

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

раздел – электричество и магнетизм:
электрические измерения и приборы

Под редакцией Баширова Ф. И.

Дополнение к методическим указаниям по выполнению лабораторных работ
в лаборатории электромагнетизма кафедры общей физики.
Для естественных факультетов КГУ. Казань. 2010.

Издание второе, исправленное.

Составители первого издания, вышедшего в 1980 году:
Альтшулер Н.С., Байкова Р.А., Баширов Ф.И., Гайсин Н.К.,
Дружинин Г.А., Сайткулов И.Г., Федорова Н.И.

КАЗАНЬ – 2010

Аннотация

Настоящее руководство содержит сведения по электроизмерительным приборам и их применению в лабораторном практикуме. Описан принцип действия и даны инструкции по использованию электроизмерительных приборов со стрелочным, цифровым и визуальным отсчетом, нашедших широкое применение в учебных и научно-исследовательских лабораториях университета. Отражены характерные особенности лабораторных источников питания постоянного тока, генераторов электрических колебаний звукового и радиочастотного диапазона и пассивных вспомогательных приборов. В приложении приведен справочный материал.

Брошюра освобождена от излишней теоретизации. Основное внимание уделено практической стороне применения измерительной техники. Пособие является дополнением к методическим указаниям по выполнению лабораторных работ на кафедре общей физики, предусмотренных программой общего физического практикума биологического, геологического, физического, химического факультетов и факультета экологии и географии университета.

ВВЕДЕНИЕ

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Приборы, предназначенные для измерения электрических величин или параметров электрических цепей, называются электроизмерительными приборами (ИП). Они классифицируются по роду измеряемой величины, методу ее оценки и способу получения результата. Классификация по роду измеряемой величины представлена в виде таблицы.

| Измерительный прибор | Обозначение | Род измеряемой величины |
|--------------------------------------|---|---|
| 1. Амперметр | A | Сила тока |
| 2. Вольтметр | V | Напряжение |
| 3. Гальванометр | G | Малые величины силы тока, напряжения и количества электричества |
| 4. Ваттметр | W | Мощность |
| 5. Омметр | Ω | Сопротивление |
| 6. Счетчик | кВтч | Расход электроэнергии |
| 7. Частотомер | f | Частота периодического напряжения |
| 8. Измерительный мост и потенциометр | M | Сопротивление, емкость, индуктивность, добротность, напряжение, сила тока и др. |
| 9. Осциллограф |  | Визуальное наблюдение и измерение параметров сигналов |
| 10. Генератор | Г | Получение сигналов заданной формы |

По методу оценки измеряемой величины ИП подразделяются на приборы прямого действия и приборы сравнения. Приборами прямого действия называются ИП (амперметры, вольтметры и другие приборы со стрелочным или световым указателем), в которых измеряемая величина преобразуется в числовое значение измеряемой величины. К ним относятся, прежде всего, электромеханические приборы прямого действия, в которых электрическая величина (сила тока, напряжение и др.) преобразуется в механическую величину углового перемещения подвижной части измерительного механизма.

В приборах сравнения измерение осуществляется методом сравнения измеряемой величины с эталонным (калиброванным) значением этой величины. Измерительные мосты и потенциометры являются примерами таких ИП.

По способу получения результата выделяют аналоговые и цифровые ИП. В аналоговых ИП показания приборов являются непрерывными функциями измеряемых величин. К ним относится большинство показывающих приборов прямого действия. В цифровых ИП шкала с указателем отсутствует, и выходная величина имеет дискретную форму в виде числа. Индикация осуществляется на цифровом табло. Примерами служат цифровые измерительные универсальные мосты, вольтметры и частотомеры.

В зависимости от количества физических величин, которые можно измерить с помощью одного и того же прибора, различают простейшие электроизмерительные приборы и многофункциональные приборы. Простейшими ИП являются амперметр, вольтметр, ваттметр, гальванометр, омметр и счетчик. Электронно-счетный частотомер, измерительный мост, потенциометр, осциллограф и генератор относятся к многофункциональным приборам. Широкое распространение получили многофункциональные приборы носящие название мультиметр или тестер. Мультиметр можно использовать в качестве амперметра, вольтметра, омметра, термометра, измерителя параметров полупроводниковых диодов и триодов и т.д.

ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

§ 1. Основные характеристики приборов

Чтобы правильно пользоваться приборами следует ознакомиться с их характеристиками. Основные характеристики указываются на самом приборе. Полные сведения о приборе приводятся в паспорте к прибору.

Род тока

Прибор, который можно применять только в цепях постоянного тока, имеет обозначение "—". Прибор переменного тока имеет обозначение "~". Наконец, на приборах, применяемых в цепях постоянного и однофазного переменного тока, наносится обозначение "≈".

Внутреннее сопротивление

Простейший электроизмерительный прибор (амперметр или вольтметр) может быть использован как амперметр A или как вольтметр V . (Это утверждение не относится к приборам электростатической системы.) Выбор схемы включения зависит от соотношения между внутренним (собственным) сопротивлением прибора (r_A или r_V) и сопротивлением нагрузки (R_H). Прибор не должен вносить заметных искажений в распределение токов и напряжений, то есть он не должен влиять на режим работы электрической цепи в процессе измерения. Чтобы удовлетворить этому условию, **внутреннее сопротивление вольтметра r_V должно быть гораздо больше сопротивления нагрузки R_H ($r_V \gg R_H$) на котором измеряется падение напряжения U , а внутреннее сопротивление амперметра r_A — значительно меньше сопротивления нагрузки R_H ($r_A \ll R_H$), через которое протекает измеряемый ток I** (рис. 1.1).

К измерительному механизму (ИМ) амперметров и вольтметров подключают дополнительный резистор $r_{ш}$ или $r_{д}$. При включении дополнительного резистора (шунта) $r_{ш}$ параллельно к ИМ сопротивление прибора уменьшается. Преимущественно, такой прибор используется в качестве амперметра A . При включении дополнительного резистора $r_{д}$ (**добавочного сопротивления**) последовательно с ИМ сопротивление прибора возрастает. Чаще всего, такой

прибор используется в качестве вольтметра V . Дополнительный резистор $r_{ш}$ называется **шунтом**, а дополнительный резистор $r_{д}$ – **добавочным сопротивлением** прибора. Электрические схемы включения шунта $r_{ш}$ в амперметре и добавочного сопротивления $r_{д}$ в вольтметре показаны на рис. 1.1. Сопротивление измерительного механизма обозначено $r_{им}$.

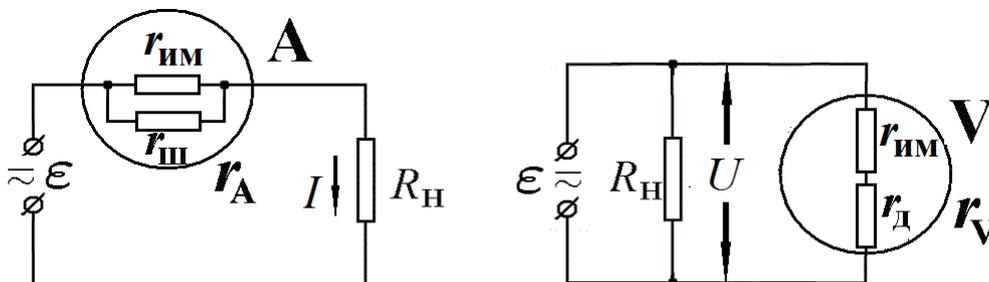


Рис. 1.1. Электрические схемы амперметра A , вольтметра V и их включения в для измерения силы тока I и напряжения U .

Пределы измерений

Приборы бывают однопредельные и многопредельные. Наибольшее допустимое значение измеряемой величины x_{max} однопредельного прибора называется его пределом измерения. Для многопредельного прибора имеется несколько пределов измерения. Выбор нужного предела измерения осуществляется при помощи переключателя пределов измерения или переносом соединительных проводов на другие клеммы прибора. При этом изменяется величина сопротивления шунта $r_{ш}$ амперметра или добавочного сопротивления $r_{д}$ вольтметра, находящегося внутри корпуса прибора (рис. 1.1). Для расширения заводских пределов измерения к амперметру подключают внешний шунт, а к вольтметру внешнее добавочное сопротивление.

Пробивное напряжение изоляции

Параметр пробивное напряжение – это наибольшее допустимое постоянное напряжение, при котором может находиться измерительный механизм прибора (любая измерительная клемма) по отношению к его корпусу при проведении измерений с помощью данного прибора. Превышение указанного напряжения может привести к порче прибора.

Внимание! Напряжение, равное или близкое по значению к пробивному напряжению, нельзя подавать на клеммы прибора.

Чувствительность и цена деления

Чувствительностью прибора называется абсолютное значение изменения показания прибора " s ", соответствующее приращению измеряемой величины на единицу. Чувствительностью прибора определяется его пригодность для измерения малых значений измеряемой величины. Чувствительность " s " численно равна отношению бесконечно малого приращения показания отсчетного

устройства $d\alpha$, выраженного в числах делений шкалы, к бесконечно малому изменению измеряемой величины dx :

$$s = \frac{d\alpha}{dx} \left(\frac{\text{дел}}{\text{В}}, \frac{\text{дел}}{\text{А}}, \frac{\text{дел}}{\text{Вт}}, \frac{\text{дел}}{\text{мВ}}, \frac{\text{дел}}{\text{мА}}, \frac{\text{дел}}{\text{мВт}} \text{ и т.д.} \right).$$

Цена деления или постоянная прибора "С" соответствует абсолютному значению измеряемой величины, приходящемуся на одно деление шкалы, и она является величиной, обратной чувствительности "s":

$$C = s^{-1} = \frac{dx}{d\alpha} \left(\frac{\text{В}}{\text{дел}}, \frac{\text{А}}{\text{дел}}, \frac{\text{Вт}}{\text{дел}} \text{ или } \frac{\text{мВ}}{\text{дел}}, \frac{\text{мА}}{\text{дел}}, \frac{\text{мВт}}{\text{дел}} \text{ и т.д.} \right).$$

Класс точности

В зависимости от принципа действия, конструктивных особенностей и назначения электроизмерительные приборы обеспечивают не одинаковую точность измерений. Для оценки точности принято пользоваться понятиями: приборные абсолютная и относительная погрешности. Абсолютная погрешность Δ (абсолютное значение отклонения результата отдельного измерения от его среднего значения) большинства приборов с линейной шкалой и цифровых приборов для данного предела измерения остается величиной постоянной и зависит только от конструктивных особенностей самого прибора. Относительная погрешность прибора δ , определяемая как отношение абсолютной погрешности Δ к среднему значению измеряемой величины x , имеет различные значения в различных частях шкалы: в начале шкалы она больше, а в конце шкалы – меньше. Поэтому при измерениях рекомендуется, по возможности, пользоваться конечной частью шкалы, то есть ее второй половиной. Если указатель прибора устанавливается на верхнем пределе шкалы, то данному измерению соответствует наибольшая точность.

Отношение абсолютной погрешности Δ к верхнему пределу измерений x_{\max} называется приведенной погрешностью. Приведенную погрешность, как и любую относительную погрешность, принято выражать в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\max}} \cdot 100\% .$$

Промышленностью выпускаются приборы, приведенные погрешности которых находятся в интервале значений от 0,02% до 4%. В зависимости от значения приведенной погрешности приборы относятся к различным классам точности. Например, если приведенная погрешность прибора равна 0,02 %, то его класс точности составляет 0,02. Стандартные значения класса точности показывающих приборов равны: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,5 и 4,0. Приборы, класс точности которых составляет 0,02 и выше, относятся к так называемым образцовым электроизмерительным приборам. Они используются для **поверки** обычных ИП (соответствия прибора его паспортным данным) и для проведения особо точных измерений.

Запись результата измерения с учетом погрешности прибора:

- 1) запомнить (или записать) значения предела измерения x_{\max} и класса точности δ прибора,
- 2) запомнить (или записать) отсчет измерения x по шкале прибора,
- 3) рассчитать результат по формуле $x_{\text{рез}} = x \pm \delta \cdot x_{\max}/100$ и представить его в численном виде.

Обозначения, наносимые на шкалу прибора

На шкалу электроизмерительного прибора (ЭП) могут наноситься, как правило, следующие обозначения:

- тип прибора (A, V, Ω , W и т.д.),
- символ системы (\square , \boxtimes , \boxplus , Υ и т.д.),
- род тока ($-$, \sim , \approx),
- класс точности (0,02; 0,05; 0,1 и т.д.),
- величина внутреннего сопротивления (10 Ом, 10 Ω или 20 кОм и т.п.),
- пробивное напряжение изоляции $\star\star$, \star 2кВ или \downarrow 2кВ,
- рабочее положение: (\uparrow или \perp – вертикальное, \rightarrow или \square – горизонтальное).
- защищенность ИМ от внешних электрических \square или магнитных \square полей.

В качестве примера нанесения обозначений на ИП на рис. 1.2 изображена шкала миллиамперметра магнитоэлектрической системы.

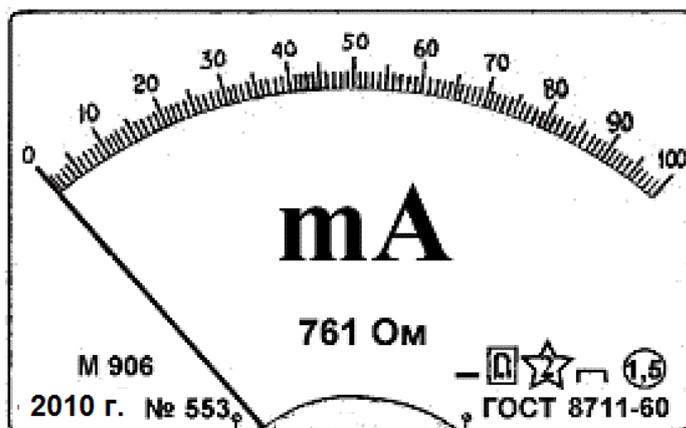


Рис. 1.2. Шкала миллиамперметра магнитоэлектрической системы

§ 2. Принцип работы приборов прямого действия

Главной частью электромеханического прибора является измерительный механизм ИМ. В нем осуществляется преобразование измеряемой электрической величины x (силы тока или напряжения) в механическую величину α (например, угол поворота). По способу преобразования электрической величины в механическую выделяют ИП следующих систем: магнитоэлектрическая

() , электромагнитная , электродинамическая , ферродинамическая , электростатическая , индукционная , термоэлектрическая , выпрямительная , электронная , и тепловая  . От принадлежности прибора к определенной системе зависит его конструкция.

Приборы магнитоэлектрической системы

Приборы этой системы основаны на действии магнитного поля постоянного магнита на магнитный момент подвижной катушки с током. Магнитная цепь состоит из подковообразного магнита 1 с двумя полюсными наконечниками 2 и цилиндра 3 из мягкой стали (рис. 1.3). В цилиндрическом зазоре малой толщины между наконечниками и цилиндром создается магнитное поле, вектор индукции которого направлен по радиусу зазора. Ось вращения катушки 4 находится в плоскости ее витков и совпадает с осью цилиндра 3. При прохождении постоянного тока по виткам катушки на нее действует момент сил M_ϕ (вращающий момент), модуль которого равен:

$$M_\phi = I B S N \sin \varphi,$$

где I – сила тока, S – площадь одного витка, N – число витков катушки, B – модуль индукции магнитного поля, а φ – угол между направлением силовых линий магнитного поля и нормалью к плоскости витков катушки, который вследствие радиальности магнитного поля при любой ориентации α катушки составляет угол $\varphi = 90^\circ$. Поэтому момент M_ϕ не зависит от углового положения катушки. Действие момента сил трения не учитывается из-за их малости по сравнению с вращательным моментом. При отсутствии сопротивления движению катушки она стала бы совершать непрерывное вращение. Сопротивление движению катушки оказывает противодействующий момент сил $M_d = D\alpha$, где α – угол поворота катушки из начального положения. Он создается искусственно спиральной пружиной 7. Рамка останавливается, когда моменты сил M_d и M_ϕ уравновешивают друг друга. Из этого условия следует:

$$\alpha = (B S N / D) \cdot I$$

то есть угол поворота катушки α прямо пропорционален силе измеряемого тока I . Поэтому шкала у этих приборов – равномерная. Величиной

$$s = \alpha / I = (B S N / D)$$

определяется чувствительность прибора. Направление отклонения катушки 4 и стрелки 5 прибора, прикрепленной к оси катушки, зависит от направления тока.

Катушка наматывается тонким изолированным проводом на короткозамкнутом алюминиевом каркасе. При повороте каркаса с катушкой в магнитном поле в каркасе возникает индукционный ток, приводящий к электромагнитному торможению каркаса, а вместе с ним и катушки. Ее движение – аperiodическое.

Достоинства приборов магнитоэлектрической системы – высокая точность и чувствительность, линейность шкалы, малое потребление энергии. Недостатки – относительно высокая стоимость, чувствительность к перегрузкам и непригодность для цепей переменного тока. Такие приборы используются в качестве амперметров, вольтметров и гальванометров.

В гальванометрах противодействующий момент создается упругой тонкой нитью, на которой подвешена легкая катушка. Возвратная пружинка отсутствует. Нет также алюминиевого каркаса. Поэтому гальванометры обладают повышенной чувствительностью. К положению равновесия подвижная часть ИМ приближается, совершая затухающие колебания. Для успокоения колебаний ИМ применяется внешний ключ замыкания цепи катушки в моменты ее возвращения к положению равновесия.

Электромагнитные приборы

Механизм этой системы (рис. 1.4) состоит из неподвижной катушки 1, внутри которой находится эксцентрично укрепленная пластинка 4 из мягкой стали. Измеряемый ток, протекающий по виткам катушки, намагничивает пластинку, и пластинка втягивается в катушку. Демпфирование колебаний пластинки осуществляется при помощи воздушного успокоителя 7.

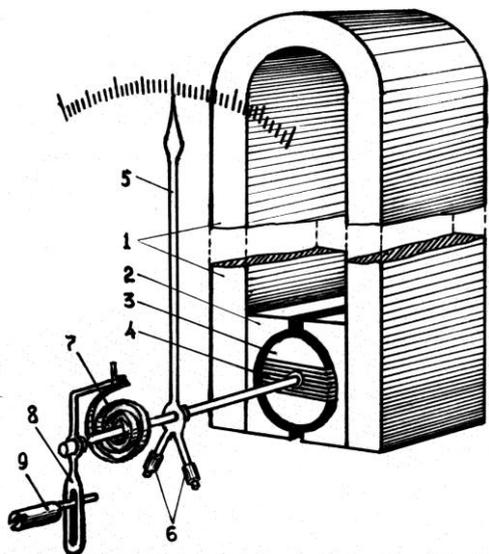


Рис. 1.3. Схема измерительного механизма магнитоэлектрического прибора.

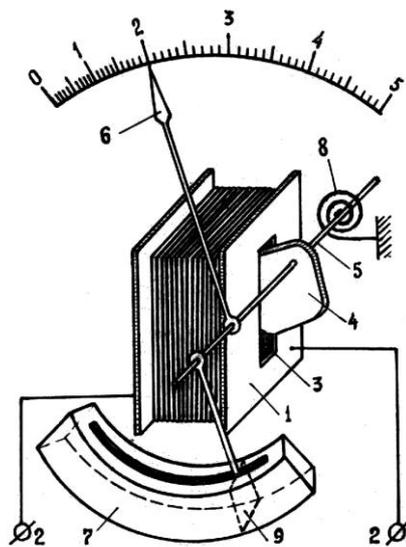


Рис. 1.4. Схема измерительного механизма прибора электромагнитной системы.

Достоинства электромагнитных приборов – простота конструкции, способность выдерживать большие перегрузки, пригодность для постоянных и переменных токов, невысокая стоимость. Недостатки – неравномерность шкалы, малая чувствительность, влияние внешних магнитных полей на показания. Для защиты приборов от внешних магнитных полей катушку 1 окружают стальным экраном (на рисунке экран не показан).

В так называемых астатических электромагнитных приборах ИМ состоит из двух одинаковых стальных пластин, прикрепленных к одной оси с разных сторон, и двух катушек, расположенных также по разные стороны от оси подвижной части. Обмотки катушек соединены последовательно. При пропускании тока через прибор сердечники втягиваются в катушки и обеспечивают односторонний поворот оси подвижной части. **Во внешнем магнитном поле вращающие моменты, действующие на катушки, компенсируют друг друга. Поэтому магнитное поле не влияет на показания астатического ИП.**

Приборы электродинамической системы

В приборах этой системы (рис. 1.5) легкая подвижная катушка K_1 с указателем помещается внутри неподвижной катушки K_2 . Принцип действия основан на взаимодействии магнитных моментов катушек, по которым течет измеряемый ток. Угол отклонения подвижной катушки пропорционален произведению сил токов, протекающих по катушкам. Обмотки катушек соединены последовательно в вольтметре, параллельно в амперметре и подключаются к разным цепям в ваттметре (рис. 1.7).

Достоинства электродинамических приборов – большая точность, пригодность, для измерения постоянных и переменных токов, а недостатки – неравномерная шкала, чувствительность к перегрузкам, влияние внешних магнитных полей и высокая стоимость.

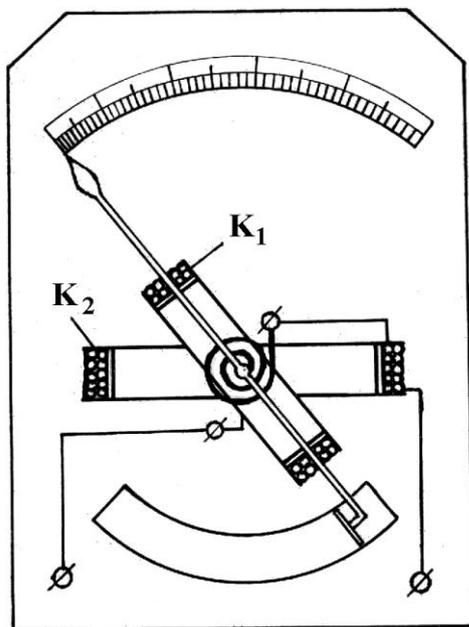


Рис. 1.5. Схема измерительного механизма электродинамического прибора

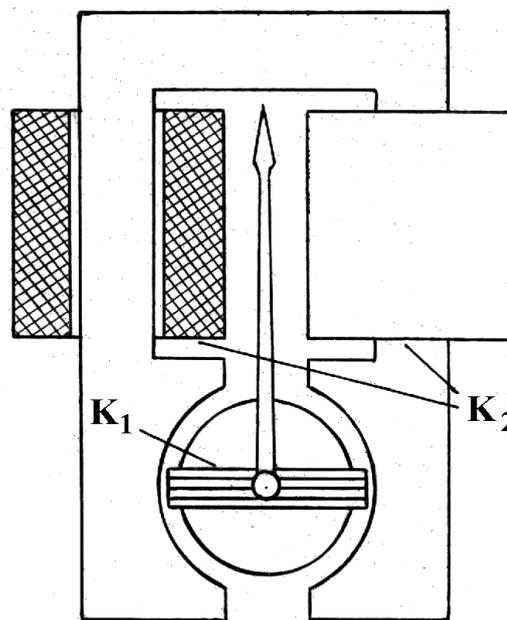


Рис. 1.6. Схема измерительного механизма ферродинамического прибора

Приборы ферродинамической системы

Подвижная катушка K_1 помещена в зазор электромагнита в приборах ферродинамической системы (рис. 1.6). При протекании электрического тока

по обмоткам подвижной катушки K_1 и катушки электромагнита K_2 катушка K_1 поворачивается. Причиной поворота является взаимодействие магнитного момента катушки K_1 с магнитным полем электромагнита K_2 . Ферродинамические приборы используются, главным образом, в качестве щитовых амперметров, вольтметров и ваттметров. Они отличаются большой чувствительностью, независимостью показаний от внешних магнитных полей и меньшей точностью по сравнению с электродинамическими приборами. Схемы различных вариантов подключения измерительного механизма показаны на рис. 1.7.

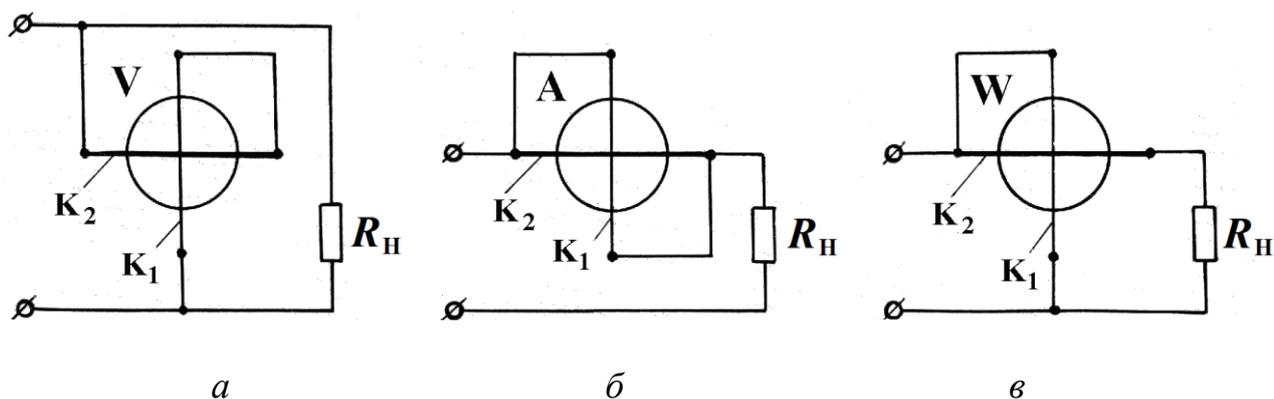


Рис. 1.7. Соединение катушек электродинамического и ферродинамического приборов в вольтметре "а", амперметре "б" и ваттметре "в"

Приборы электростатической системы

Принцип действия электростатических приборов основан на взаимодействии двух или нескольких электрически заряженных проводников (рис. 1.8). Отличительное свойство и главное преимущество этих приборов: ничтожное потребление энергии в цепях переменного тока и отсутствие потребления в цепях постоянного тока. Они чувствительны к внешним электростатическим полям и не чувствительны к магнитным полям. Основное их применение — в цепях с маломощными источниками высокого напряжения в качестве вольтметров.

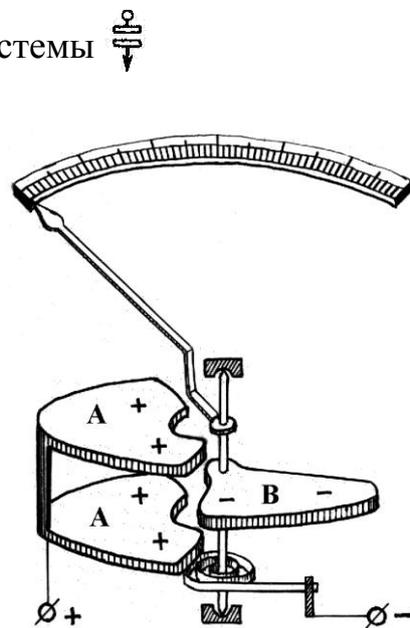


Рис. 1.8. Электростатический измерительный механизм

ГЛАВА 2. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Конструктивно каждый однопредельный электроизмерительный прибор позволяет проводить измерения в пределах, не превышающих максимально допустимой для данного прибора измеряемой величины. Для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров к ним подключают внешние вспомогательные приборы – шунты и добавочные сопротивления. Для регулирования силы тока и напряжения в электрических цепях используются переменные сопротивления (реостаты, потенциометры, магазины сопротивлений) и трансформаторы.

§ 1. Шунты и добавочные сопротивления

Шунтом (рис. 2.1) называется резистор $r_{ш}$ включаемый параллельно к амперметру (миллиамперметру или микроамперметру). При этом через амперметр протекает часть измеряемого тока, а другая часть – через шунт. Например, если необходимо измерить амперметром силу тока I в n раз больше допустимого I_A , то сопротивление шунта рассчитывается по формуле:

$$r_{ш} = \frac{r_A}{n-1},$$

где r_A – внутреннее сопротивление амперметра. Следовательно, чтобы измерить данным амперметром в n раз больший ток, сопротивление шунта должно быть в $(n - 1)$ раз меньше внутреннего сопротивления амперметра r_A .

Добавочным сопротивлением (рис. 2.2) называется резистор r_d , включаемый в электрическую цепь последовательно с вольтметром (милливольтметром или микровольтметром). При этом на вольтметре падает лишь часть измеряемого напряжения, а другая часть – на добавочном сопротивлении. Добавочное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$r_d = r_V(n-1)$$

где n – число, показывающее во сколько раз увеличивается цена деления вольтметра, r_V – внутреннее сопротивление вольтметра. Следовательно, чтобы измерить данным вольтметром в n раз большее напряжение, добавочное сопротивление должно быть в $(n - 1)$ раз больше внутреннего сопротивления вольтметра r_V .

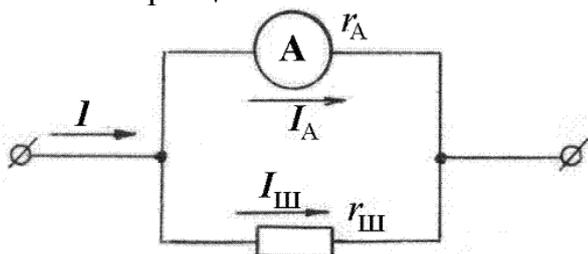


Рис. 2.1. Схема включения шунта к амперметру

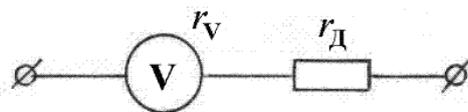


Рис. 2.2. Схема включения добавочного сопротивления к вольтметру

§ 2. Реостаты, потенциометры и магазины сопротивлений

Реостатом называется резистор R , снабженный дополнительным подвижным контактом. В зависимости от назначения реостаты имеют различные виды и форму. Большое применение получили реостаты со скользящим контактом. Эти реостаты состоят из керамического цилиндра, на который намотана проволока (или лента) с большим удельным сопротивлением, изготовленная из сплава металлов (нихром, константан, манганин и др.). С поверхностью проводника связан подвижный контакт-ползунок. Реостат включается в электрическую цепь последовательно с сопротивлением нагрузки, как показано на рис. 2.3. Изменяя сопротивление реостата R на участке ac путем перемещения ползунка c , добиваются подходящего значения силы тока в нагрузочном сопротивлении R_H . В лабораторной практике часто употребляются термины "реостат введен" и "реостат выведен". Эти термины связаны с положением ползунка. Если ползунок установлен в крайнем левом положении, т.е. сопротивление рабочей части реостата равно нулю, то говорят, что "реостат выведен". При установлении ползунка в некотором промежуточном положении говорят, что "реостат введен".

Реостат, включенный в электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 2.4, называется потенциометром. В этом случае, он служит для изменения напряжения на нагрузочном сопротивлении R_H , т.к. потенциал на контакте ползунка c пропорционален сопротивлению участка цепи $c-b$. При использовании реостата в качестве потенциометра следует помнить, что его полное сопротивление между точками a и b должно быть значительно меньше сопротивления нагрузки R_H . В противном случае возрастает выходное сопротивление источника тока, что может внести искажения в работу электрической цепи (особенно, на переменном токе).

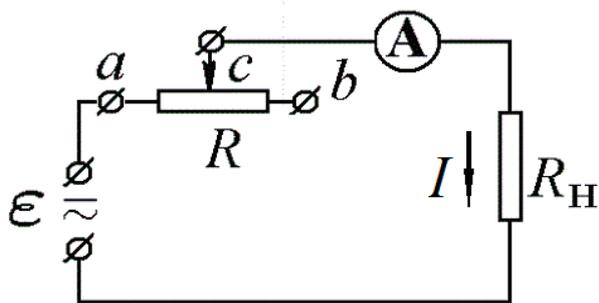


Рис. 2.3. Схема включения реостата

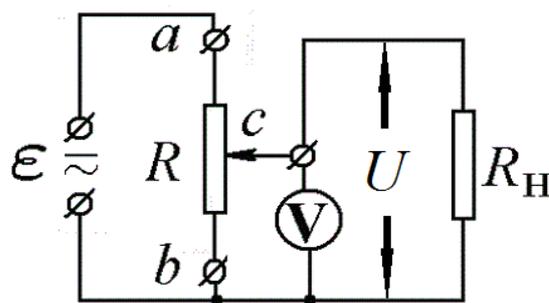
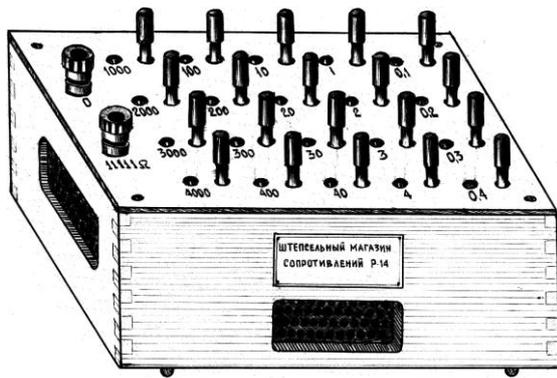
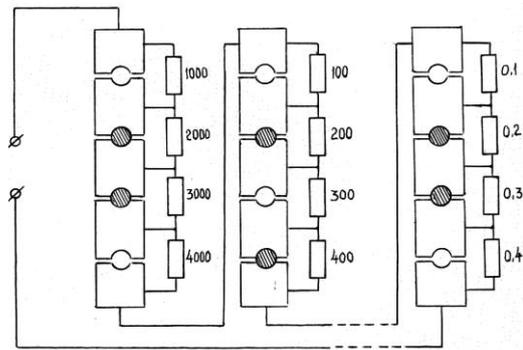


Рис. 2.4. Схема включения потенциометра

Набор эталонных резисторов, представляющих собой катушки проволочных сопротивлений, называется магазином сопротивлений. Катушки набора помещаются в особый ящик. Установленное на штепсельном магазине сопротивление (рис. 2.5) определяется как сумма сопротивлений, указанных около гнезд, из которых вынуты замыкающие штепсели. Сопротивление рычажного (курбельного) магазина (рис. 2.6) является суммой сопротивлений, фиксируемых при помощи каждого переключателя.

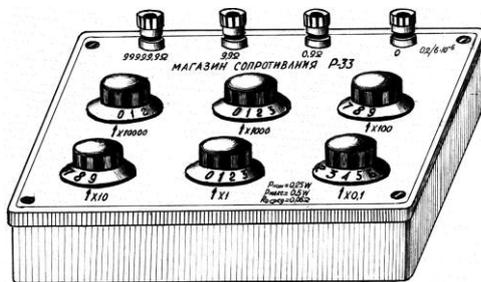


а

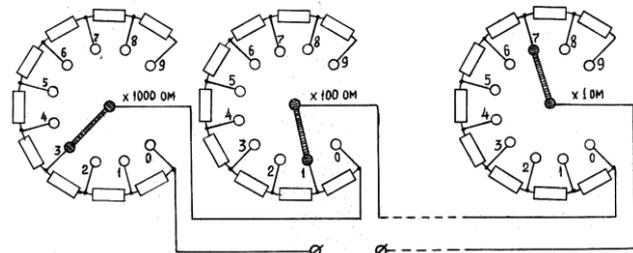


б

Рис. 2.5. Штепсельный магазин сопротивлений Р-14: а – внешний вид, б – схема внутренних соединений.



а



б

Рис. 2.6. Рычажный (курбельный) магазин сопротивлений Р-33: а – внешний вид, б – схема внутренних соединений.

§ 3. Трансформаторы

Электрическим трансформатором (Тр) называется прибор, предназначенный для преобразования напряжения и силы тока без изменения частоты в цепях переменного тока. Трансформатор состоит из магнитно-мягкого сердечника и намотанных на него двух или более обмоток из медного провода. В лаборатории трансформаторы применяются, как правило, для преобразования сетевого переменного напряжения ~ 220 В в более низкое напряжение, вплоть до 6 В и ниже. Входной обмоткой трансформатора является обмотка, к которой подводится переменное напряжение сети $\sim U_1$ (рис. 2.7). Эта обмотка называется первичной. С других (вторичных) обмоток снимается трансформированное напряжение $\sim U_2$. Коэффициент трансформации (степень преобразования) трансформатора равен отношению входного напряжения к выходному, может быть вычислен приближенно как отношение чисел витков первичной и вторичной обмоток:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Для повышающих трансформаторов $k < 1$, а для понижающих $k > 1$.

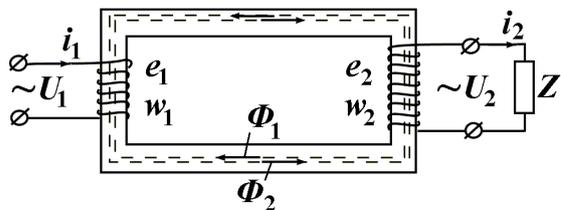


Рис. 2.7. Схема трансформатора напряжения.

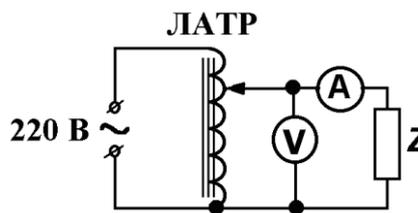


Рис. 2.8. Схема включения лабораторного автотрансформатора

Трансформаторы, в которых вторичная обмотка является частью первичной (или наоборот), называются автотрансформаторами. Так называемые лабораторные автотрансформаторы (сокращенно ЛАТР) применяются для получения регулируемого переменного напряжения. Схема включения ЛАТРа приведена на рис. 2.8.

Выходное напряжение регулируется при помощи подвижного контакта-ползунка (как в потенциометре), перемещающегося по виткам обмотки ЛАТРа (рис. 2.9).

Внимание. Трансформаторы и автотрансформаторы категорически запрещается включать в цепь постоянного тока!

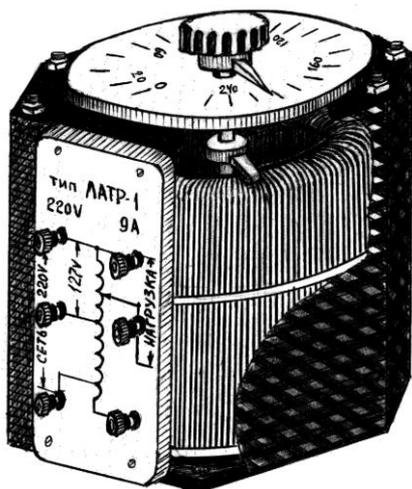


Рис. 2.9. Внешний вид лабораторного автотрансформатора – ЛАТР.

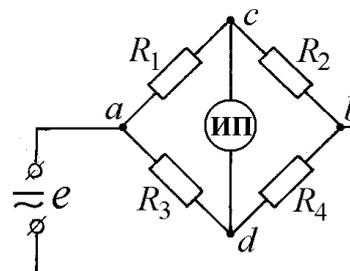


Рис. 3.1. Схема четырех плечевого моста на сопротивлениях

ГЛАВА 3 ПРИБОРЫ СРАВНЕНИЯ

Приборы сравнения предназначены для точных измерений в цепях постоянного и переменного тока. Они используются в подавляющем большинстве установок для измерения неэлектрических величин и подразделяются на мосты и потенциометры, действующие в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режиме.

§ 1. Принцип действия измерительных мостов

Простейший мост состоит из четырех плеч, содержащих сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 и двух диагональных ветвей с измерительным прибором ИП и

источником питания e (рис. 3.1). В зависимости от рода тока, создаваемого источником e , мост называется мостом постоянного или переменного тока.

При неравенстве потенциалов узлов c и d прибор ИП регистрирует наличие тока. Изменяя сопротивления плеч моста, можно получить режим, при котором сила тока через ИП равна нулю. Такое состояние мостовой цепи называется "уравновешенным". В этом случае выполняется равенство:

$$R_1/R_3 = R_2/R_4,$$

которое называется уравнением равновесия моста. На основе этого уравнения искомое сопротивление $R_x = R_1$ (при включении объекта измерения в плечо ac) вычисляется по формуле:

$$R_x = R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}.$$

Для измерения индуктивностей и емкостей применяют, главным образом, мосты переменного тока. Расчетные формулы этих мостов даются соответственно соотношениями

$$L_x = C_0 R_2 R_3 \quad \text{и} \quad C_x = C_0 \frac{R_4}{R_3}.$$

Отличительной особенностью схем, предназначенных для измерения индуктивности и емкости, является то, что в отдельных плечах этих мостов помещены индуктивность L_x и емкость C_0 (рис. 3.2) или две емкости C_x и C_0 (рис. 3.3). Дополнительная емкость C_0 необходима для компенсации фазовых сдвигов, возникающих при работе моста на переменном токе.

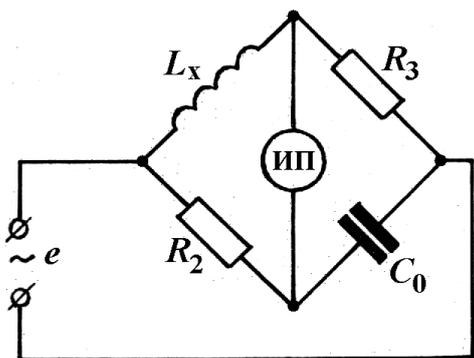


Рис. 3.2. Схема моста, предназначенного для измерения индуктивности

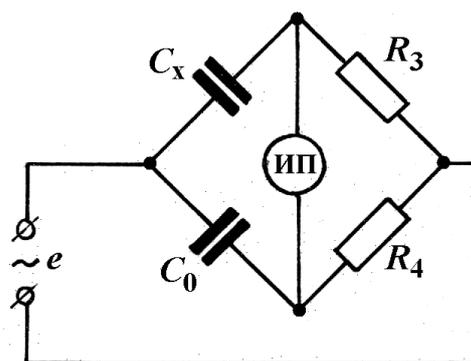


Рис. 3.3. Схема моста, предназначенного для измерения емкости

§ 2. Мост универсальный Е7-4

Универсальный мост Е7-4 предназначен для измерения сопротивления R , емкости C , индуктивности L , добротности Q и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$ элементов электрических цепей. Диапазон измеряемых прибором величин приводится в таблице:

| $R, \text{ Ом}$ | $C, \text{ пФ}$ | $L, \text{ Гн}$ | Q | $\text{tg}\delta_C$ | $\text{tg}\delta_L$ |
|------------------|-----------------|------------------|--------|---------------------|---------------------|
| $10^{-1} - 10^7$ | $10 - 10^8$ | $10^{-5} - 10^2$ | 1 - 30 | 0,005 - 0,1 | 0,01 - 0,033 |

Основные органы управления расположены на передней панели (рис. 3.4). Их назначение следующее:

- тумблер "СЕТЬ" – включение прибора,
- ручка ступенчатого переключателя "ОТСЧЕТ", находящаяся под окном с числами отсчета от 0 до 10, предназначена для грубой настройки моста,
- ручка переменного резистора "ОТСЧЕТ", расположенная под окном с числами отсчета от 0 до 1, служит для плавной настройки моста,
- ручка переключателя поддиапазонов "МНОЖИТЕЛЬ", расположенная под таблицей с множителями для поддиапазонов, является указателем множителя отсчета,
- ручка "C, L, ~R, -R" – переключатель измерительных мостов,
- ручка "tgδ, Q" – переключатель отсчетных шкал,
- ручка переменного резистора "ФАЗА", расположенная под окном со шкалами "tgδ, Q" – балансировка фазы при измерении L и C ,
- ручка "ЧАСТОТА Hz" – переключатель частоты генератора,
- ручка "ЧУВСТВИТ. ИНДИКАТОРА" – для изменения чувствительности индикатора моста (точности равновесия),
- зажимы "С-L-R" – для подключения измеряемого объекта,
- измерительный прибор "μA" – индикатор равновесия моста.

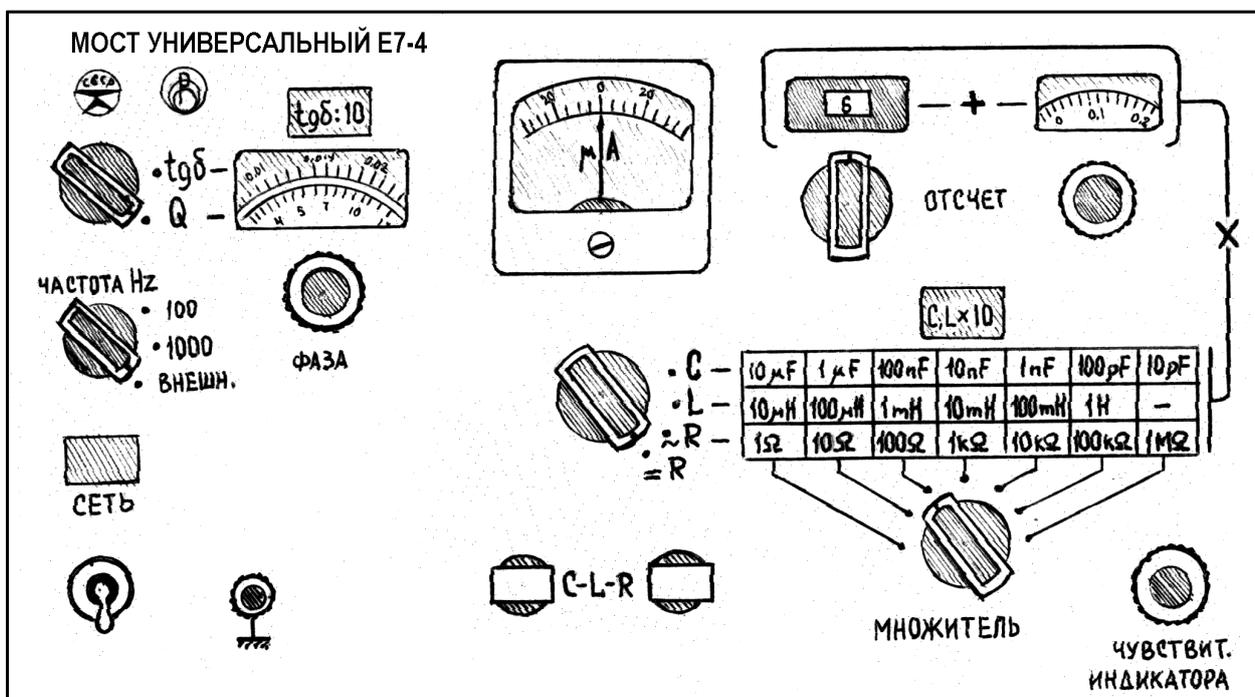


Рис. 3.4. Передняя панель универсального моста E7-4.

Подготовка прибора к измерениям

Включить вилку шнура в сеть переменного тока напряжением ~ 220 В. Ручку "ВЫХ. НАПР. ГЕНЕРАТОРА", находящуюся на задней панели моста, установить в правое положение.

Измерение сопротивлений

Измеряемое сопротивление R_x подключить к зажимам "С-R". Переключатель "С, L, $\sim R$, $-R$ " установить в положение " $-R$ " или " $\sim R$ " соответственно для измерений на постоянном или переменном токе.

Переключатель "ЧАСТОТА Hz" при измерении на переменном токе поставить в положение "100". Включить мост при помощи тумблера "СЕТЬ". Ручкой "ЧУВСТВИТ. ИНДИКАТОРА" установить стрелку индикатора " μA " в пределах $2/3$ шкалы. Ручкой переключателя "МНОЖИТЕЛЬ", а затем ручками грубой и плавной балансировки моста с надписью "ОТСЧЕТ", добиться наименьшего показания индикатора. Увеличить чувствительность индикатора до максимума и повторить балансировку моста.

Измеряемая величина сопротивления равна сумме отсчетов по двум шкалам "ОТСЧЕТ", умноженной на показания переключателя "МНОЖИТЕЛЬ".

Измерение емкости конденсатора

Измеряемую емкость C подключить к зажимам "С-L-R". Переключатель "С-L-R" установить в положение "С". Переключатель " $tg\delta, Q$ " – в положение " $tg\delta$ ". Переключатель "ЧАСТОТА Hz" – в положение "1000" для значений емкости в пределах 10 пФ – 10 мкФ и в положение "100" для емкостей 10 мкФ – 100 мкФ.

Ручками "ЧУВСТВИТ. ИНДИКАТОРА", "МНОЖИТЕЛЬ", "ОТСЧЕТ" и "ФАЗА" добиться наименьшего показания индикатора равновесия " μA " при максимальной чувствительности моста.

Измеряемая величина емкости C_x равна сумме отсчетов по шкалам "ОТСЧЕТ", умноженной на показания переключателя "МНОЖИТЕЛЬ". Измеренная величина тангенса угла потерь отсчитывается непосредственно по шкале " $tg\delta$ ". При измерениях на частоте 100 Гц отсчет емкости умножить на 10. При измерении емкости в диапазоне $10 - 10^2$ пФ отсчет поделить на 10.

Измерение индуктивности проводников

Измеряемую индуктивность подключить к зажимам "С-L-R". Переключатель "С-L-R" установить в положение "L". Переключатель " $tg\delta, Q$ " – в положение " Q " для катушек с добротностью $Q < 30$ и " $tg\delta$ " для катушек с добротностью $Q > 30$. Переключатель "ЧАСТОТА" – в положение "1000" для индуктивностей 10 мкГн – 1 Гн и в положение "100" для индуктивностей 1 Гн – 100 Гн. Ручками "ЧУВСТВИТ. ИНДИКАТОРА", "МНОЖИТЕЛЬ", "ОТСЧЕТ" и "ФАЗА" добиться наименьшего показания индикатора равновесия " μA " при максимальной чувствительности моста.

Величина индуктивности равна сумме отсчетов по шкалам "ОТСЧЕТ", умноженной на показания переключателя "МНОЖИТЕЛЬ". При измерениях на частоте 100 Гц отсчет дополнительно умножить на 10. Отсчет добротности

произвести по шкале " Q " для $Q < 30$, а для $Q > 30$ – по шкале " $\text{tg}\delta$ " и вычислить Q по формуле:

$$Q = 1 / \text{tg}\delta.$$

ГЛАВА 4. ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) автоматически преобразуют измеряемую величину в дискретную форму, подвергают ее цифровому кодированию и выдают результат измерения в виде числа, появляющегося на отсчетном устройстве. **По сравнению с аналоговыми приборами ЦИП имеют ряд достоинств: объективность, удобство отсчета и регистрации результатов измерения; высокая точность измерения (до 0,001 %) при широком диапазоне измеряемых величин; высокое быстродействие, полная автоматизация процесса измерения, возможность непосредственного сочетания с ЭВМ.**

Недостатками ЦИП можно считать их относительную сложность и высокую стоимость.

Цифровые измерительные приборы применяются для измерения напряжения постоянного и переменного токов, частоты, фазы, сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, длительности процессов и других физических величин.

§ 1. Частотомер электронно-счетный ЧЗ-34

Частотомер 43-34 предназначен для измерения частоты и периода переменных электрических сигналов в диапазоне частот от 10 Гц до 120 МГц, временных интервалов между импульсными сигналами от 0,1 мкс до 100 с, длительностей импульсов в пределах 1 мкс – 100 с, отношения частот периодических сигналов от 1 до 10^9 . Динамический диапазон входных напряжений составляет: 0,1 В – 4 В.

Принцип действия частотомера основан на подсчете числа периодов переменного напряжения неизвестной частоты за известный отрезок времени. При времени измерения "1 с" количество подсчитанных периодов равно значению измеряемой частоты.

При измерении периода или временных интервалов время измерения равно измеряемому периоду или временному интервалу, в течение которого подсчитывается число колебаний, создаваемых генератором опорной частоты.

При измерении отношения частот время измерения равно периоду нижней из сравниваемых частот: в течение этого времени подсчитывается количество колебаний высшей из сравниваемых частот.

Органы управления и их назначение (рис. 3.1).

Тумблеры "СЕТЬ" и "" – включение прибора и термостата кварцевого генератора.

Тумблер "☞☺" – для выбора ручного или автоматического режима работы прибора.

Кнопка "ПУСК" – для запуска от руки однократного цикла измерения.

Ручка потенциометра "ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ" – для выбора времени отображения результата измерения.

Индикатор – световой цифровой девятиразрядный.

Переключатель "МЕТКИ ВРЕМЕНИ" – для выбора частоты заполнения при измерении периода, интервалов времени и длительности импульса.

Переключатель "ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ" – "МНОЖИТЕЛЬ ПЕРИОДА" – для выбора времени измерения. При измерении периода переключателем выбирается требуемый коэффициент умножения периода входного сигнала.

Переключатель "РОД РАБОТЫ" – выбор вида измеряемой величины (частота, период и т.д.).

Гнездо "☞А", аттенюатор "1:1, 1:0, 1:100" и переключатель характера входного сигнала "☐~☐" используются при измерениях по входу "А".

Гнездо "☞Б" – вход "Б".

На панели блока интервалов времени расположены:

- гнезда "☞В" и "☞Г" – входы "В" и "Г",
- тумблер "РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕСТНО" выполняет функцию разделения или объединения входов "В" и "Г".
- тумблеры "☐☐", ступенчатые аттенюаторы "1:1, 1:3, 1:10 и т.д." и ручки "УРОВЕНЬ" предназначены для выбора полярности, ослабления входных сигналов и уровня сигнала запуска по входам "В" и "Г".

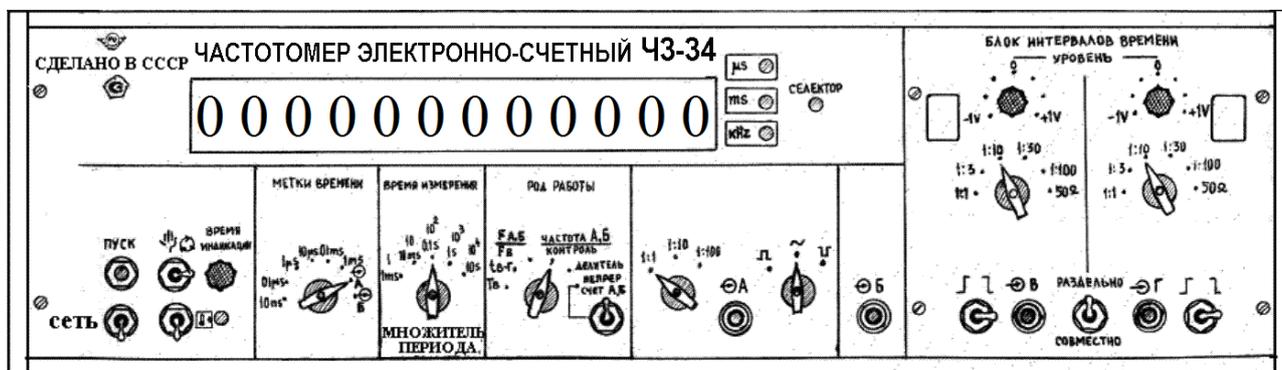


Рис. 4.1. Передняя панель частотомера ЧЗ-34

Работа с прибором

Включить вилку шнура питания в сеть ~220 В.

Включить тумблеры "СЕТЬ" и "☑☐" (термостат). Должны загореться 9 ламп индикаторного табло и лампочка индикации работы термостата, которая в дальнейшем периодически гаснет и загорается. Дать прибору прогреться в течении 3 мин.

Установить тумблер "☞☺" в положение "☺", переключатель "РОД РАБОТЫ" – в положение "ЧАСТОТА А,Б/КОНТРОЛЬ".

Сделать несколько отсчетов для каждого положения переключателя "МЕТКИ ВРЕМЕНИ" ($\tau_{\text{мет}}$) – "10 ns; 0,1 μ s; ...; 1 ms" при положениях переключателя "ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ" ($\tau_{\text{изм}}$) от "1 ms" до "10 s". Показания табло должны принимать значения, например, 000100000 при $\tau_{\text{мет}} = 10 \text{ ns}$ и $\tau_{\text{изм}} = 1 \text{ ms}$ и 00001,0000 при $\tau_{\text{мет}} = 1 \text{ ms}$ и $\tau_{\text{изм}} = 10 \text{ s}$.

Для ручной работы тумблер " 

 перевести в положение " и для осуществления измерения нажать кнопку "ПУСК".

Измерение частоты (канал А)

Установить следующие положения органов управления по входу "А":

- переключатель "РОД РАБОТЫ" – "ЧАСТОТА А, Б",
- аттенюатор – "1: 100",
- переключатель "   – в соответствии с формой сигнала,
- переключатель "ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ" – 1 s.

Подать измеряемый сигнал на гнездо " А". На индикаторе должен появиться отсчет. Если на индикаторе во всех разрядах высвечиваются нули, перевести аттенюатор в положение 1:10. При отсутствии отсчета аттенюатор установить в положение 1:1. Ручкой "ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ" выбрать удобное для отсчета время индикации. Перевести переключатель "ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ" в положение, обеспечивающее необходимую точность измерения.

Измерение частоты (канал Б)

Переключатель "МЕТКИ ВРЕМЕНИ" установить в положение " Б". Подать сигнал на гнездо " Б".

Переключатель "РОД РАБОТЫ" – "ЧАСТОТА А,Б/КОНТРОЛЬ". Подобрать подходящее время измерения и время индикации.

Измерение периода (канал В)

Переключатель "РОД РАБОТЫ" установить в положение "Т_В", переключатель "РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕСТНО" – "РАЗДЕЛЬНО", аттенюатор канала "В" – "1:100", переключатель "МЕТКИ ВРЕМЕНИ" – "10 ns" переключатель "МНОЖИТЕЛЬ ПЕРИОДА" – 1.

Подать сигнал на входное гнездо " В". При помощи ручек "УРОВЕНЬ" и аттенюатора добиться уверенного счета. При необходимости отрегулировать положения ручек "ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ", "МЕТКИ ВРЕМЕНИ" и "МНОЖИТЕЛЬ ПЕРИОДА".

Измерение интервалов времени (каналы В и Г)

Установить переключатель "РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕСТНО" в положение "РАЗДЕЛЬНО", переключатель "РОД РАБОТЫ" – "t_{В-Г}" переключатель "МЕТКИ ВРЕМЕНИ" – "10 ns", аттенюаторы каналов В и Г – 1:100.

Подать сигналы, интервал между которыми надо измерить, на гнезда " В" и " Г". С помощью тумблеров " 

 выбрать фронты, между которыми будет измеряться интервал времени.

Настроить канал "В" – при сигнале положительной полярности установить ручку "УРОВЕНЬ" канала В в крайнее правое положение, затем медленно вращать ее влево до возникновения непрерывного счета; при сигнале отрицательной полярности ручку "УРОВЕНЬ" поворачивать вправо из левого крайнего положения. При необходимости уменьшить ослабление аттенюатора.

Настроить канал "Г" по методике настройки канала "В" с той лишь разницей, что при вращении ручки "УРОВЕНЬ" канала "Г" непрерывный счет должен остановиться и на индикаторе высветиться измеряемый интервал времени. При необходимости отрегулировать положение ручки "ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ" и переключателя "МЕТКИ ВРЕМЕНИ".

Измерение длительности импульсов (канал В).

Подать сигналы на гнездо " $\rightarrow \ominus В$ ". Установить тумблер "РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕСТНО" в положение "СОВМЕСТНО". Дальнейшая процедура аналогична измерению интервалов времени.

Измерение отношения частот (каналы А или Б и В).

Подать высшую из сравниваемых частот на гнездо " $\rightarrow \ominus А$ " или " $\rightarrow \ominus Б$ ", низшую – на гнездо " $\rightarrow \ominus В$ ". Установить переключатель "РОД РАБОТЫ" в положение " $F_{АВ}/F_{В}$ ". Настроить каналы А или Б и В. Ручки "ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ" и "МНОЖИТЕЛЬ ПЕРИОДА" установить в желаемое положение. Снять отсчет по цифровому индикатору.

§ 2. Вольтметр универсальный (цифровой) В7-16А

Вольтметр В7-16А предназначен для измерения напряжения постоянного и переменного тока и активного сопротивления.

Диапазоны измеряемых величин:

напряжение постоянного тока: $10^{-4} В – 10^3 В$

напряжение переменного тока

в области частот от 20 Гц до $20 \cdot 10^3$ Гц: $10^{-4} В – 10^3 В$

от $20 \cdot 10^3$ Гц до $50 \cdot 10^6$ Гц: $10^{-1} В – 1,0 В$

активное сопротивление: $10^{-1} Ом – 10^7 Ом$,

Принцип действия вольтметра основан на измерении длительности временного интервала, в который преобразуется измеряемое постоянное напряжение. Переменное напряжение и активное сопротивление измеряются путем их предварительного преобразования в постоянное напряжение.

Органы управления и их назначение (рис. 4.2):

- тумблер "СЕТЬ" – включение прибора,
- переключатель "ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ" – выбор диапазона измеряемых величин,
- переключатель "РОД РАБОТЫ" – выбор режима работы прибора,
- гнездо " $\rightarrow \ominus \approx 100 В, R$ " входное гнездо при измерении напряжений до 100 В и активных сопротивлений,

- гнезда " \approx 1000 V" и " \sim 1000 V" – входные гнезда для напряжений от 100 В до 1000 В,
- ручка "ВР. ИНД." – регулировка временного интервала автоматического запуска,
- кнопка " ☞ " – ручной запуск измерения,
- гнезда "89,8 к Ω " и "8,98 М Ω " – контроль выхода эталонных сопротивлений,
- ручки " $\rightarrow 0 \leftarrow$ " и " \blacktriangledown " – установка нуля и калибровки,
- зажимы "0" и " \perp " – зажимы общего провода и заземления прибора,
- гнездо "ПИТ. ВЧ. ДЕТЕКТ." – гнездо соединения с вилкой высокочастотного преобразователя.

На заднюю панель вынесен важный для работы прибора тумблер " $\text{☉}, \text{☞}$ ", предназначенный для выбора автоматического или ручного запуска измерения.

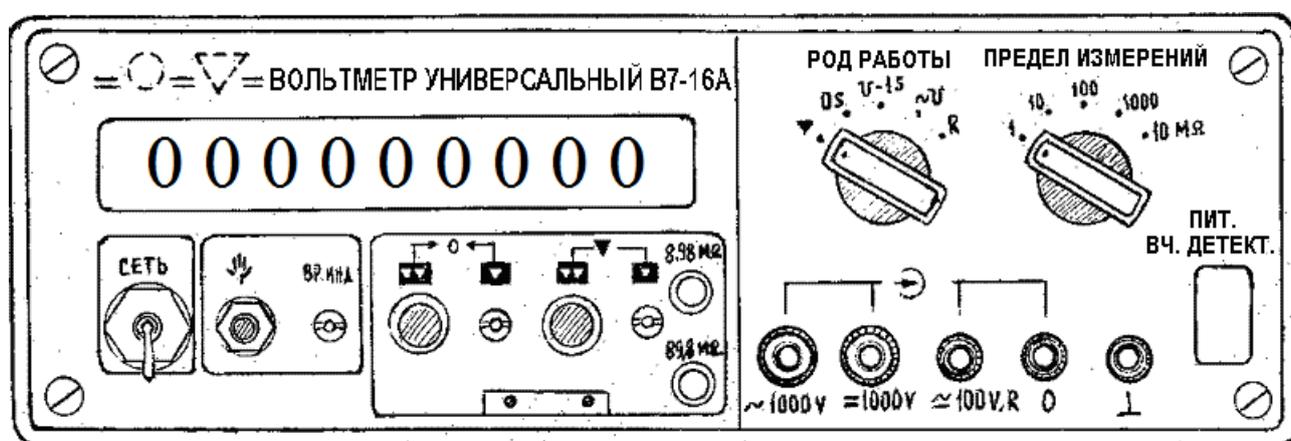


Рис. 4.2. Передняя панель универсального цифрового вольтметра В7-16А.

Работа с прибором

Шнур питания вольтметра подсоединить в сеть \sim 220 В. Включить тумблер "СЕТЬ". Должно высветиться индикаторное табло.

Измерение напряжения постоянного тока

Установить тумблер " $\text{☉}, \text{☞}$ " в положение " ☉ ",

- ручку "ВР. ИНД." – в положение, удобное для измерений,
- переключатель "РОД РАБОТЫ" – "U - 1s",
- переключатель "ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ" – "10",
- закоротить вход " $\rightarrow \text{☉} \approx 100 \text{ V}, \text{ R}$ " и ручкой " $\rightarrow 0 \leftarrow$ " выставить показания "0000". Допускаются показания "0000", "0001" или "-0001".

Установить переключатель "РОД РАБОТЫ" в положение " \blacktriangledown " и ручкой " \blacktriangledown " выставить на табло показание, равное значению, которое указано на шильдике вольтметра.

Перевести переключатель "РОД РАБОТЫ" в положение "U-0s", переключатель "ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ" в положение, соответствующее наибольшей величине измеряемого напряжения.

Подать измеряемое напряжение на гнездо " $\rightarrow \ominus \approx 100 \text{ V, R}$ ", если оно не превышает 100 В, или на гнездо " $\rightarrow \ominus \approx 1000 \text{ V}$ " при помощи высоковольтного кабеля, если оно более 100 В.

Снять отсчет показаний. Если на индикаторном табло появляется сигнал "П" (перегрузка), то переключатель предела измерения следует перевести в положение высшего предела.

Измерение переменного напряжения частотой 20 Гц – 100 кГц

Установить переключатель "РОД РАБОТЫ" в положение "U~", тумблер " $\odot, \text{рука}$ " – в положение " рука ", нажать однократно кнопку " рука ", подождать 10 с и снять отсчет показания на световом табло.

Измерение активного сопротивления

Установить переключатель "ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ" в положение "100", переключатель "РОД РАБОТЫ" – в положение "R". Закоротить вход " $\rightarrow \ominus \approx 100 \text{ V, R}$ " и ручкой " $\rightarrow 0 \leftarrow$ " выставить на табло показание "0000". Соединить между собой гнезда " $\rightarrow \ominus \approx 100 \text{ V, R}$ " и "89,8 кΩ" и ручкой " \blacktriangledown " (калибровка) выставить на табло показание 89,80 кОм.

Подключить измеряемое сопротивление к гнезду " $\rightarrow \ominus \approx 100 \text{ V, R}$ ". Снять отсчет показания на табло прибора.

При измерениях переключатели "ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ", "ВР. ИНД." и " $\odot, \text{рука}$ " устанавливать в нужное положение.

Измерение сопротивления более 1000 кОм.

Установить переключатель "ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ" в положение "10МΩ", закоротить вход " $\rightarrow \ominus \approx 100 \text{ V, R}$ " и ручкой установки нуля выставить на табло нулевые показатели.

Соединить между собой гнезда " $\rightarrow \ominus \approx 100 \text{ V, R}$ " и "8,98 МΩ" и ручкой калибровки установить на табло показание, равное 8,98 МОм. Подключить измеряемое сопротивление к входу " $\rightarrow \ominus \approx 100 \text{ V, R}$ " и снять отсчет.

ГЛАВА 5. РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Электронно-лучевой осциллограф С1-68

Осциллограф универсальный С1-68 предназначен для наблюдения и исследования формы электрических сигналов путем визуального наблюдения, а также измерения их амплитудно-временных параметров (электрического напряжения, периода колебаний, длительности импульсов, временного интервала между импульсами, времени нарастания и спада импульса) по калиброванным шкалам вертикального и горизонтального отклонения светового пятна на экране электронно-лучевой трубки..

Органы управления

Основные органы управления расположены на передней панели осциллографа (рис. 5.1). Тумблер "СЕТЬ" – включение прибора.

Ручки "ЯРКОСТЬ", "ФОКУС" и "АСТИГМАТИЗМ" служат для настройки светового изображения сигнала, ручка "ШКАЛА" – подсветка шкалы экрана.

Надпись "УСИЛИТЕЛЬ-У" – указатель группы органов управления усилителем вертикального отклонения (УВО).

Тумблер " \sim , \approx " позволяет выбрать открытый (\approx) или закрытый (\sim) вход УВО. Термин "открытый вход" означает, что сигнал от входного гнезда поступает на УВО по гальванической связи без потери постоянной составляющей. При закрытом входе сигнал поступает на УВО через разделительный конденсатор, который не пропускает постоянную составляющую.

Гнездо " \rightarrow $1M\Omega-50pF$ " – входное гнездо УВО.

Спаренные ручки "УСИЛЕНИЕ" служат для ступенчатой и плавной регулировки чувствительности УВО.

Тумблер " $\times 10$, $\times 1$ " – для грубого изменения чувствительности УВО.

Ручка " \updownarrow " – смещение луча по вертикали.

Шлиц " \blacktriangledown " и ручка "БАЛАНСИР" – калибровка чувствительности и балансировка усилителя.

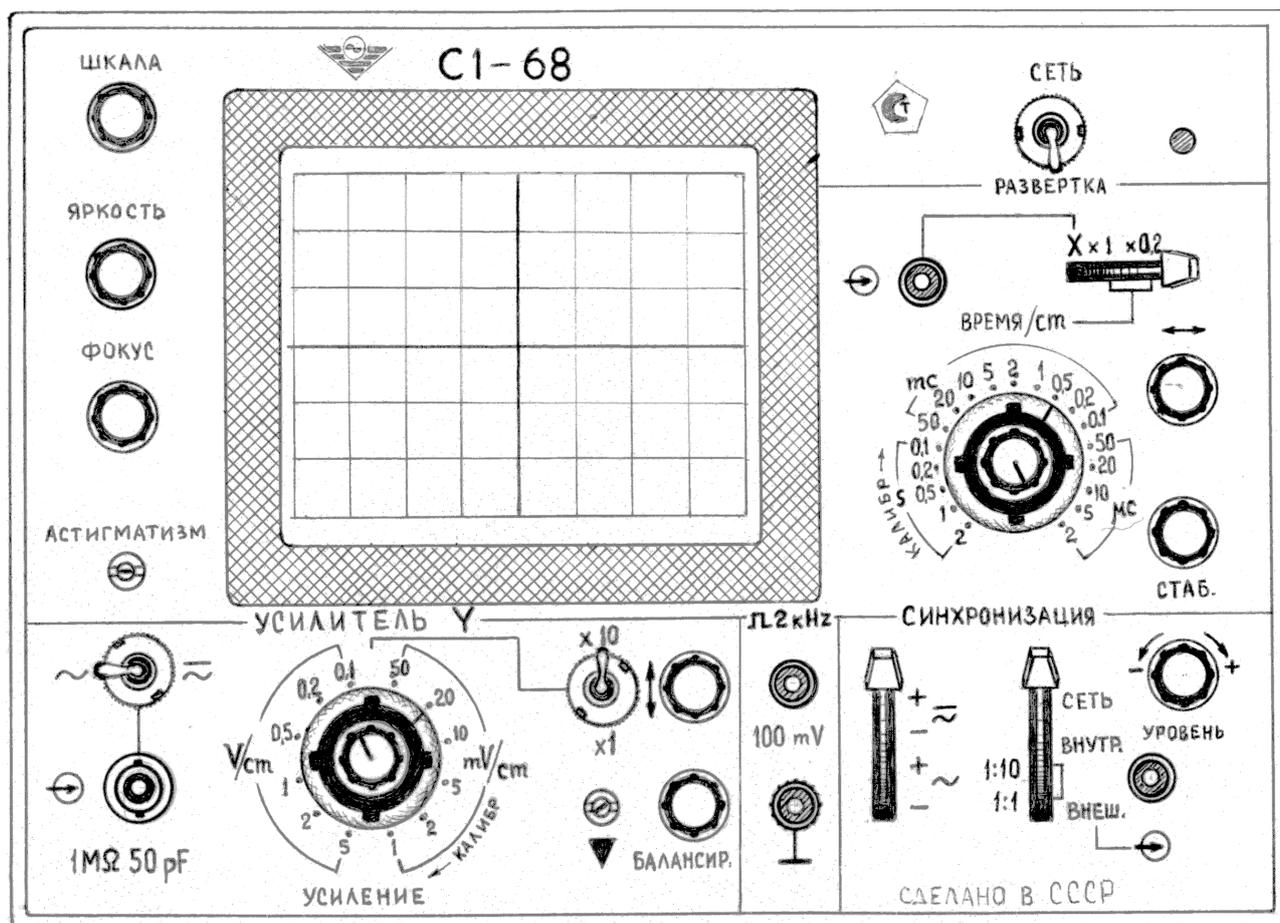


Рис. 5.1. Передняя панель универсального осциллографа С1-68.

Надпись "РАЗВЕРТКА" – указатель группы органов управления генератора развертки осциллографа.

Гнездо " " – входное гнездо усилителя горизонтального отклонения (УГО). Переключатель "X, $\times 1$, $\times 0,2$ " служит для подключения гнезда " " к входу УГО и грубой регулировки длительности развертки.

Спаренные ручки "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ" – ручки ступенчатой и плавной регулировки временного масштаба горизонтальной оси экрана ЭЛТ.

Ручка " " – смещение луча по горизонтали.

Ручка "СТАБ." – выбор режима работы генератора развертки (ждущий или непрерывный).

Надпись "СИНХРОНИЗАЦИЯ" – указатель группы органов управления синхронизацией развертки.

Переключатель полярности сигнала синхронизации " ,  " (" " – открытый вход, " " – закрытый вход)

Переключатель рода синхронизации "СЕТЬ, ВНУТР, ВНЕШ" – от сети 50 Гц, внутренняя, и внешняя, соответственно.

Ручка "УРОВЕНЬ" – регулировка амплитуды сигнала запуска синхронизации.

Гнездо " " – вход сигнала внешней синхронизации.

Гнездо " 2kHz, 100mV" – выход переменного напряжения прямоугольной формы.

На правой боковой стенке прибора расположены вспомогательные органы управления:

- гнездо "1V" – выход калибровочного напряжения 1 В,
- тумблер " , —" – выбор формы калибровочного напряжения в виде прямоугольного периодического или постоянного,
- гнездо " ,  " – выход пилообразного напряжения генератора развертки,
- гнезда "Пластины X" совместно с тумблером "Вкл" – подача внешних напряжений непосредственно на горизонтально отклоняющие пластины.

На левой боковой стенке расположены вспомогательные органы управления – гнезда "Пластины Y", которые совместно с тумблером "Вкл" служат для подачи внешних напряжений непосредственно на вертикально отклоняющие пластины.

Подготовка к работе

Перед включением прибора следует сделать предварительную установку органов управления:

- ручки "ЯРКОСТЬ", "ФОКУС", " " и " " – в среднее положение,
- тумблер " ,  " – в положение " ",
- внутреннюю ручку "УСИЛЕНИЕ" – в правое крайнее положение до щелчка, а внешнюю – против позиции 5 V/cm,
- внутреннюю ручку "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ" – в правое крайнее положение до щелчка, а внешнюю – в среднее положение,

- переключатель "X, ×1, ×0,2" – в положение "×1",
- ручку "СТАБ" – в крайнее правое положение,
- ручку "УРОВЕНЬ" – в среднее положение,
- переключатель рода синхронизации – в положение "ВНУТР",
- тумблеры включения пластин X и Y – в нижнее положение. Положение остальных органов управления произвольное.

Для включения прибора вилку шнура питания вставить в розетку с напряжением ~220 В и перевести тумблер "СЕТЬ" в верхнее положение. После включения осциллографа загорается сигнальная лампочка. Через несколько минут должна высветиться на экране горизонтальная полоска. Если этого не произошло, или полоска смещена от центра экрана, то ручками "↕" и "↔" добиться центрального положения полоски. Ручками "ЯРКОСТЬ" и "ФОКУС" отрегулировать качество изображения полоски.

Измерения

Подать исследуемый сигнал на входное гнездо "⊖" блока "УСИЛИТЕЛЬ Y"; ступенчатым переключателем "УСИЛЕНИЕ" и тумблером "×10, ×1" установить вертикальный размер изображения, удобный для наблюдения (примерно 2/3 от размера экрана); переключателями "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ", "X, ×1, ×0,2", "СТАБ" и "УРОВЕНЬ" добиться устойчивой картины нужного количества периодов исследуемого напряжения.

Измерение напряжения

Установить ручку "УСИЛЕНИЕ" плавной регулировки чувствительности УВО в крайнее правое положение до щелчка. После этого измерить размер сигнала по вертикали l_y в см, снять отсчеты показаний k_y переключателя "УСИЛЕНИЕ" и m_y тумблера "×10, ×1". Значение напряжения вычислить по формуле:

$$U = l_y k_y m_y.$$

Для измерения постоянной составляющей напряжения сигнала U_0 перевести тумблер "~, ≈" из положения "~" в положение "≈". Определить по экрану ЭЛТ расстояние вертикального смещения изображения l_0 в см. Вычислить U_0 по формуле (4.1), полагая $l_y = l_0$. Смещение изображения вниз соответствует отрицательной, а смещение вверх – положительной постоянной составляющей исследуемого сигнала.

Измерение длительности сигнала

Ручку плавной регулировки "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ" установить в крайнее правое положение. Снять показания k_x ступенчатого переключателя "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ" и m_x переключателя "X, ×1, ×0,2".

Измерить размер сигнала по горизонтали l_x в см. Искомую длительность вычислить по формуле:

$$\tau = l_x k_x m_x.$$

На рис. 5.2 приведена осциллограмма одиночного напряжения идеально прямоугольной формы, на которой показаны измеряемые расстояния l_y и l_x , необходимые для определения амплитуды и длительности импульса.

Измерение частоты периодического сигнала

При помощи ручек "↑", "↔", "СТАБ", "УРОВЕНЬ" и переключателей "ВРЕМЯ/см" и "X, ×1, ×0,2" добиться устойчивой картины нескольких (до 10) периодов исследуемого сигнала в центре экрана ЭЛТ. Определить длительность целого числа n периодов сигнала, как описано в пункте "Измерение длительности сигнала". Значение искомой частоты вычислить по формуле:

$$\nu = \frac{n}{\tau} = \frac{n}{l_x k_x m_x}.$$

Пример. Пусть 8 периодов сигнала занимают расстояние 6,7 см на горизонтальной оси экрана при положениях переключателя "X, ×1, ×0,2", равном 0,2 и переключателя "ВРЕМЯ/см" – 5 мс. Тогда $n = 8$, $l_x = 6,7$ см, $m_x = 0,2$, $k_x = 5 \cdot 10^{-3}$ с/см и, наконец:

$$\nu = \frac{8}{6,7 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2} = 1194 \text{ Гц} \approx 1,2 \text{ кГц}.$$

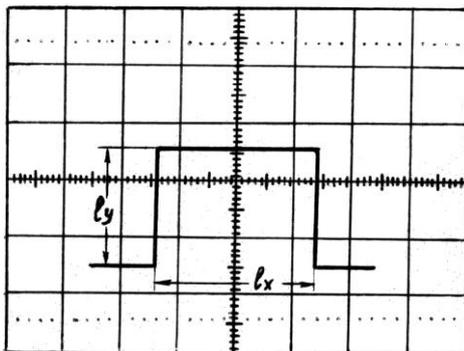


Рис. 5.2. Осциллограмма идеального прямоугольного импульсного напряжения

§ 2. Генератор низкочастотных сигналов ГЗ-56/1

Генератор ГЗ-56/1 предназначен для формирования сигналов электрического напряжения синусоидальной формы в диапазоне частот от 20 Гц до 200 кГц напряжением до 50 В на нагрузке 600 Ом.

Назначение ручек управления (рис. 5.3)

Тумблер "СЕТЬ" – включение прибора. Сигнальная лампочка – контроль включения.

Кнопочный переключатель "МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ" и ручка "ЧАСТОТА Hz" – грубая и плавная установка частоты.

Ручка "РЕГ. ВЫХОДА" – плавная регулировка выходного напряжения.

Тумблер "ШКАЛА ВОЛЬТМЕТРА" – переключение пределов измерения стрелочного индикатора выходного напряжения.

Клеммы " \leftarrow " и " \rightleftarrows " – несимметричный и симметричный клеммы выходного напряжения. Клемма "СТ" – средняя точка выходного трансформатора. Переключатель "ВНЕШ. НАГРУЗКА Ω " – согласование нагрузки.

Тумблер "ВНУТР. 600 Ω " – подключение внутренней нагрузки 600 Ом на выходе аттенюатора.

Переключатель "ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ ВОЛЬТМЕТРА, ОСЛАБЛЕНИЕ dB" – ступенчатое ослабление выходного напряжения с помощью аттенюатора.

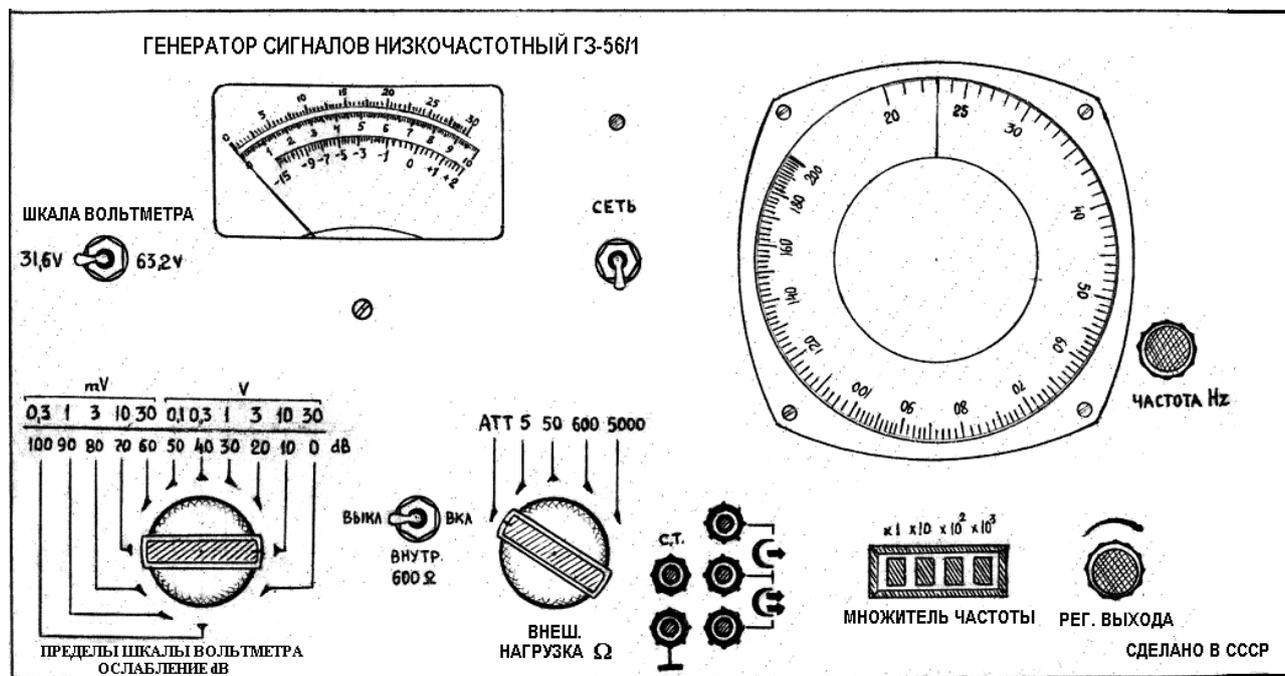


Рис. 5.3. Передняя панель генератора низкочастотных сигналов ГЗ-56/1.

Порядок работы

Перед включением прибора сделать предварительную установку:

- тумблер "СЕТЬ" выключен (нижнее положение тумблера),
- переключатель "ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ ВОЛЬТМЕТРА, ОСЛАБЛЕНИЕ dB" поставить в положении "0",
- тумблер "ВНУТР. 600 Ω " – в положение "ВКЛ.",
- переключатель "ВНЕШ. НАГРУЗКА Ω " – в положение "АТТ.",
- нажать одну из кнопок переключателя "МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ",
- ручку "РЕГ. ВЫХОДА" поставить в среднее положение,
- тумблер "ШКАЛА ВОЛЬТМЕТРА" – "63,2 V".

Для включения прибора вилку шнура питания вставить в розетку с напряжением ~ 220 В и перевести тумблер "СЕТЬ" в верхнее положение. Установить нужную частоту выходного напряжения при помощи переключателя "МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ" и ручки "ЧАСТОТА Hz".

Согласовать выход генератора с сопротивлением нагрузки. Для этого переключатели "ВНЕШ. НАГРУЗКА Ω " и "ВНУТР. 600 Ω " установить в согласии с положениями, указанными ниже в таблице:

| Наименование переключателя | Сопротивление нагрузки, Ом | | |
|----------------------------|----------------------------|--------|---------------|
| | Несимметричное | | Симметричное |
| | >> 600 Ом | 600 Ом | 5 50 600 5000 |
| ВНЕШ. НАГР. Ω | АТТ | АТТ | 5 50 600 5000 |
| ВНУТР. 600 Ω | ВКЛ | ВЫКЛ | ВЫКЛ |

Подключить внешнюю нагрузку R_H к генератору согласно рис. 4.4 (*a* или *б*). Установить нужное выходное напряжение при помощи ручек "РЕГ. ВЫХОДА" и переключателя "ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ ВОЛЬТМЕТРА, ОСЛАБЛЕНИЕ дБ".

Измерение выходного напряжения на несимметричном выходе осуществляется по вольтметру генератора с учетом положения тумблера "ШКАЛА ВОЛЬТМЕТРА" и положения переключателя "ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ ВОЛЬТМЕТРА, ОСЛАБЛЕНИЕ дБ". Таблица перевода децибел в отношении напряжений приведена в приложении 10.

Пример 1. По индикатору генератора установлено выходное напряжение 49 В (тумблер "ШКАЛА ВОЛЬТМЕТРА" находится в положении 63,2 В) и включено ослабление 40 дБ. Выходное напряжение равно: $49 \text{ В} \cdot 0,01 = 0,49 \text{ В}$.

Пример 2. Показание вольтметра 30 В (тумблер "ШКАЛА ВОЛЬТМЕТРА" – в положении "31,6 В"), включено ослабление – 80 дБ. Выходное напряжение равно $30 \cdot 10^{-4} \text{ В} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 3 \text{ мВ}$.

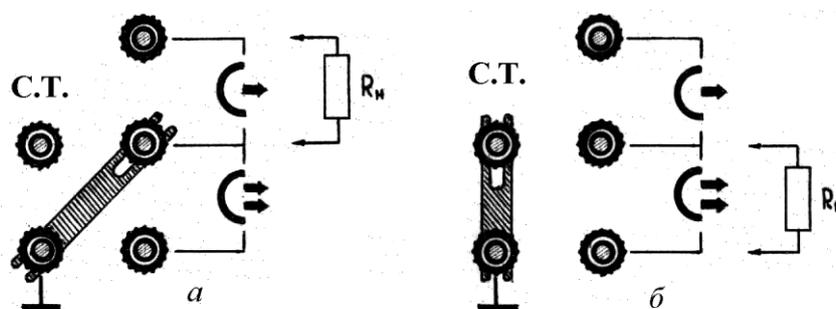


Рис. 5.4. Схемы соединения переключки и подключения нагрузки R_H к выходным клеммам генератора ГЗ-56/1: *a* - несимметричный выход, *б* - симметричный выход.

В генераторе предусмотрено получение выходного напряжения с дополнительного несимметричного выхода. Схема включения нагрузки приведена на рис. 5.4 (*a*). Положение тумблера "ВНУТР. 600 Ω" – "ВЫКЛ", переключателя "ВНЕШ. НАГР. Ω" – "5", "50", "600" или "5000". При этом наибольшее значение выходного напряжения может составлять 4, 14, 49 или 140 В.

На симметричном и несимметричном дополнительном выходе вольтметр используется только для контроля выходного напряжения.

§ 3. Генератор стандартных сигналов Г4-18А

Генератор Г4-18А предназначен для формирования амплитудно-модулированных колебаний электрического напряжения в диапазоне частот от 100 кГц до 35 МГц в пределах от 0,1 мкВ до 1 В на нагрузке 75 Ом. Он применяется для настройки приемно-передающей аппаратуры в диапазонах длинных, средних и коротких радиоволн.

Ручки управления

Все ручки управления расположены на передней панели прибора. Они имеют следующее назначение (рис. 5.5):

- тумблер "~, ВКЛ." и сигнальная лампочка – включение прибора,
- тумблер "ГЕН.В.Ч., ВКЛ." – выключатель генератора высокой частоты,
- тумблер "УРОВЕНЬ "К", М%" – изменение функций стрелочного измерителя,
- переключатель "ДИАПАЗОНЫ 30 МГц" – выбор диапазона частот колебаний 6-ти позиционный: 0,1 – 0,3 МГц, 0,3 – 1 МГц, 1 – 3 МГц, 3 – 10 МГц, 10 – 20 МГц и 20 – 35 МГц,
- две ребристые ручки с надписью "f" – плавная настройка частоты, лимб со шкалами частот расположен над этими ручками,

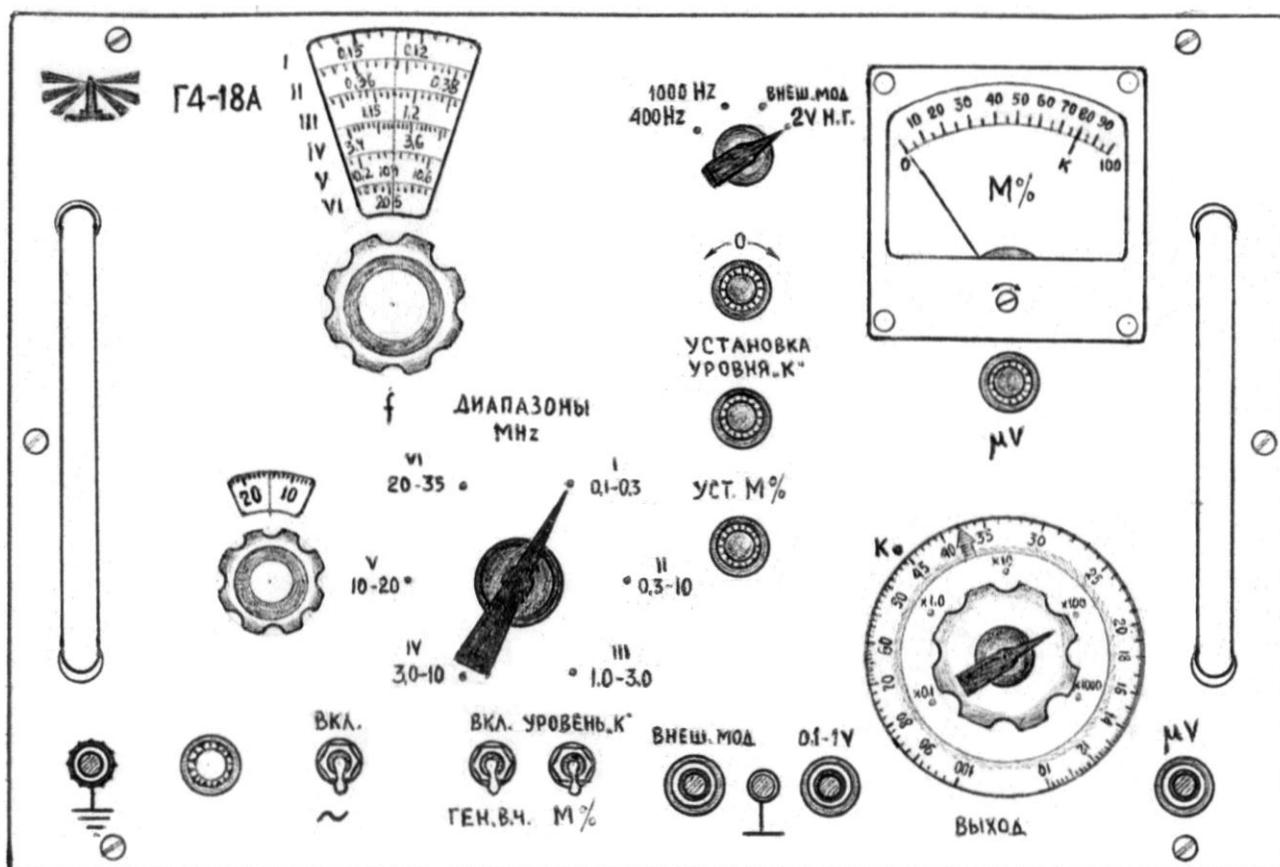


Рис. 5.5. Передняя панель генератора стандартных сигналов Г4-18А

- переключатель "400 Hz – 1000 Hz – ВНЕШ. МОД. – 2VН.Г." – выбор режима работы прибора,
- измерительный прибор "М%, К" – стрелочный указатель установки выходного напряжения и коэффициента модуляции,
- ручка "↶ ↷" – установка нуля стрелочного измерителя,
- ручка "УСТАНОВКА УРОВНЯ "К" – калибровка выходного сигнала,
- ручка "УСТ. М%" – установка глубины модуляции,
- ручка "μV" – плавная регулировка выходного напряжения,
- спаренный переключатель "ВЫХОД" – ступенчатый аттенюатор выходного напряжения с шагом в 2 дБ и 20 дБ,
- прозрачный лимб, снабженный делениями и числами от 10 до 100, и красная риска сзади лимба – для снятия отсчета выходного напряжения,
- гнездо "ВНЕШ. МОД." – входная клемма сигнала внешней модуляции,
- гнезда "0,1-1V" и "μV" – выходные разъемы генератора.

Подготовка прибора к работе

Установить начальные положения ручек управления:

- ручки "УСТАНОВКА УРОВНЯ "К" и "УСТ. М%" – влево до отказа,
- красный визир при помощи ручки, расположенной над ним, – в крайнее левое положение,
- тумблеры "~, ВКЛ." и "ГЕН. В.Ч., ВКЛ." – в нижнее положение.

Положение остальных ручек – произвольное.

Вилку шнура питания подключить к сети ~220 В и перевести тумблер "~, ВКЛ." в положение "ВКЛ.". Должна загореться сигнальная лампочка. Дать прибору прогреться 5 минут.

Тумблер "УРОВЕНЬ "К", М%" поставить в положение "УРОВЕНЬ "К". Переключатель режима работы поставить в положение "ВНЕШ. МОД." Ручкой "↶ ↷" установить стрелку измерителя на "0". Перевести переключатель "ГЕН. В.Ч., ВКЛ." в положение "ВКЛ.". При помощи переключателя "ДИАПАЗОНЫ МГц" и двух ручек настройки частоты "*f*" установить нужную частоту. Отсчет частоты вести по шкале лимба, поворачивающегося при вращении ручек плавной настройки частоты. Ручкой "УСТАНОВКА УРОВНЯ "К" установить стрелку измерителя выхода на отметку "К".

Работа с прибором. Режим непрерывной генерации.

Получение выходного напряжения в пределах 0,1 мкВ – 0,1В.

Вставить в гнездо "μV" штекер кабеля с делителем на конце. Переключателями аттенюатора "ВЫХОД" и ручкой "μV" установить нужное выходное напряжение. Положение ручки "УСТАНОВКА УРОВНЯ "К" не менять!

Величина выходного напряжения является результатом произведения трех отсчетов: показаний двух переключателей аттенюатора и показания зажима выносного делителя.

Пример 1. Требуется установить выходное напряжение 10 мкВ. В данном примере возможны 3 варианта. Ниже приводится один из них. Поворотом пере-

ключателя аттенюатора, снабженного лимбом, и ручки "V" совместить красный визир " μV " с числом "10" лимба. Переключатель аттенюатора, имеющий форму клюва, установить в положение " $\times 10$ ". Сигнал снимать с зажима "0,1" выносного делителя. Действительно, $10 \cdot 10 \cdot 0,1 = 10$ (мкВ).

Пример 2. Сигнал снимается с зажима "1" выносного делителя. Ключик аттенюатора установлен в положение " $\times 100$ ". Риска визира " μV " совмещена с делением "32" прозрачного лимба аттенюатора. Напряжение выхода составляет: $32 \cdot 100 \cdot 1 = 3200$ (мкВ) = 3,2 (мВ).

Получение выходного напряжения в пределах 0,1–1,0 В.

Вставить в гнездо "0,1-1V" штекер с кабелем без выносного делителя на конце. При помощи ручки ступенчатого аттенюатора с лимбом и ручки " μV " установить нужное напряжение. Для снятия отсчета выходного напряжения показание лимба аттенюатора, определяемое положением красной риски визира, поделить на 100. Так, если риска визира установлена в положение 45, то выходное напряжение равно: $45 : 100 = 0,45$ (В).

Режим максимального выхода

Переключатель режима работы поставить в положение "2V Н.Г.". Максимальное выходное напряжение непрерывной генерации снять с выхода "0,1-1 V". При этом риска визира лимба аттенюатора должна быть установлена на отметке "100". Поворотом ручки с лимбом выходное напряжение может быть уменьшено.

Режим внутренней амплитудной модуляции.

Переключатель режима работы установить в положение "400 Hz" или "1000 Hz" тумблер "УРОВЕНЬ "К", М%" – в положение "М%". С помощью ручки "УСТ. М%" установить требуемый процент глубины модуляции в пределах 10 – 95%. Отсчет глубины модуляции снимать по шкале глубины модуляции стрелочного измерителя.

Режим внешней амплитудной модуляции.

Переключатель режима работы поставить в положение "ВНЕШ. МОД.". От внешнего генератора электрических колебаний подать напряжение звуковой частоты ≤ 100 В на гнездо "ВНЕШ. МОД.". В дальнейшем порядок работы такой же, как при внутренней модуляции. Установка глубины модуляции осуществляется изменением выходного напряжения внешнего модулятора.

ГЛАВА 6. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

§ 1. Источники переменного тока

Питание лабораторных установок и измерительных приборов напряжением ~ 220 В осуществляется от закрепленных на столах или стене лабораторных

щитков типа Р 975 и бытовых двухполюсных розеток. Щитки имеют 6 пар вертикально расположенных клемм-гнезд, для подачи напряжения к которым следует нажать белую кнопку пускателя. Свечение красной сигнальной лампы служит указателем включения щитка. Внутри щитков находятся плавкие предохранители. В целях защиты от поражения электрическим током подключение и отключение приборов к клеммам щитка разрешается производить только при отключенном щитке. Отключают щиток нажатием красной кнопки пускателя.

§ 2. Источники постоянного тока

В качестве источников питания постоянного тока в лаборатории применяются промышленные стабилизированные выпрямители, от которых напряжение подается к установкам либо с выходных клемм выпрямителей, либо через выносные двухполюсные розетки, установленные на столах. Розетки снабжены надписями или указателями полярности постоянного напряжения.

Источник постоянного напряжения Б5-8

Источник питания Б5-8 предназначен для получения постоянного тока стабильного напряжения от 2 В до 50 В при токах нагрузки до 2 А. Коэффициент пульсации выходного напряжения не более 0,2 %. Прибор защищен от перегрузок и коротких замыканий. Для восстановления напряжения после снятия перегрузки необходимо выключить тумблер "СЕТЬ" и вновь его включить.

Органы управления находятся на передней панели прибора (рис. 6.1). Их назначение следующее:

- тумблер "СЕТЬ" – включение прибора;
- переключатель "УСТАНОВКА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ V" – ступенчатая регулировка выходного напряжения;
- ручка "0-5" – плавная регулировка напряжения;
- вольтметр "V" – индикатор напряжения;
- гнезда "± 50 V" – выходные гнезда прибора;
- лампочки "ПЕРЕГРУЗКА" и "СЕТЬ" – индикаторы перегрузки и включения прибора.



Рис. 6.1. Передняя панель источника питания Б5-8.

Порядок работы:

- установить ступенчатый переключатель "УСТАНОВКА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ V" в положение "0",
- подключить к выходным клеммам нагрузку, соблюдая полярность,
- включить вилку шнура питания в сеть ~ 220 В,
- включить тумблер "СЕТЬ" (положение вверх),

- установить требуемое выходное напряжение с помощью ручек ступенчатой и плавной регулировки.

Стабилизированный выпрямитель ТЕС-88

Лабораторный стабилизированный выпрямитель ТЕС-88 может работать в режиме стабилизации напряжения или в режиме стабилизации тока.

Технические данные:

- выходное напряжение: $0,5 \text{ В} - 30 \text{ В} \pm 0,01 \%$;
- выходной ток: $0 - 2 \text{ А} \pm 0,01 \%$;
- выходное сопротивление: $\leq 0,01 \text{ Ом}$.

Органы управления (рис. 6.2):

- тумблер "ВКЛ." – включение сетевого питания,
- лампочка над тумблером "ВКЛ." – индикатор включения прибора,
- ручки "U и I, ГРУБО и ФИНО" – грубая и точная регулировка выходного напряжения и силы тока,
- вольтметр "V" – индикатор выходного напряжения,
- амперметр "A" – индикатор выходной силы тока,
- клеммы "ОВ" используются для компенсации падения напряжения на соединительных проводах при удаленной нагрузке;
- клеммы "+" и "-" – подключение нагрузки.

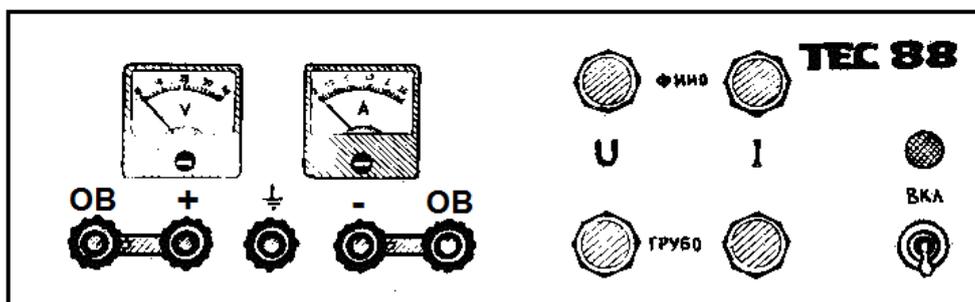


Рис. 6.2. Передняя панель стабилизированного выпрямителя ТЕС-88

Порядок работы:

- установить ручки грубой и плавной регулировки выходного напряжения и силы тока в крайнее левое положение,
- закоротить переключкой левую клемму "ОВ" на клемму "+" и другой переключкой правую клемму "ОВ" на "-",
- включить вилку шнура питания в сеть $\sim 220 \text{ В}$,
- тумблер "ВКЛ" установить в верхнее положение, при этом должна загореться индикаторная лампочка,
- подключить к выходным клеммам "+" и "-" нагрузку, соблюдая полярность,
- установить требуемое выходное напряжение или силу тока с помощью ручек грубой и плавной регулировки.

При превышении тока нагрузки некоторой величины, определяемой положениями ручек "I, ГРУБО-ФИНО" прибор автоматически переходит в режим

стабилизации силы тока. При превышении напряжения на нагрузке некоторой величины, определяемой положениями ручек "U, ГРУБО-ФИНО", прибор автоматически переходит в режим стабилизации напряжения.

Источники постоянного тока и напряжения Б5-46 – Б5-50

Источники питания Б5-46 – Б5-50 могут работать в режиме стабилизации силы тока или напряжения. Они выполнены по единой схеме и отличаются лишь выходными параметрами. Значения этих параметров приведены в таблице.

| Тип прибора | Пределы установки выходного напряжения, В | Пределы установки выходного тока, А или мА | Выходное сопротивление, Ом |
|-------------|---|--|----------------------------|
| Б5-46 | 0,01 – 9,99 | 0,01 – 4,99 А | 1 |
| Б5-47 | 0,1 – 29,9 | 0,01 – 2,99 А | 5 |
| Б5-48 | 0,1 – 49,9 | 0,01 – 1,99 А | 5 |
| Б5-49 | 0,1 – 99,9 | 1 – 999 мА | 10 |
| Б5-50 | 1 – 299 | 1 – 299 мА | 10 |

Приборы обеспечивают стабильность напряжения не хуже 0,05% и стабильность силы тока – 0,1%. В приборах предусмотрена защита от перегрузок и коротких замыканий путем автоматического перехода из режима стабилизации напряжения в режим стабилизации тока и наоборот. Все органы управления находятся на передней панели прибора (рис. 6.3).

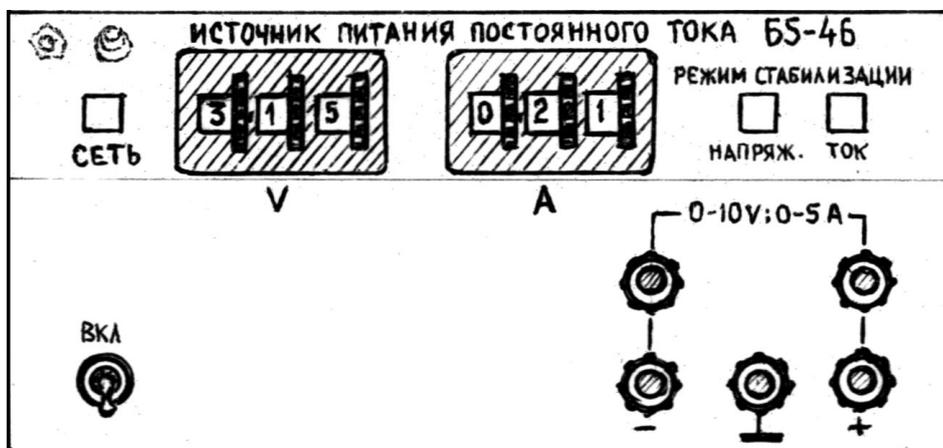


Рис. 6.3. Передняя панель источника питания Б5-46

Предназначение органов управления и индикации:

- тумблер "ВКЛ" – включение прибора,
- сигнальная лампочка "СЕТЬ" – индикатор включения прибора,
- кодовые переключатели "V" – установка выходного напряжения,
- кодовые переключатели "I" – установка выходного тока,
- индикаторные лампочки "НАПРЯЖ." и "ТОК" – указатели режима стабилизации,
- клеммы "+" и "-" – подключение нагрузки.

Порядок работы:

- установить переключатели "V" и "A" в положения, соответствующие максимальным значениям,
- включить вилку шнура питания в сеть ~220 В,
- тумблер "ВКЛ" установить в верхнее положение. При этом должна загореться индикаторная лампочка "СЕТЬ",
- установить движки переключателей "V" и "A" в требуемые положения,
- подключить к выходным клеммам нагрузку, соблюдая полярность,

ВНИМАНИЕ! Во избежание выхода прибора из строя категорически запрещается включать прибор при нулевых положениях кодовых переключателей напряжения и тока.

Примечание: для использования приборов в режиме стабилизации напряжения установленный на приборе ток должен превышать ток нагрузки примерно на 10%. В режиме стабилизации тока установленное напряжение должно превышать напряжение нагрузки. В противном случае произойдет переключение режима стабилизации.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Системы электрических и магнитных величин СГСЭ, СГСМ, СИ и СГС (Гаусса)

Основу электростатической системы единиц измерения СГСЭ составляет закон взаимодействия точечных зарядов в вакууме – закон Кулона:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1)$$

Исходя из этого закона, устанавливается единица заряда СГСЭ (1 СГСЭ_q). Остальные электромагнитные единицы в системе СГСЭ определяются этим выбором. За единицу заряда СГСЭ принимается заряд точечного тела, который взаимодействует в вакууме с другим таким же зарядом, находящимся от него на расстоянии 1 см, с силой в 1 дину. Безразмерный в данном случае коэффициент пропорциональности k полагают равным единице. Следовательно, единица заряда в системе СГСЭ, выраженная через единицы механических величин СГС-системы, равна:

$$1 \text{ СГСЭ}_q = 1 \text{ дин}^{1/2} \text{ см} = 1 \text{ г}^{1/2} \text{ см}^{3/2} \text{ с}^{-1}. \quad (2)$$

В электромагнитной СГСМ и международной СИ системах для установления основной единицы электромагнитных величин используется закон взаимодействия двух параллельных проводников с током:

$$F_{\text{ед}} = \frac{dF}{dl} = k \frac{I_1 I_2}{b} \quad (3)$$

в СГСМ-системе коэффициент k в формуле (3) принимается, равным единице.

Тогда единица силы тока СГСМ определяется как сила такого постоянного тока, который, протекая по двум параллельным тонким проводникам бесконечной длины, вызывает силу взаимодействия в вакууме, равную 2 динам на каждый сантиметр длины проводников.

В системе СИ коэффициент k по соображениям рациональности берется в виде: $k = \mu_0/4\pi$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – так называемая магнитная постоянная. Единицей силы тока в системе СИ является 1 А (ампер). Этот ток вызывает силу взаимодействия двух длинных параллельных проводников бесконечно тонкого сечения, удаленных друг от друга на расстоянии 1 м, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н (ньютон) на каждый метр их длины. Единица заряда в этой системе – 1 Кл (кулон), причем, $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$. Экспериментально получено соотношение:

$$1 \text{ Кл} = 3 \cdot 10^9 \text{ СГСЭ}_q. \quad (4)$$

Соответственно:

$$1 \text{ А} = 3 \cdot 10^9 \text{ СГСЭ}_I. \quad (5)$$

Определим теперь значение коэффициента k в формуле (3) в СГСЭ-системе, Для этого, используя выражение (2), сделаем расчет по формуле (3) при следующих данных: $I_1 = I_2 = 1 \text{ СГСЭ}_I$ и $b = 1 \text{ см}$:

$$F_{\text{ед}} = k \frac{2 \cdot (1 \text{ СГСЭ}_I)^2}{1 \text{ см}} = k \frac{2 \cdot (1 \text{ СГСЭ}_q)^2}{1 \text{ см} \cdot \text{с}^2} = k \frac{2 \cdot \text{дин} \cdot \text{см}^2}{1 \text{ см} \cdot \text{с}^2} = k \frac{2 \cdot \text{дин} \cdot \text{см}}{1 \text{ с}^2}. \quad (6)$$

Вместе с тем, вычисление величины $F_{\text{ед}}$ при тех же данных в системе СИ приводит к результату:

$$\begin{aligned} F_{\text{ед}} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2 \cdot (3 \cdot 10^9)^{-2} \text{ А}^2}{10^{-2} \text{ м}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} \frac{2 \cdot (3 \cdot 10^9)^{-2} \text{ Н}}{10^{-2} \text{ м}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot (3 \cdot 10^9)^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1} = \\ &= 2 \cdot 10^{-5} \cdot (3 \cdot 10^9)^{-2} \cdot 10^5 \text{ дин} \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1} = 2 \cdot (3 \cdot 10^{10})^{-2} \text{ дин} \cdot \text{см}^{-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Приравнивая результаты (6) и (7), получим, что $k = (3 \cdot 10^{10} \text{ см/с})^{-2}$. Принято коэффициент k представлять в виде:

$$k = 1/c^2, \text{ где } c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}. \quad (8)$$

Величина c , равная скорости электромагнитных волн в вакууме, называется электродинамической постоянной,

Из формулы (3), записанной с коэффициентом $k = 1/c^2$ в СГСЭ-системе, следует, что при $b = 1 \text{ см}$ токи I_1 и I_2 , равные 1 СГСЭ_I, взаимодействуют с силой $F_{\text{ед}} = 2 \cdot (3 \cdot 10^{10})^{-2} \text{ дин} \cdot \text{см}^{-1}$, а в СГСМ-системе на том же расстоянии $b = 1 \text{ см}$ токи $I_1 = I_2 = 1 \text{ СГСМ}_I$ взаимодействуют так, что $F_{\text{ед}} = 2 \text{ дин} \cdot \text{см}^{-1}$. Такое возможно, если сила тока 1 СГСМ_I в $3 \cdot 10^{10}$ раз больше силы тока 1 СГСЭ_I. Следовательно, единицы силы тока удовлетворяют отношению:

$$\frac{1 \text{ СГСМ}_I}{1 \text{ СГСЭ}_I} = c. \quad (9)$$

Принимая во внимание выражение (9) и затем выражение (5), связь между единицами силы тока в различных системах удобно представить в форме:

$$1 \text{ СГСМ}_I = 3 \cdot 10^{10} \text{ СГСЭ}_I = 10 \text{ А} , \quad (10)$$

а соотношение между величинами силы тока в виде:

$$I_{\text{СГСМ}} = \frac{1}{c} I_{\text{СГСЭ}} = 0,1 I_{\text{СИ}}. \quad (11)$$

Соответственно,

$$q_{\text{СГСМ}} = \frac{1}{c} q_{\text{СГСЭ}} = 0,1 q_{\text{СИ}}. \quad (12)$$

Единицы измерения других величин в электромагнетизме и соотношения между ними зависят от определяющих эти величины законов, причем формулы в системах СГСЭ и СГСМ переходят друг в друга с учетом замен величин токов и зарядов согласно выражениям (11) и (12). Однако в научной литературе по физике системы СГСЭ и СГСМ обычно не применяются. Вместо них используют так называемую абсолютную симметричную систему электрических и магнитных единиц – систему Гаусса. Она построена также на трех основных механических единицах – сантиметре, грамме и секунде и представляет собой сочетание обеих систем СГСЭ и СГСМ. Система единиц Гаусса или просто система СГС достаточно подробно рассмотрена в литературе [6]. Поэтому ограничимся лишь цитированием основных принципов ее построения.

В СГС-системе Гаусса единицы всех электрических величин (заряда, силы тока, напряженности электрического поля, напряжения, емкости, сопротивления и проводимости) совпадают с единицами СГСЭ. Диэлектрическая проницаемость вещества ε есть безразмерная величина, равная для вакуума единице. Что же касается единиц измерения магнитных величин (индукции и напряженности магнитного поля, намагниченности, магнитного потока, индуктивности), то они совпадают с единицами системы СГСМ. Магнитная проницаемость μ – безразмерная величина и для вакуума равна единице,

В результате, формулы электростатики в системе Гаусса полностью совпадают с формулами СГСЭ-системы, а формулы магнетизма имеют иной вид, чем в системе СГСМ, так как единица силы тока определяется из СГСЭ-системы. Поэтому электродинамическая постоянная "с" в формулы законов электромагнетизма вводится следующим образом:

а) каждая величина силы тока и заряда входит в формулу с коэффициентом c^{-1} . Например, закон Био-Савара-Лапласа приобретает вид:

$$d\mathbf{B} = \frac{1}{c} \frac{I[d\mathbf{l}, \mathbf{r}]}{r^3} \quad (13)$$

б) если токов и зарядов в формуле нет, то каждая электрическая величина приносит множитель c . Например, закон электромагнитной индукции Фарадея представляется как:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}. \quad (14)$$

Законы постоянных и квазистационарных токов не зависят явно от формы записи основных законов электрического и магнитного взаимодействия и поэтому выражаются одинаково во всех системах, в том числе и в СИ. Например, закон Ома для неоднородного участка электрической цепи:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}}{R_{12}}. \quad (15)$$

Для перевода формул электродинамики из системы СИ в систему Гаусса следует в формулах, записанных в системе СИ, заменить величину D на величину $D/4\pi$ (электрическое смещение), величину H на величину $H/4\pi$ (напряженность магнитного поля) и множители $4\pi\epsilon_0$ и $\mu_0/4\pi$ положить, равными единице. Кроме того, в формулах электромагнетизма нужно ввести электродинамическую постоянную "с" согласно приведенным выше рекомендациям а) и б). В качестве подтверждения приводим совокупность уравнений Максвелла в дифференциальной форме, записанных в системе СИ и Гаусса:

| Система СИ | Система СГС-Гаусса |
|--|---|
| $\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$ | $\operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi\rho$ |
| $\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$ | $\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c}\partial\mathbf{B}/\partial t$ |
| $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$ | $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$ |
| $\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \partial\mathbf{D}/\partial t$ | $\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c}\left(\mathbf{j} + \frac{1}{4\pi}\frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}\right)$ |

Приложение 2. Обозначения единиц измерения физических величин

| | | |
|-----------------|----------------------|---------------------|
| А – ампер | Гц – герц | П – пуаз |
| Å – ангстрем | Дж – джоуль | Па – паскаль |
| атм – атмосфера | дин – дина | рад – радиан |
| Б – бел | К – кельвин | с – секунда |
| бар – бар | кал – калория | См – сименс |
| В – вольт | кгс – килограмм-сила | Т – тесла |
| Вб – вебер | Кл – кулон | Ф – фарад |
| Вт – ватт | м – метр | ч – час |
| Гн – генри | мин – минута | Э – эрстед |
| г – грамм | Мкс – максвелл | эВ – электрон-вольт |
| Гс – гаусс | Н – ньютон | эрг – эрг |

Приложение 3. Десятичные приставки к названиям единиц

| | | |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Г – гига – 10^9 | д – деци – 10^{-1} | мк – микро – 10^{-6} |
| М – мега – 10^6 | с – санти – 10^{-2} | н – нано – 10^{-9} |

к – кило – 10^3 м – мили – 10^{-3} п – пико – 10^{-12}

Приложение 4. Единицы физических величин в системе СИ и СГС (гауссовой)

| Величина | | Единица измерения | | Отношение ед. СИ ед. СГС |
|-------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Обозначение | Название | СИ | СГС | |
| l | длина | м | см | 10^2 |
| t | время | с | с | 1 |
| m | масса | кг | г | 10^3 |
| F | сила | Н | дин | 10^5 |
| p | давление | Па | дин/см ² | 10^7 |
| W | энергия | Дж | эрг | 10^7 |
| P | мощность | Вт | эрг/с | 10^7 |
| ν | частота колебаний | Гц | Гц | 1 |
| ρ | плотность | кг/м ³ | г/см ³ | 10^{-3} |
| η | вязкость | Па·с | П | 10 |
| T | температура | К | К | 1 |
| q | электрический заряд | Кл | СГСЭ _q | $3 \cdot 10^9$ |
| φ | потенциал | В | СГСЭ _φ | 1/300 |
| E | напряженность эл. поля | В/м | СГСЭ _E | $1/(3 \cdot 10^4)$ |
| D | электрическое смещение | Кл/м ² | СГСЭ _D | $12\pi \cdot 10^5$ |
| p | электр. диполь момент | Кл·м | СГСЭ _p | $3 \cdot 10^{11}$ |
| C | емкость | Ф | см | $9 \cdot 10^{11}$ |
| I | сила тока | А | СГСЭ _I | $3 \cdot 10^9$ |
| j | плотность тока | А/м ² | СГСЭ _j | $3 \cdot 10^5$ |
| R | электр. сопротивление | Ом | СГСЭ _R | $1/(9 \cdot 10^9)$ |
| σ | электр. проводимость | См | СГСЭ _σ | $9 \cdot 10^{11}$ |
| ρ | удельное сопротивление | Ом·м | СГСЭ _ρ | $1/(9 \cdot 10^9)$ |
| B | магнитная индукция | Т | Гс | 10^4 |
| Φ | магнитный поток | Вб | Мкс | 10^8 |
| H | напряженность магн. поля | А/м | СГСЭ _H | $4\pi \cdot 10^{-3}$ |
| L | индуктивность | Гн | см | 10^9 |
| p_m | магнитный момент | А·м ² | СГСМ _{p_m} | 10^3 |
| J | намагниченность | А/м | СГСМ _J | 10^{-3} |

Приложение 5. Некоторые внесистемные единицы

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м} = 10^{-8} \text{ см}$$

$$1 \text{ атм} = 101,3 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт.ст.}$$

$$1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$$

$$1 \text{ кВт·ч} = 3,6 \text{ МДж}$$

| | | | | |
|---------|-------|-----|------|---|
| Нихром | 103,0 | 0,4 | 20,0 | |
| Хромель | 70,0 | 0,4 | 28,0 | - |

Приложение 8. Удельные термоэдс распространенных термопар \mathcal{E} .

| Термопара | \mathcal{E} , мкВ/К | Термопара | \mathcal{E} , мкВ/К |
|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Висмут – сурьма | 110 | Медь – константан | 42 |
| Хромель – копель | 66 | Хромель – алюмель | 41 |
| Железо – константан | 58 | Платина – платинородий | 6,1 |

Приложение 9. Условные обозначения, наносимые на шкалы приборов

| Наименование | Условное обозначение | Расшифровка |
|--------------------------------|------------------------------|--|
| Назначение прибора | A | Амперметр |
| | V | Вольтметр |
| | W | Ваттметр |
| | kWh | Счетчик электроэнергии |
| | Ω | Омметр |
| | G | Гальванометр |
| | Hz | Частотомер |
| | ϕ | Фазометр |
| Система стрелочного прибора | | Магнитоэлектрическая |
| | | Электромагнитная |
| | | Электродинамическая |
| | | Ферродинамическая |
| | | Электростатическая |
| | | Индукционная |
| | | Термоэлектрическая |
| | | Выпрямительная |
| | | Тепловая |
| | | Вибрационная |
| Обозначения по защите от полей | | Электронная |
| | | Прибор защищен железным экраном от внешних магнитных полей |
| | | Прибор защищен от внешних электростатических полей |
| Класс точности | 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 | Класс точности образцовых приборов |

| | | |
|--------------------|--------------------|--|
| | 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 | Класс точности технических приборов |
| Род тока | — | Постоянный |
| | ~ | Переменный, однофазный |
| | ⌚ | Постоянный и переменный |
| | ≈ | Переменный, трехфазный |
| Положение прибора | ⊥ или ↑ | Вертикальное |
| | ┌ или → | Горизонтальное |
| | ∠60° | Наклонное, под углом 60° |
| Прочие обозначения | 27 Ом | Величина внутреннего сопротивления |
| | ☆ или ⚡ 2 кV | Испытательное напряжение изоляции измерительной цепи от корпуса |
| | ⚡ | Предостерегающий знак о несоответствии прочности изоляции нормам |
| | ⚠ | Знак предупреждения о наличии дополнительных указаний в паспорте к прибору |

Приложение 10. Таблица перевода децибел в отношении напряжений (токов) и мощностей

| Децибелы Дб | Отношение напряжений (токов) | | Отношение мощностей | |
|----------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| | Ослабление | Усиление | Ослабление | Усиление |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0,8913 | 1,1220 | 0,7943 | 1,2590 |
| 2 | 0,7943 | 1,2590 | 0,6310 | 1,5850 |
| 3 | 0,7079 | 1,4125 | 0,5012 | 1,9953 |
| 4 | 0,6310 | 1,5850 | 0,3981 | 2,5119 |
| 5 | 0,5623 | 1,7764 | 0,3162 | 3,1623 |
| 6 | 0,5012 | 1,9952 | 0,2512 | 3,9810 |
| 7 | 0,4467 | 2,2386 | 0,1995 | 5,0119 |
| 8 | 0,3981 | 2,5119 | 0,1585 | 6,3096 |
| 9 | 0,3548 | 2,8185 | 0,1259 | 7,9433 |
| 10 | 0,3162 | 3,1623 | 0,1 | 10 |
| 20 | 10 ⁻¹ | 10 | 10 ⁻² | 10 ² |
| 30 | 3,162·10 ⁻² | 3,162·10 | 10 ⁻³ | 10 ³ |
| 40 | 10 ⁻² | 10 ² | 10 ⁻⁴ | 10 ⁴ |
| 50 | 3,162·10 ⁻³ | 3,162·10 ² | 10 ⁻⁵ | 10 ⁵ |
| 60 | 10 ⁻³ | 10 ³ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁶ |
| 70 | 3,162·10 ⁻³ | 3,162·10 ³ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁷ |
| 80 | 10 ⁻⁴ | 10 ⁴ | 10 ⁻⁸ | 10 ⁸ |
| 90 | 3,162·10 ⁻⁵ | 3,162·10 ⁴ | 10 ⁻⁹ | 10 ⁹ |
| 100 | 10 ⁻⁵ | 10 ⁵ | 10 ⁻¹⁰ | 10 ¹⁰ |
| 110 | 3,162·10 ⁻⁶ | 3,162·10 ⁵ | 10 ⁻¹¹ | 10 ¹¹ |
| 120 | 10 ⁻⁶ | 10 ⁶ | 10 ⁻¹² | 10 ¹² |

Литература

1. Евсюков А.А. Электротехника,- М.: Просвещение, 1979.
2. Чертов А.Г. Физические величины.- М.: Высшая школа, 1990.
3. Власов А.Д., Мурин Б.П. Единицы физических величин в науке и технике: Справочник.- М.: Наука, 1990,
4. Лабораторные работы общего физического практикума. Раздел "Электричество и магнетизм". Под ред. Баширова Ф.И. и Захарова Ю.А. - Казань: КГУ, 2006.

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение. Классификация электроизмерительных приборов | 3 |
| Глава 1. Электромеханические приборы прямого действия..... | 4 |
| § 1. Основные характеристики приборов..... | 4 |
| Род тока. | 4 |
| Чувствительность и цена деления | 4 |
| Внутреннее сопротивление | 5 |
| Пределы измерений..... | 5 |
| Класс точности..... | 6 |
| Пробивное напряжение изоляции..... | 6 |
| Обозначения, наносимые на шкалу | 7 |
| § 2. Принцип действия приборов прямого действия..... | 7 |
| Приборы магнитоэлектрической системы..... | 8 |
| Электромагнитные приборы | 9 |
| Приборы электродинамической системы | 10 |
| Приборы ферродинамической системы | 10 |
| Приборы электростатической системы..... | 11 |
| Глава 2. Вспомогательные приборы..... | 12 |
| § 1. Шунты и добавочные сопротивления | 12 |
| § 2. Реостаты, потенциометры и магазины сопротивлений..... | 13 |
| § 3. Трансформаторы..... | 14 |
| Глава 3. Приборы сравнения | 15 |
| § 1. Принцип действия измерительных мостов..... | 15 |
| § 2. Мост универсальный Е7-4..... | 16 |
| Глава 4. Цифровые приборы | 19 |
| § 1. Частотомер электронно-счетный ЧЗ-34..... | 19 |
| § 2. Вольтметр универсальный (цифровой) В7-16А..... | 22 |
| Глава 5. Радиоизмерительные приборы..... | 24 |
| § 1. Электронно-лучевой осциллограф С1-68 | 24 |
| § 2. Генератор низкочастотных сигналов ГЗ-56/1..... | 28 |
| § 3. Генератор стандартных сигналов Г4-18А..... | 31 |
| Глава 6. Источники питания..... | 33 |
| § 1. Источники переменного тока..... | 33 |
| § 2. Источники постоянного тока | 34 |

| | |
|--|----|
| Источник постоянного напряжения Б5-8..... | 34 |
| Стабилизированный выпрямитель ТЕС-88.. | 35 |
| Источники постоянного тока и напряжения Б5-46 – Б5-50..... | 36 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 38 |
| Приложение 1. Системы электрических и магнитных величин СГСЭ, СГСМ, СИ и СГС (Гаусса)..... | 38 |
| Приложение 3. Обозначения единиц измерения физических величин ... | 42 |
| Приложение 4. Десятичные приставки к названиям единиц..... | 42 |
| Приложение 5. Некоторые внесистемные единицы | 42 |
| Приложение 2. Единицы физических величин в СИ и СГС (гауссовой).. | 41 |
| Приложение 6. Основные физические постоянные..... | 42 |
| Приложение 7. Удельные термоэдс распространенных термопар \mathcal{E} | 43 |
| Приложение 8. Электрические характеристики металлов и сплавов | 43 |
| Приложение 9. Условные обозначения, наносимые на шкалы приборов.. | 43 |
| Приложение 10. Таблица перевода децибел в отношении напряжений (токов) и мощностей | 45 |
| Литература..... | 45 |