переменного напряжения. При измерении малых напряжений (порядка нескольких милливольт) переключатель устанавливается в положение «mV».

- Проверить включение режима автоматического выбора пределов измерения: в левом верхнем углу индикатора прибора включена надпись «AUTO». Если надписи «AUTO» нет, необходимо нажать и удерживать кнопку «RANGE» («ПРЕДЕЛ» – вторая слева кнопка в нижнем ряду под индикатором). После второго звукового сигнала прибор вернется в режим автоматического выбора предела измерения (появится надпись «AUTO»).

- Несколькими нажатиями на кнопку «SELECT» («ВЫБОР» – крайняя левая кнопка в нижнем ряду) задать режим измерения переменного напряжения «~» (значок под надписью «AUTO» на индикаторе).

- Других отметок на индикаторе быть не должно. Ненужные режимы (и их метки на индикаторе) отключаются нажатием (или нажатием и удержанием) соответствующих кнопок прибора.

- Подключите проводники к гнездам мультиметра: крайнее правое (красное) гнездо «V» и второе справа (черное) гнездо «COM».

В установленном режиме измерения мультиметр РС5000 измеряет действующее значение переменного напряжения. Постоянная составляющая сигнала (если она есть) отсекается.

## **2.2. Измерение переменного напряжения**

- Установить произвольное напряжение на выходе генератора напряжений специальной формы: ручку регулировки выходного напряжения («Амплитуда») повернуть по часовой стрелке.

- Подключить мультиметр А2 (рис. 5а) к цепи рис. 2: провода от движка переменного резистора 330 Ом (блок А7) и гнезда «0 В» генератора напряжений специальной формы подключить к гнездам «V» и «СОМ» мультиметра.

- Произвести отсчет напряжения по индикатору мультиметра.

- Установите несколько различных значений выходного напряжения генератора и повторите измерения напряжения. Обратите внимание на работу системы автоматического выбора пределов измерения: десятичная точка на индикаторе мультиметра автоматически устанавливается в положение, обеспечивающее отображение на индикаторе максимального числа значащих цифр результата измерения.

*Внимание!* Если на вход мультиметра подано измеряемое напряжение запрещается изменять положение переключателя на лицевой панели мультиметра. Любые переключения режимов работы мультиметра необходимо выполнять после отключения прибора от измеряемого напряжения.

- По окончании измерений напряжения отсоедините прибор от измеряемой цепи.

## **2.3. Подготовка цепи измерения переменного тока**

- Установите минимальное выходное напряжение генератора напряжений специальной формы блока А1 (212.2). Для этого ручку регулирования выходного напряжения «Амплитуда» поверните против часовой стрелки до упора.

- Установите максимальное сопротивление переменного резистора 330 Ом блока резисторов 2330. Для этого поверните ручку этого резистора по часовой стрелке до упора (указатель на отметке 100).

## **2.4. Подготовка мультиметра к измерению переменного тока**

- Переведите переключатель на лицевой панели прибора из положения «OFF» в положение измерения тока «mA». В правой части индикатора между цифровым значением и аналоговой шкалой отображаются

буквы «mA». Если при измерении тока на пределе «mA» на индикаторе окажется слишком мало значащих цифр – переключатель необходимо перевести в положение « $\mu$ A». Если при длительном простое произойдет автоматическое отключение мультиметра – отключите питание измеряемой цепи (блок А1), кратковременно переведите выключатель в положение «OFF», а затем установите в положение измерения тока.

- Проверить включение режима автоматического выбора пределов измерения: в левом верхнем углу индикатора прибора включена надпись «AUTO». Если надписи «AUTO» нет, необходимо нажать и удерживать кнопку «RANGE» («ПРЕДЕЛ» – вторая слева кнопка в нижнем ряду под индикатором). После второго звукового сигнала прибор вернется в режим автоматического выбора предела измерения (появится надпись «AUTO»).

- Несколькими нажатиями на кнопку «SELECT» («ВЫБОР» – крайняя левая кнопка в нижнем ряду) задать режим измерения переменного тока «~» (значок под надписью «AUTO» на индикаторе).

- Других отметок на индикаторе быть не должно. Ненужные режимы (и их метки на индикаторе) отключаются нажатием (или нажатием и удержанием) соответствующих кнопок прибора.

Подключите проводники к гнездам мультиметра: красное гнездо «mA» и черное гнездо «COM».

### **2.5. Измерение переменного тока**

- Подключить мультиметр А2 (рис. 5б) к цепи рис. 1.2. Провод от гнезда «COM» мультиметра – к гнезду «0 В» генератора напряжений специальной формы блока А1. Провод от гнезда «mA» мультиметра – к движку переменного резистора 330 Ом блока А7.

- Установить произвольное напряжение на выходе генератора напряжений: ручку регулировки выходного напряжения («Амплитуда») повернуть по часовой стрелке.

- Произвести отсчет тока по индикатору мультиметра.

- Установите несколько различных значений выходного напряжения генератора и повторите измерения тока. При максимальном напряжении на выходе генератора (ручка регулировки напряжения повернута по часовой стрелке до упора) для дальнейшего увеличения тока необходимо уменьшить сопротивление переменного резистора 330 Ом блока А7. Для уменьшения сопротивления резистора (и увеличения тока) необходимо повернуть его ручку против часовой стрелки. Если при регулировке будет превышен максимальный ток источника (200 mA), сработает защита источника и включится красный светодиод «I» около гнезда «Выход» генератора напряжений специальной формы блока А1. Для устранения перегрузки

необходимо увеличить сопротивление цепи и/или уменьшить напряжение источника и на 20...30 с разорвать цепь, например, отключив один из проводников от гнезда генератора.

- Обратите внимание на работу системы автоматического выбора пределов измерения: десятичная точка на индикаторе мультиметра автоматически устанавливается в положение, обеспечивающее отображение на индикаторе максимального числа значащих цифр результата измерения.

*Внимание!* Если мультиметр включен в цепь измерения тока, допустим лишь переход с предела измерения «mA» на предел измерения « $\mu$ A» и обратно. Переключение на иные пределы измерения недопустимо.

*Внимание!* Отключение мультиметра в режиме измерения тока (амперметра) разрывает измеряемую цепь и безопасно только при отключении питания от измеряемой цепи.

### **3. Измерение напряжения и тока цифровым мультиметром МУ60 с ручным выбором пределов измерения (блок мультиметров 510.1)**

#### **3.1. Подготовка мультиметра к измерению переменного напряжения**

- Включите мультиметр кнопкой «ON/OFF», расположенной слева под индикатором. Если при длительном бездействии произойдет автоматическое отключение питания мультиметра необходимо отключить и повторно включить кнопку «ON/OFF».

- Установите максимальный предел измерения переменного напряжения 700 В (указатель переключателя в положении «700» в секторе пределов измерения переменного напряжения «V~»). Предварительная установка максимального предела измерения исключает повреждение прибора при включении на неизвестное измеряемое напряжение.

- Подключите проводники к гнездам мультиметра: крайнее правое (красное) гнездо «V $\Omega$ » и второе справа (черное) гнездо «COM».

#### **3.2. Измерение переменного напряжения**

- Установить произвольное напряжение на выходе генератора напряжений: ручку регулировки выходного напряжения («Амплитуда») повернуть по часовой стрелке.

- Подключить мультиметр МУ60 блока А3 (рис. 3 а) к цепи рис. 1.2. Провод от гнезда «COM» мультиметра – к гнезду «0 В» генератора блока А1. Провод от гнезда «V» мультиметра – к движку переменного резистора 330 Ом блока А7.

- Произвести отсчет напряжения по индикатору мультиметра. Если на индикаторе в старших разрядах отображаются нули, точность отсчета измеряемого напряжения необходимо повысить, переключившись на меньший предел измерения. Последовательно переходя от старшего предела к младшим (700→200→20→2→200m) необходимо получить на индикаторе возможно большее число цифр результата, что обеспечивает наибольшую точность отсчета величины измеряемого напряжения. При перегрузке (напряжение на входе выше предела измерения) на индикаторе отображается 1 в крайнем левом разряде, а остальные знаки индикатора выключены. В этом случае необходимо переключиться на больший предел.

- Установите несколько различных значений выходного напряжения генератора и повторите измерения напряжения.

*Внимание!* Если на вход мультиметра подано измеряемое напряжение запрещается устанавливать переключатель пределов в положения за пределами сектора измеряемой величины «V~». Вращение переключателя через сектора пределов измерения других величин в этом случае может привести к выходу прибора из строя.

### **3.3. Подготовка мультиметра к измерению переменного тока**

- Прибор должен быть отключен от измеряемой цепи.
- Переведите переключатель пределов на лицевой панели прибора в положение предела измерения переменного тока 2A («2·») в секторе «A~».
- Подключите проводники к гнездам мультиметра: второе слева (красное) гнездо «A» и второе справа (черное) гнездо «COM».
- Для измерения токов до 10 А необходимо установить переключатель пределов в положение «10·» (сектор «A~») и подключить проводники к гнездам мультиметра «10 А» и «COM».

### **3.4. Измерение переменного тока**

- Подключить мультиметр А2 (рис. 3 б) к цепи рис. 1.2. Провод от гнезда «COM» мультиметра – к гнезду «0 В» генератора напряжения специальной формы блока А1. Провод от гнезда «A» мультиметра – к движку переменного резистора 330 Ом блока А7.

- Установить произвольное напряжение на выходе генератора напряжений: ручку регулировки выходного напряжения «Амплитуда» повернуть по часовой стрелке.

- Произвести отсчет тока по индикатору мультиметра. Если на индикаторе в старших разрядах отображаются нули, точность отсчета измеряемого тока необходимо повысить, переключившись на меньший предел измерения. Последовательно переходя от старшего предела к младшим

(2→200m→20m→2m→200μ), необходимо получить на индикаторе возможно большее число цифр результата, что обеспечивает наибольшую точность отсчета величины измеряемого тока. При перегрузке (ток через прибор выше предела измерения) на индикаторе отображается 1 в крайнем левом разряде, а остальные знаки индикатора выключены. В этом случае необходимо переключиться на больший предел.

- Установите несколько различных значений выходного напряжения источника и повторите измерения тока. При максимальном напряжении на выходе генератора (ручка регулировки амплитуды повернута по часовой стрелке до упора) для дальнейшего увеличения тока необходимо уменьшить сопротивление переменного резистора 330 Ом блока А7. Для уменьшения сопротивления резистора (и увеличения тока) необходимо повернуть его ручку против часовой стрелки. Если при регулировке будет превышен максимальный ток источника (200 мА), сработает защита источника и включится красный светодиод «I>0,2 А» около гнезда «Выход» генератора напряжений блока А1. Для устранения перегрузки необходимо увеличить сопротивление цепи и/или уменьшить напряжение генератора и на 20...30 с разорвать цепь, например, отключив проводник от одного из гнезд генератора.

#### **4. Измерение синусоидального напряжения аналоговым мультиметром 7050 с ручным выбором пределов измерения (блок мультиметров 510.1)**

##### **4.1. Подготовка мультиметра к измерению синусоидального напряжения**

- При измерении напряжений и токов аналоговый мультиметр не требует источников питания. Проверьте установку стрелки мультиметра на 0 шкалы и, при необходимости, скорректируйте её положение подстроечным винтом.

- Установите максимальный предел измерения переменного напряжения 500 В (указатель переключателя в положении «500» в секторе пределов измерения переменного напряжения «V~»), Предварительная установка максимального предела измерения исключает повреждение прибора при включении на неизвестное измеряемое напряжение. Необходимо быть предельно внимательными при установке пределов измерения, т.к. в данном мультиметре гнезда измерения напряжения, тока и сопротивления объединены. Подключение прибора с неверно установленным пределом может повредить прибор.

- Подключите проводники к гнездам мультиметра: крайнее правое красное гнездо «VΩ» и черное гнездо «COM».

#### **4.2. Измерение синусоидального напряжения**

- Установить произвольное напряжение на выходе генератора напряжений: ручку регулировки амплитуды выходного напряжения повернуть по часовой стрелке.
- Подключить мультиметр 7050 блока А3 (рис. 1.4) к цепи рис. 1.2. Провод от гнезда «СОМ» мультиметра – к гнезду «0 В» генератора напряжения специальной формы блока А1. Провод от гнезда «VΩmA» мультиметра – к движку переменного резистора 330 Ом блока А7.
- Если отклонение стрелки прибора невелико, последовательно переключайте прибор на меньшие пределы измерения до получения максимального отклонения стрелки в пределах шкалы прибора. При отклонении стрелки за пределы шкалы («зашкаливании») вернитесь на больший предел измерения.
- Произвести отсчет по шкале мультиметра «АСV». Разделив величину установленного предела измерения в вольтах на значение в конце выбранной шкалы, получим множитель, для определения напряжения: умножение величины отсчета по шкале прибора на найденный множитель дает значение измеренного напряжения в вольтах.
- Установите несколько различных значений выходного напряжения источника и повторите измерения напряжения.

Внимание! Если на вход мультиметра подано измеряемое напряжение запрещается устанавливать переключатель пределов в положения за пределами сектора измеряемой величины («V~»). Вращение переключателя через сектора пределов измерения других величин в этом случае может привести к выходу прибора из строя.

#### **5. Измерение синусоидального напряжения вольтметром электромагнитной системы (блок вольтметра 512.1)**

Проверьте установку стрелки вольтметра на 0 деление шкалы прибора. При необходимости, установите стрелку на 0 шкалы винтом на лицевой панели вольтметра.

##### **Измерение синусоидального напряжения**

- Установить произвольное напряжение на выходе генератора напряжений специальной формы: ручку регулировки амплитуды выходного напряжения повернуть по часовой стрелке.
- Ручку переменного резистора 330 Ом (блок А7) повернуть против часовой стрелки до упора (минимальное сопротивление резистора).

- Подключить вольтметр блока А4 (рис. 1.6а) к цепи рис. 1.2. Провод от гнезда «0 В» генератора напряжения специальной формы (блок А1) и провод от движка подключаются к гнездам вольтметра.
- Произвести отсчет по шкале вольтметра. Обратите внимание на нерабочий участок в начале шкалы в интервале от 0 до 2 В. Начало рабочего участка шкалы отмечено точкой около деления 2 В.
- Установите несколько различных значений выходного напряжения источника и повторите измерения напряжения.

### **6. Измерение синусоидального тока миллиамперметрами электромагнитной системы (Э42700) и магнитоэлектрической системы с выпрямителем (Ц42300) (блок миллиамперметров 532)**

Проверьте установку стрелок приборов на 0 шкалы. При необходимости установите стрелку на 0 винтом на лицевой панели прибора.

#### ***Измерение синусоидального тока***

- Подключить один из миллиамперметров блока А5 (рис. 1.6б) к цепи рис. 1.2.
- Установить произвольное напряжение на выходе генератора напряжений: ручку регулировки выходного напряжения «Амплитуда» повернуть по часовой стрелке.

- Произвести отсчет тока по шкале миллиамперметра.

Электромагнитный миллиамперметр Э42700 имеет нерабочий участок в начале шкалы от 0 до 10 мА. Начало рабочего участка отмечено точкой около деления 10 шкалы прибора.

Магнитоэлектрический миллиамперметр с выпрямителем Ц42300 имеет шкалу от 30 до 100 мА. Начальный нерабочий участок объясняется отсутствием прямых токов через встроенные в прибор выпрямительные диоды при малых прямых напряжениях.

- Установите несколько различных значений выходного напряжения генератора и повторите измерения тока. При максимальном напряжении на выходе генератора (ручка регулировки амплитуды повернута по часовой стрелке до упора) для дальнейшего увеличения тока необходимо уменьшить сопротивление переменного резистора 330 Ом блока А7. Для уменьшения сопротивления резистора (и увеличения тока) необходимо повернуть его ручку против часовой стрелки. Если при регулировке будет превышен максимальный ток источника (0,2 А), сработает защита источника и включится красный светодиод « $I > 0,2 \text{ А}$ » около гнезда «Выход» генератора напряжений блока А1. Для устранения перегрузки необходимо увеличить

сопротивление цепи и/или уменьшить напряжение генератора и на 20...30 с разорвать цепь, например, отключив проводник от одного из гнезд генератора.

## 2. ИЗМЕРЕНИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

### *Лабораторная установка и электрическая схема соединений*

Все приборы, предназначенные для измерения синусоидальных напряжений или токов, градуированы в действующих значениях измеряемой синусоидальной величины, независимо от принципа их действия. При искажении формы измеряемого напряжения или тока возникает дополнительная погрешность измерения, в некоторых случаях весьма значительная.

По принципу действия приборы, измеряющие переменное напряжение  $u(t)$  и ток  $i(t)$ , делятся на две группы:

1). Приборы, реагирующие на действующее (среднеквадратическое) значение измеряемой величины

$$A = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt},$$

где  $A$  – действующее (среднеквадратическое) значение измеряемой величины;  $a(t)$  – мгновенное значение измеряемой величины (напряжение или ток).

В импортных приборах возможность измерения среднеквадратического значения обозначается маркировкой “True RMS”.

При несинусоидальных напряжениях (токах) приборы данного типа показывают действующее значение, независимо от формы напряжения (тока). Для синусоиды действующее значение равно  $A = \frac{A_m}{\sqrt{2}}$ , т. е. в  $\sqrt{2}$  раз меньше амплитуды синусоиды  $A_m$ .

2). Приборы, реагирующие на среднев्यпрямленное значение измеряемой величины

$$A_{\text{ср.в}} = \frac{1}{T} \int_0^T |a(t)| dt,$$

где  $A_{\text{ср.в}}$  – среднев्यпрямленное значение измеряемой величины;  $a(t)$  – мгновенное значение измеряемой величины.

Среднев्यпрямленное значение синусоиды равно  $A_{\text{ср.в}} = \frac{2}{\pi} A_m$ .

Для получения на индикаторе прибора действующего значения синусоидальной величины при градуировке таких приборов учитывается коэффициент формы синусоиды

$$k_{\phi.sin} = \frac{A}{A_{\text{ср.в}}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11.$$

В данной работе выполняется сравнение показаний приборов различных систем при измерении напряжения (тока) имеющего форму прямоугольных импульсов (рис. 2.1).

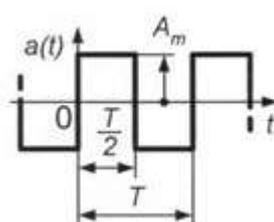


Рис. 2.1. Форма несинусоидального напряжения и тока прямоугольной формы

Для напряжения (тока), имеющего форму рис. 2.1, действующее, средневывпрямленное и амплитудное значения совпадают ( $A = A_{\text{ср.в}} = A_m$ ). Следовательно, показания приборов, реагирующих на средневывпрямленное значение измеряемой величины, будут в  $k_{\phi.sin} \sim 1,11\dots$  раз больше показаний приборов, измеряющих действующее значение напряжения или тока, имеющего форму рис. 2.1.

Из испытываемых в данной работе приборов истинное действующее значение напряжения (тока) измеряют мультиметр РС5000 (блок 534, А2), электромагнитный вольтметр Э42700 (блок 512.1, А4) и электромагнитный миллиамперметр Э42700 (блок 532, А5). Аналоговый и цифровой мультиметры блока 510.1 (А3) и магнитоэлектрический миллиамперметр с выпрямителем Ц42300 (блок 532, А5) показывают средневывпрямленное значение измеряемой величины, умноженное на коэффициент формы синусоиды (1,11...).

Принципиальные электрические схемы экспериментов по измерению несинусоидальных напряжений и токов не отличаются от схем для измерения синусоидальных напряжений и токов (рис. 1.1).

Лабораторная установка (рис. 2.2) состоит из однофазного источника питания G1 (218), блока питания А1 (212.2) с выходом регулируемого по частоте и амплитуде несинусоидального напряжения, переменного резистора

330 Ом (А7 – блок резисторов 2330) и испытываемых приборов (блоки 510.1, 512.1, 532 или 534).

Схемы подключения мультиметров блоков А2 (534), А3 (510.1) и вольтметра А4 (512.1) при измерении напряжения приведены на рис. 2.3. При измерении напряжения мультиметры подключаются к источнику гнездами «V» и «СОМ». Все приборы на рис. 2.2 соединены параллельно и измеряют одно и то же несинусоидальное напряжение «Генератора напряжений специальной формы» блока А1.

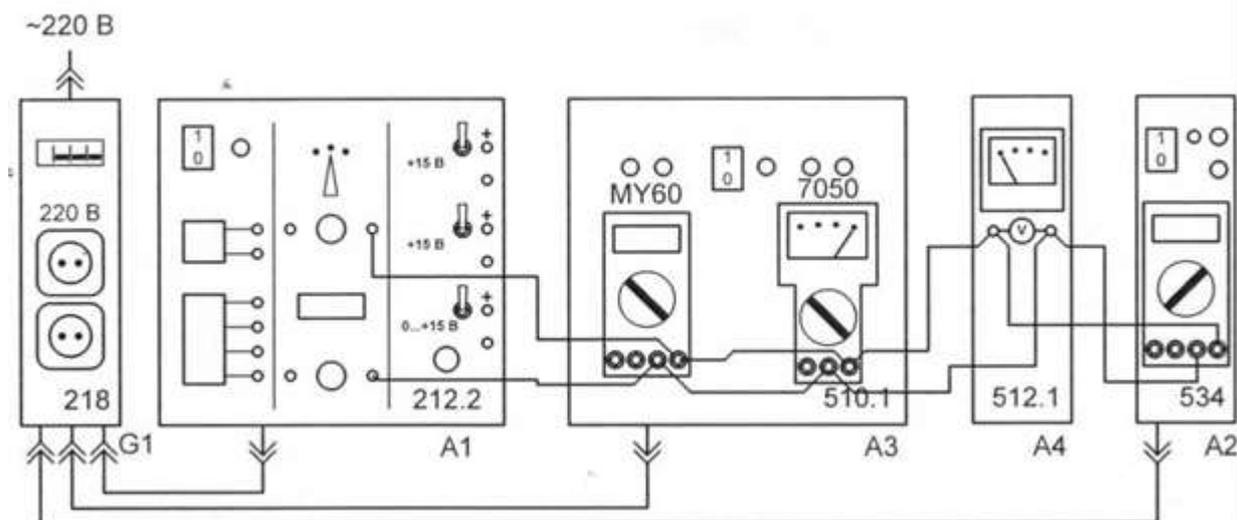


Рис. 2.2. Схема электрических соединений для измерения несинусоидального напряжения

Схемы подключения мультиметров блоков А2 (534), А3 (510.1) и миллиамперметров блока А5 (532) при измерении тока приведены на рис. 2.4. При измерении тока мультиметры подключаются к цепи гнездами «А» («mA») и «СОМ». Все приборы на рис. 2.3 соединены последовательно и измеряют один и тот же несинусоидальный ток в цепи выхода «Генератора напряжений специальной формы» (блок А1) и переменного резистора 330 Ом (блок А7).

## Указания по проведению эксперимента на несинусоидальном токе

### 1. Подготовка цепи измерения напряжения или тока

Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений рис. 2.2. или рис. 2.3.
- Установите параметры «Генератора напряжений специальной формы» блока генераторов А1 (212.2):



Определите, какие приборы показывают действующее значение напряжения (меньшая величина), а какие средневыпрямленное, умноженное на коэффициент формы синусоиды (большая величина).

Определите отношение показаний двух приборов из той и другой группы. Например, мультиметр МУ60 (А3) и электромагнитный вольтметр (А4). Оцените, насколько полученная величина близка к коэффициенту формы синусоиды.

Повторите эксперимент при других значениях напряжения.

По завершении эксперимента установите минимальную амплитуду выходного напряжения генератора (ручку регулировки выходного напряжения «Амплитуда» повернуть против часовой стрелки до упора).

### **3. Измерение несинусоидального тока**

Включите мультиметры и установите на них пределы измерения переменного тока, превышающие 100 мА.

Установить произвольную величину напряжения на выходе генератора напряжения генератора специальной формы: ручку регулировки выходного напряжения («Амплитуда») повернуть по часовой стрелке.

При достижении максимального выходного напряжения генератора, для увеличения тока уменьшите сопротивление переменного резистора 330 Ом (А7).

Произвести отсчет токов по приборам.

Определите, какие приборы показывают действующее значение тока (меньшая величина), а какие – средневыпрямленное, умноженное на коэффициент формы синусоиды (большая величина).

Определите отношение показаний двух приборов из той и другой группы. Например, мультиметр МУ60 (А3) и электромагнитный миллиамперметр Э42300 (А4). Оцените, насколько полученная величина близка к коэффициенту формы синусоиды.

Повторите эксперимент при других значениях тока.

## **III. ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ПОКАЗАНИЯ ПРИБОРОВ**

По воздействию на измерительный механизм переменного напряжения  $u(t)$  (или тока  $i(t)$ ) содержащего постоянную составляющую  $U_0$  ( $I_0$ ), можно выделить следующие группы измерительных приборов:

1) Приборы, измеряющие среднее за период значение величины

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt ,$$

где  $A_0$  – среднее значение измеряемой величины, т.е. постоянная составляющая;  $a(t)$  – мгновенное значение измеряемой величины (напряжение или ток).

Это приборы, рассчитанные на измерение постоянного напряжения (тока), или мультиметры на пределах измерения постоянных напряжений (токов). В комплекте стенда это мультиметры блоков 510.1 и 534.

На пределах измерения постоянного напряжения (тока) показания этих приборов соответствуют только постоянной составляющей напряжения или тока.

2) Приборы для измерения переменного напряжения (тока) исключают постоянную составляющую.

В комплекте стенда это мультиметры РС5000 (блок 534) и МУ60 (510.1) на пределах измерения переменного напряжения (тока). После удаления постоянной составляющей показания мультиметра РС5000 (блок 534) соответствуют действительному (среднеквадратическому) значению переменной составляющей измеряемой величины

$$A_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (a(t) - A_0)^2 dt} ,$$

где  $A_{\text{пер}}$  – полное действующее (среднеквадратическое) значение измеряемой величины;  $a(t)$  – постоянная составляющая измеряемой величины;  $A_0$  – действующее значение переменной составляющей измеряемой величины.

Для цифрового мультиметра МУ60 блока 510.1 показания соответствуют средневыпрямленному значению переменной составляющей измеряемой величины, умноженному на коэффициент формы синусоиды 1,11.

$$A = 1,11 \frac{1}{T} \int_0^T |a(t) - A_0| dt ,$$

где  $A$  – показание прибора.

3) Приборы, измеряющие полное действующее значение напряжения (тока) с учетом постоянной составляющей

$$A = \sqrt{A_0^2 + A_{\text{пер}}^2} ,$$

где  $A$  – полное действующее (среднеквадратическое) значение измеряемой величины;  $A_0$  – постоянная составляющая измеряемой величины;  $A_{\text{пер}}$  – действующее значение переменной составляющей измеряемой величины.

В комплекте стенда эту величину измеряют электромагнитный вольтметр Э42300 (блок 512.1) и мультиметр РС5000 (534). Для РС5000 необходимо установить один из пределов измерения (V, mV, mA,  $\mu$ A), имеющий значок одновременного измерения постоянной и переменной составляющих . Далее кнопкой «SELECT» необходимо выбрать режим измерения обеих составляющих: значок  слева на индикаторе прибора.

Электромагнитный вольтметр Э42300 (блок 512.1) рассчитан на синусоидальное напряжение частотой 50 Гц, и при измерении несинусоидальных напряжений иных частот с постоянной составляющей, имеет значительную дополнительную погрешность.

4) В аналоговом мультиметре 7050 (блок 510.1) при измерении синусоидального напряжения используется однополупериодный выпрямитель. Выходное напряжение выпрямителя при измерении синусоидального напряжения показано на рис. 3.1 б. Отклонение стрелки магнитоэлектрического прибора мультиметра пропорционально среднему значению этого напряжения, т. е. постоянной составляющей, равной

$$A_0 = \frac{1}{\pi} A_m ,$$

где  $A_0$  – среднее значение измеряемой величины, т.е. постоянная составляющая;  $A_m$  – амплитуда измеряемой величины.

Поскольку прибор должен показывать действующее значение синусоидального напряжения, шкала прибора проградуирована с учетом коэффициента, равного отношению действующего значения синусоидального напряжения к среднему значению напряжения рис. 3.1 б. Численное значение коэффициента равно

$$k = \frac{A_m/\sqrt{2}}{A_m/\pi} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} = 2,22 .$$

При измерении несинусоидального напряжения с постоянной составляющей показания мультиметра 7050 на пределах переменного напряжения равны среднему значению измеряемого напряжения после однополупериодного выпрямления (отсечены все значения  $U(t) < 0$ ), умноженному на коэффициент  $A = 2,22\dots$ . Показания зависят от полярности подключения измеряемого напряжения к мультиметру.

В данной работе выполняется сравнение показаний приборов различных систем при измерении напряжения имеющего форму прямоугольных однополярных импульсов частотой 150...250 Гц (рис. 3.1 а,  $T = 4...7$  мс) и напряжения на выходе одно- или двухполупериодного выпрямителя рис. 3.1 б и 3.1 в (частота 50 Гц,  $T = 20$  мс).

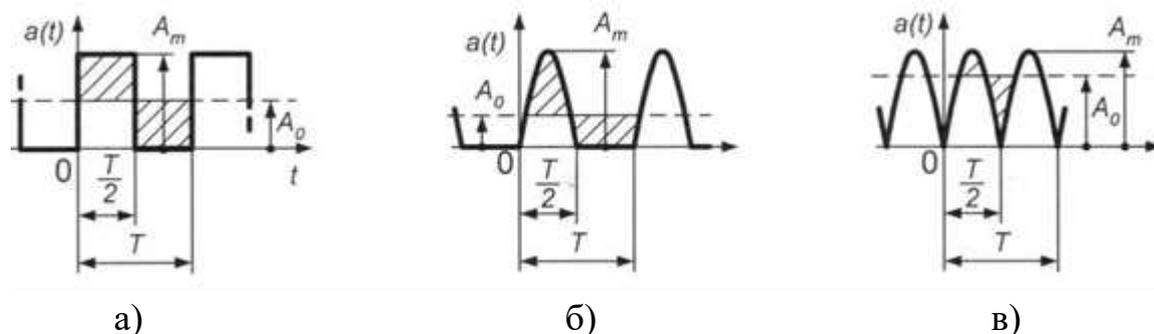


Рис. 3.1. Форма несинусоидального напряжения (тока) с постоянной составляющей, используемого при тестировании приборов:

а – однополярные импульсы; б – выходное напряжение однополупериодного выпрямителя; в – выходное напряжение двухполупериодного выпрямителя

Исходя из перечисленных выше особенностей приборов, в таблицу 3.1 сведены теоретические значения коэффициентов  $k$ , связывающих показания приборов на различных пределах измерения с постоянной составляющей измеряемой величины т. е.  $A = k \cdot A_0$ .

Отношение показаний приборов к постоянной составляющей измеряемой величины

Таблица 3.1

| Тип прибора                         | Пределы измерения  | Форма напряжения (тока)        |                               |                                |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                                     |                    | Рис. 3.1 а                     | Рис. 3.1 б                    | Рис. 3.1 в                     |
| РС5000<br>(блок 534)                | $U, I \text{ ---}$ | 1                              | 1                             | 1                              |
|                                     | $U, I \sim$        | 1                              | 1,211                         | 0,4834                         |
|                                     | $U, I \text{ ---}$ | $\sqrt{2}$                     | $\pi/2 \approx 1,5708$        | $\pi/2\sqrt{2} \approx 1,1107$ |
| МУ60<br>(блок 510.1)                | $U, I \text{ ---}$ | 1                              | 1                             | 1                              |
|                                     | $U, I \sim$        | $\pi/2\sqrt{2} \approx 1,1107$ | 1,2242                        | 0,4676                         |
| 7050<br>(блок 510.1)                | $U, I \text{ ---}$ | 1                              | 1                             | 1                              |
|                                     | $U \sim$           | $\pi/\sqrt{2} \approx 2,2214$  | $\pi/\sqrt{2} \approx 2,2214$ | $\pi/\sqrt{2} \approx 2,2214$  |
| Вольтметр<br>Э42700<br>(блок 512.1) | 2...10 В           | $\sqrt{2}$                     | $\pi/2 \approx 1,5708$        | $\pi/2\sqrt{2} \approx 1,1107$ |



установленное на выходе «Генератора напряжений специальной формы» блока А1 (гнезда «ВЫХОД» и «0 В»).

Для получения выпрямленного напряжения рис. 3.1 б или 3.1 в необходимо собрать однополупериодный выпрямитель по схеме рис. 3.4 или двухполупериодный выпрямитель по схеме рис. 3.5. Выпрямители питаются от источника трехфазных напряжений блока А1. Выпрямители выполнены на диодах (100 В, 1 А) блока элементов измерительных цепей А8 (2332). В качестве нагрузки выпрямителя используется резистор 330 Ом блока А7 (2330). Как и в схеме рис. 3.3, при подключении испытываемых приборов блоков А2, А3 и А4 к источнику (выпрямителю) используются гнезда «V» и «СОМ» мультиметров.

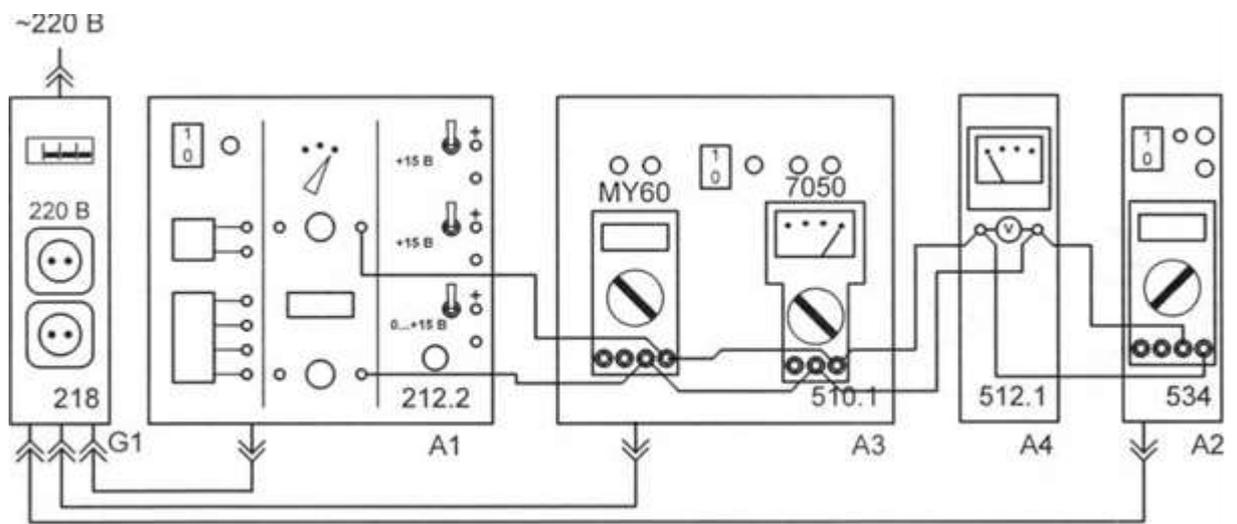


Рис. 3.3. Схема электрическая соединений для измерения импульсного напряжения

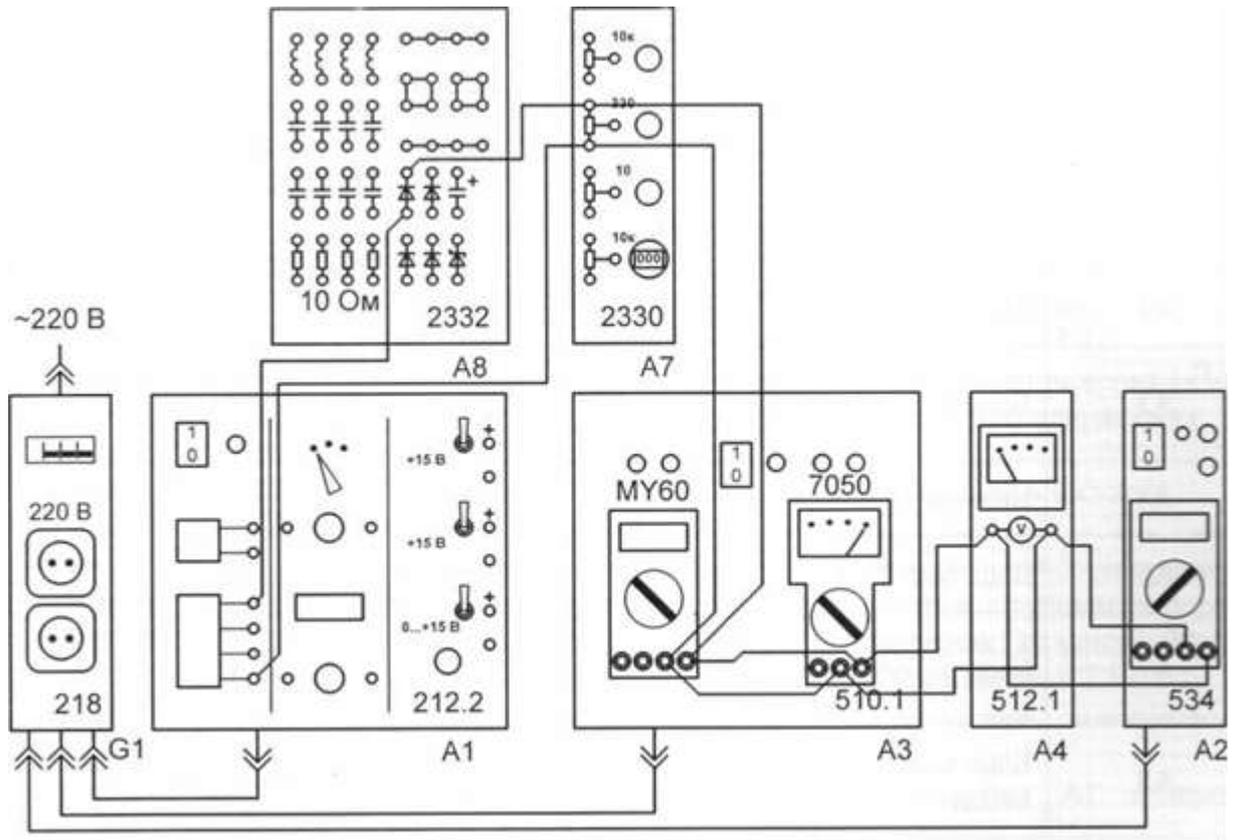


Рис. 3.4. Схема электрическая соединений для измерения напряжения однополупериодного выпрямителя

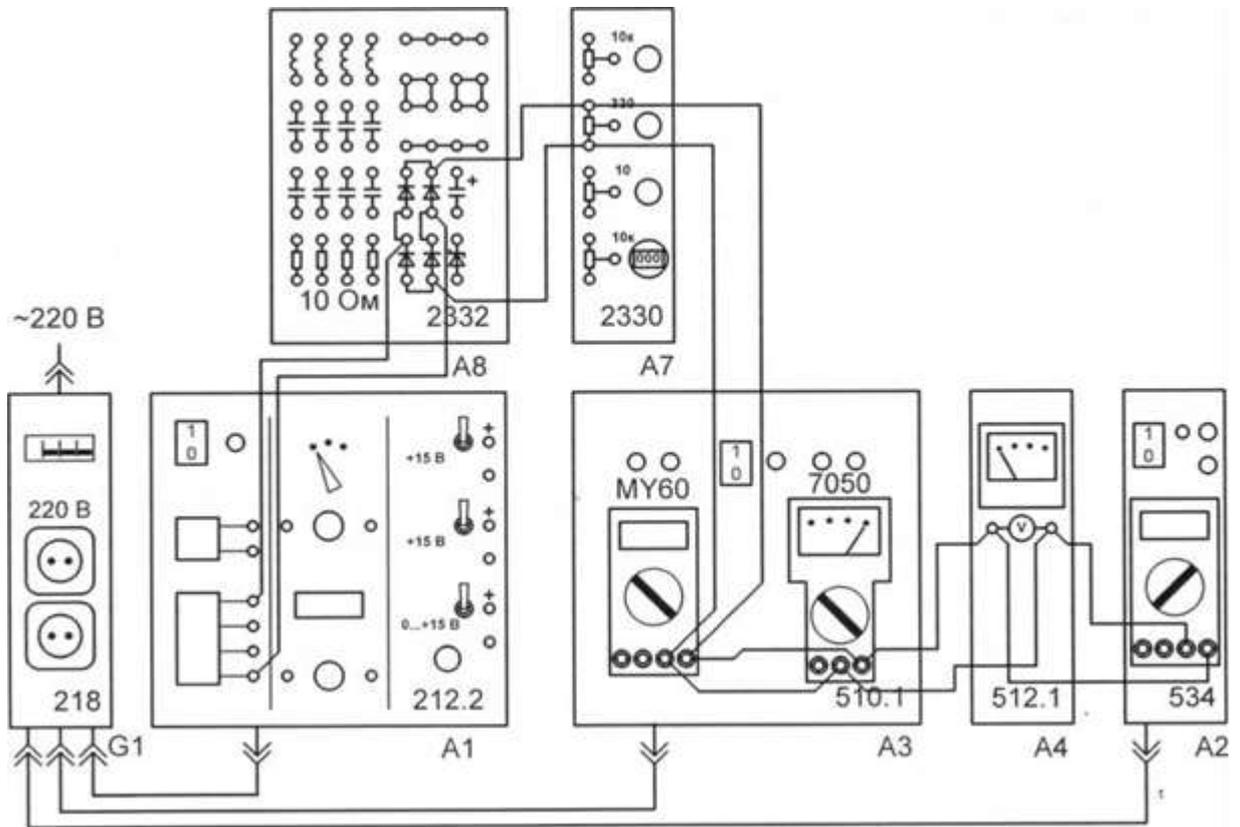


Рис. 3.5. Схема электрическая соединений для измерения напряжения двухполупериодного выпрямителя

## УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На некоторых лабораторных стендах установлены измерительные приборы, аналогичные указанным в описании.

### Подготовка цепи измерения напряжения

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений рис. 3.3, рис. 3.4 или рис. 3.5.
- При измерении импульсного напряжения (рис. 3.3) установите параметры «Генератора напряжений специальной формы» блока генераторов А1 (212.2):
  - переключатель «Форма» в положение однополярного импульсного напряжения;
  - минимальное выходное напряжение: ручка регулирования выходного напряжения «Амплитуда» повернута против часовой стрелки до упора;
  - минимальная частота (примерно 150...250 Гц). Ручка регулирования «Частота» повернута против часовой стрелки до упора.
- Переключатели пределов измерения мультиметров блоков А2 и А3 установите на предел измерения постоянного напряжения. Для мультиметров с ручным выбором пределов измерения (блок А3) установите пределы измерения не менее 20 В.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжения А1 и блоков мультиметров А2 и А3 и выключатели питания мультиметров.

### Измерение импульсного напряжения (схема рис. 3.3)

- Установить произвольную величину напряжения на выходе генератора напряжений специальной формы: ручку регулировки выходного напряжения («Амплитуда») повернуть по часовой стрелке. Рекомендуется устанавливать напряжение близкое к максимальному (амплитуда около 10 В).
- Произвести измерения напряжения. Для мультиметров выполнить измерения на пределах постоянного и переменного напряжения. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

**Мультиметром РС5000** (блок 534) измерить постоянную составляющую напряжения  $U_0$  (переключатель пределов в положении измерения

постоянного напряжения «V $\overline{\text{---}}$ », кнопкой «Select» выбран режим измерения постоянного напряжения);

- измерить полное действующее значение напряжения  $U$  с учетом постоянной и переменной составляющих (переключатель пределов в положении измерения постоянного напряжения «V $\overline{\text{---}}$ », кнопкой «Select» выбрать режим измерения полного действующего значения напряжения – значок  слева на индикаторе);
- измерить действующее значение переменной составляющей напряжения  $U_{\text{пер}}$  (переключатель пределов в положении измерения переменного напряжения «V $\sim$ », кнопкой «Select» выбрать режим измерения действующего значения напряжения – значок « $\sim$ » слева на индикаторе);

**Мультиметром МУ60** (блок 510.1) измерить постоянную составляющую напряжения  $U_0$ . Переключатель пределов установить в положение 20 В (или 2 В при низких напряжениях) в секторе постоянного напряжения «V $\overline{\text{---}}$ »;

- измерить переменную составляющую напряжения  $U_{\text{пер}}$ . Переключатель пределов установить в положение 20 В (или 2 В при низких напряжениях) в секторе переменного напряжения «V $\sim$ ».

**Мультиметром 7050** (блок 510.1) измерить постоянную составляющую напряжения  $U_0$ . Переключатель пределов установить в положение 25 В (или 2,5 В при низких напряжениях) в секторе постоянного напряжения «V $\overline{\text{---}}$ »;

- измерить переменную составляющую напряжения  $U_{\text{пер}}$ . Переключатель пределов установлен в положение 50 В (или 10 В при низких напряжениях) в секторе переменного напряжения «V $\sim$ ».

**Вольтметром Э42700** (блок А4) измерить полное действующее значение напряжения  $U$ . Измеряемое напряжение должно быть в пределах рабочего участка шкалы прибора (2...10 В). Данный прибор рассчитан на измерение напряжения с частотой 50 Гц, и при измерениях на частоте 150...250 Гц, будет иметь значительную дополнительную погрешность.

- Повторить указанные выше измерения напряжения для цепей рис. 3.4 и 3.5.
- По результатам измерений вычислить отношения показаний приборов на пределах измерения переменных напряжений к постоянной составляющей измеряемого напряжения и внести в табл. 3.2.

Результаты сравнить с теоретическими значениями из табл. 3.1.

**Внимание!** Если на вход мультиметра подано измеряемое напряжение запрещается устанавливать переключатель на лицевой панели мультиметра в положения за пределами секторов измерения постоянного и переменного напряжения. Ручное переключения пределов измерения напряжения с переменного на постоянное (и обратно) необходимо выполнять только вращением переключателя через положения переключателя, соответствующие большим пределам измерения напряжения, т.е. оставаясь в пределах секторов измерения напряжения.

Отношение показаний приборов к постоянной составляющей  
измеряемой величины

Таблица 3.2

| Тип прибора                   | Пределы измерения  | Форма напряжения (тока) |         |                       |         |                       |         |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
|                               |                    | Рис. 3.1 а              |         | Рис. 3.1 б            |         | Рис. 3.1 в            |         |
|                               |                    | Показания прибора $U$   | $U/U_0$ | Показания прибора $U$ | $U/U_0$ | Показания прибора $U$ | $U/U_0$ |
| PC5000 (блок 534)             | $U, I \text{ ---}$ |                         | 1       |                       | 1       |                       | 1       |
|                               | $U, I \sim$        |                         |         |                       |         |                       |         |
|                               | $U, I \text{ ---}$ |                         |         |                       |         |                       |         |
| MY60 (блок 510.1)             | $U, I \text{ ---}$ |                         |         |                       |         |                       |         |
|                               | $U, I \sim$        |                         |         |                       |         |                       |         |
| 7050 (блок 510.1)             | $U, I \text{ ---}$ |                         |         |                       |         |                       |         |
|                               | $U, I \sim$        |                         |         |                       |         |                       |         |
| Вольтметр Э42700 (блок 512.1) | 2...10 В           |                         |         |                       |         |                       |         |

В таблице приняты следующие обозначения:

$U$  – напряжение по показаниям индикатора прибора;

$U_0$  – постоянная составляющая измеряемого напряжения. Определяется показаниями мультиметра PC5000 на пределе измерения постоянного напряжения.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Является ли достоинством большое внутреннее сопротивление вольтметра?
2. Является ли достоинством большое внутреннее сопротивление амперметра?
3. На какое значение тока реагирует электромагнитный вольтметр?
4. На какое значение тока реагирует магнитоэлектрический вольтметр с выпрямителем?

5. На какое значение напряжения реагирует цифровой мультиметр МУ60?
6. На какое значение напряжения реагирует цифровой мультиметр РС 5000?
7. Как настроить цифровой мультиметр РС 5000 чтобы с его помощью измерить как постоянную, так и переменную составляющую напряжения?
8. Расскажите о цифровом мультиметре РС 5000.
9. Расскажите, как измерить ток с помощью аналогового мультиметра 7050?
10. Как выбирать предел измерения в многопредельном вольтметре?
11. Как определить среднее значение синусоидального тока по показаниям выпрямительного амперметра?