

**Э. А. Хрусталева
С. В. Парфенов**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЗАДАЧАХ, ВОПРОСАХ И УПРАЖНЕНИЯХ

ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА



Рецензенты:
зам. директора ГОУ СПО Каир В. П. Петров;
преподаватель высшей квалификационной категории 14 разряда ЕТС
Московского техникума космического приборостроения Н. Т. Катулин

Хрусталева З. А.
Х955 Электрические и электронные измерения в задачах, вопросах и упражнениях : учеб. пособие для студ. сред. проф. образования / З. А. Хрусталева, С. В. Парфенов. — М. : Издательский центр «Академия», 2009. — 176 с.

ISBN 978-5-7695-4697-6

Приведены краткие теоретические сведения об измерительных приборах и справочный материал, который поможет сформировать навыки определения основных метрологических характеристик приборов (погрешности измерения, частотного диапазона, диапазона измерения параметров) по изображениям их лицевых панелей. Рассмотрены примеры решения задач и даны задачи для самостоятельного решения с ответами

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.396.6(075.32)
ББК 31.221я723

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

© Хрусталева З. А., Парфенов С. В., 2009
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2009
ISBN 978-5-7695-4697-6 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2009

Настоящее учебное пособие составлено на основе действующих примерных программ курсов электрических и электронных измерений и является первой попыткой создания сборника задач, вопросов и упражнений по дисциплинам этих курсов в свете требований реформы профессиональной школы с целью повысить качество подготовки квалифицированных специалистов.

Собранный и систематизированный материал данной книги является результатом многолетнего опыта преподавания авторами общепрофессиональных дисциплин «Электрорадиоизмерения», «Электротехнические измерения», «Измерительная техника» и «Электрические измерения» в Московском техникуме космического приборостроения.

Для овладения специальностью необходимо не просто усвоить определенные теоретические знания, но и научиться применять их на практике при решении реальных задач, связанных с выбором того или иного измерительного прибора. Требуется также научиться определять основные метрологические характеристики, а следовательно, возможности прибора для обеспечения решения измерительных задач с наименьшей погрешностью. Поэтому авторы стремились максимально отразить в данном учебном пособии реальные метрологические задачи, возникающие как в процессе обучения студентов, так и в последующей их профессиональной деятельности.

В целях облегчения работы над задачами в начале каждой главы учебного пособия приведены необходимые краткие теоретические сведения, в приложениях указаны требуемые справочные данные, а также предложен объемный иллюстративный материал.

Рассмотрены примеры решения типовых задач, приведены задачи, упражнения и вопросы для самостоятельного решения и даны ответы к ним.

Решение задач поможет студентам в получении необходимых знаний по электрическим и электронным измерениям, а также более глубокому и всестороннему усвоению программного материала. Многообразие приведенных задач позволит студентам почувствовать специфику профессии.

Авторы стремились строго придерживаться принципа обеспечения каждой новой типовой задачи подробным решением и соответствующим пояснением в целях облегчения последующей самостоятельной работы студентов над аналогичными задачами.

Особое внимание следует обратить на использование в данном учебном пособии обозначений единиц измерения: на лицевых панелях рассматриваемых отечественных приборов разработчиками использовались международные обозначения, а в тексте при изложении материала согласно сложившейся в России практике — русские. Соответствие международных обозначений и русских показано в приложении 1 и 2.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- C — цена деления (постоянная прибора)
- S — чувствительность прибора
- $r_{A,V}$ — внутреннее сопротивление амперметра, вольтметра
- $A_{ш}$ — пересчетный коэффициент шкалы в многопредельном приборе
- A — действительное значение измеряемой величины (показание рабочего прибора)
- A_0 — истинное значение измеряемой величины (показание образцового прибора)
- $A_{ном}$ — номинальное значение
- A_{max} — максимальное значение измеряемого параметра
- A_{min} — минимальное значение измеряемого параметра
- P_V — потребляемая вольтметром мощность
- P_A — потребляемая амперметром мощность
- I_V — потребляемый вольтметром ток
- U_A — падение напряжения на амперметре
- ν — точность измерения
- Δ — абсолютная погрешность
- γ_A — относительная действительная погрешность измерения
- $\gamma_{пр}$ — относительная приведенная погрешность (класс точности)
- k_1, k_2, \dots, k_n — показатели степени
- c — поправка
- R — сопротивление резистора
- W_C — энергия, запасенная конденсатором
- W_L — энергия, запасенная катушкой индуктивности
- C — емкость конденсатора
- L — индуктивность катушки
- f — высокая (несущая) частота
- F — низкая частота
- β — коэффициент усиления транзисторов
- D_I — диапазон измерения силы тока
- D_U — диапазон измерения напряжения
- $D_{(f)}$ — диапазон измерения частоты
- $R_{в.т}$ — удельное сопротивление по постоянному току (указывается в паспорте на мультиметр)
- $R_{в.т}$ — удельное сопротивление по переменному току
- r_x — измеряемое сопротивление резистора

- ▶ 0 ← — установка показаний индикатора на нуль
- ▼ — калибровка
- $U_{дБ}$ — напряжение, измеряемое в децибелах
- C_x — цена одного деления масштабной сетки осциллографа по горизонтали
- C_y — цена одного деления масштабной сетки осциллографа по вертикали
- S_x — чувствительность осциллографа по каналу X
- S_y — чувствительность осциллографа по каналу Y
- A_x — значение параметра сигнала по горизонтали
- A_y — значение параметра сигнала по вертикали
- n_x — линейный размер параметра по горизонтали в делениях (клетках) масштабной сетки осциллографа
- n_y — линейный размер параметра по вертикали в делениях (клетках) масштабной сетки осциллографа
- $A_U (K_U)$ — коэффициент усиления по напряжению
- U^0 — уровень логического нуля (значение напряжения в нуле)
- U^1 — уровень логической единицы (значение напряжения в единице)
- $h_{21б} (h_{21β})$ — коэффициент передачи тока в схеме с общей базой (общим эмиттером)
- $I_{к,об} (I_{CBO})$ — обратный ток коллектора (ток неосновных носителей)
- U_p — прямое напряжение
- $I_{обп}$ — обратный ток
- $U_{ст}$ — напряжение стабилизации
- h_{22} — выходная проводимость
- $f_{гп}$ — граничная частота
- $U_{01} (U_{02})$ — выходное напряжение на первом (втором) выходе микросхемы
- $U_{10} (U_{см})$ — напряжение смещения
- $I_{пот}$ — потребляемый ток
- $I_{вх} (I_1, I_2)$ — входной ток (на прямом — 1 и инвертирующем — 2 входах)
- $U_{исп}$ — напряжение источника питания
- U_m — амплитудное значение напряжения
- U — среднеквадратическое значение синуса идеального напряжения

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО МЕТРОЛОГИИ

Рассмотрим классификацию шкал аналоговых приборов по различным признакам.

1. Различают равномерную (линейную) и неравномерную шкалы.

Равномерной является шкала прибора, имеющая деления постоянной длины и постоянную цену деления (рис. 1.1, а). Равномерная шкала используется только в приборах магнитоэлектрической системы.

Неравномерной является шкала прибора, имеющая деления непостоянной длины и непостоянную цену деления (рис. 1.1, б). Неравномерная шкала используется в приборах выпрямительной, термоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, ферродинамической и электростатической систем.

2. Различают прямую и обратную шкалы.

Прямая шкала отградуирована слева направо, т.е. нуль на прямой шкале расположен слева (рис. 1.2, а). Это самая распространенная шкала в аналоговых приборах.

Обратная шкала отградуирована справа налево, т.е. нуль на обратной шкале расположен справа (рис. 1.2, б). Такая шкала ис-

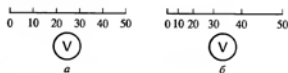


Рис. 1.1. Примеры равномерной (а) и неравномерной (б) шкал приборов

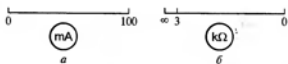


Рис. 1.2. Примеры прямой (а) и обратной (б) шкал приборов

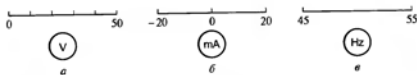


Рис. 1.3. Примеры односторонней (а), двухсторонней (б) и безнулевой (в) шкал приборов

пользуется в аналоговых мультиметрах при отсчете значений сопротивления резисторов и емкости конденсаторов.

3. По положению нуля на шкале и направлению отклонения стрелки индикатора различают *одностороннюю* и *двухстороннюю* шкалы. Существует также *безнулевая* шкала.

При использовании односторонней шкалы (самой распространенной) стрелка индикатора отклоняется при измерении только в одну сторону от нуля (рис. 1.3, а).

При использовании двухсторонней шкалы стрелка индикатора при измерении может отклоняться как вправо, так и влево от нуля. Причем при отклонении стрелки влево от нуля прибор показывает отрицательные значения измеряемой величины, а при отклонении вправо — положительные (рис. 1.3, б). Такую шкалу имеют гальванометры и измерительные аналоговые универсальные мосты.

Безнулевая шкала индикатора не имеет нулевого значения. Такая шкала используется в генераторах для установки частоты, длительности импульсов, временного сдвига и в электромеханических частотомерах (рис. 1.3, в).

Шкала аналогового прибора имеет рабочий участок, представляющий собой часть шкалы, в пределах которой погрешность показаний данного прибора не выходит за указанный класс точности.

Например, для шкалы миллиамперметра, показанной на рис. 1.4, а, рабочим является участок от 10 до 50 мА, который также определяет его диапазон измерения, если прибор однопредельный.

Для шкалы вольтметра, показанной на рис. 1.4, б, рабочим является участок от 3 до 10 В.

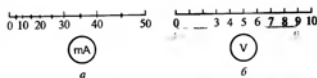


Рис. 1.4. Примеры (а, б) шкал приборов с разными рабочими участками

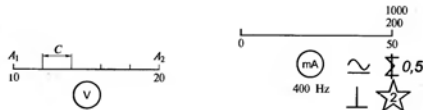


Рис. 1.5. Изображение деления шкалы вольтметра

Рис. 1.6. Изображение шкалы миллиамперметра

Иными словами, завод-изготовитель гарантирует указанный класс точности прибора начиная с первого оцифрованного деления шкалы индикатора.

Деление шкалы — это промежуток между двумя соседними ее отметками (рис. 1.5).

Цена деления (постоянная прибора) — это число единиц измеряемой величины, приходящееся на одно деление шкалы:

$$C = \frac{A_2 - A_1}{n}$$

Например, на рис. 1.5 цена деления шкалы

$$C = \frac{(20 - 10) \text{ мА}}{5 \text{ дел.}} = 2 \text{ мА/дел.}$$

Цена деления неравномерной шкалы определяется на участке (только не в ее начале) между двумя соседними оцифрованными делениями.

Чувствительность — это число делений шкалы, приходящееся на единицу измеряемой величины, т.е. это величина, обратная цене деления:

$$S = \frac{1}{C} = \frac{n}{A_2 - A_1} = \frac{1}{2 \text{ мА/дел.}} = 0,5 \text{ дел./мА.}$$

Чувствительность многопредельного прибора определяется для самого малого его предела измерения.

Коэффициент шкалы ($K_{ш}$) — это отношение предельных значений двух диапазонов измерений: используемого и исходного, для которого проградуирована шкала.

Коэффициент шкалы в однопредельных приборах всегда равен единице, а в многопредельных — имеет свое значение для каждого предела измерения.

Так, например, в трехпредельном миллиамперметре с пределами 50; 200; 1000 мА (рис. 1.6) шкала прибора проградуирована для одного предела — 50 мА, но она также может применяться

для измерения токов и в остальных указанных пределах посредством умножения этого значения на соответствующий $K_{ш}$. В данном случае для шкалы с $I_{ном} = 200$ мА коэффициент $K_{ш} = \frac{200 \text{ мА}}{50 \text{ мА}} = 4$,

а для шкалы с $I_{ном} = 1000$ мА коэффициент $K_{ш} = \frac{1000 \text{ мА}}{50 \text{ мА}} = 20$.

Номинальное значение шкалы прибора определяется по формуле

$$A_{ном} = A_{max} - A_{min}$$

где A_{max} — верхний предел шкалы прибора; A_{min} — нижний предел шкалы прибора.

В приборах с односторонней шкалой $A_{ном} = A_{max}$, т. е. на рис. 1.3, а $A_{ном} = 50$ В.

В приборах с двухсторонней шкалой $A_{ном} = A_{max} - (-A_{min}) = 2A_{max}$, т. е. на рис. 1.3, б $A_{ном} = 40$ мА.

В приборах с безнулевой шкалой $A_{ном} = A_{max} - A_{min}$, т. е. на рис. 1.3, в $A_{ном} = 10$ Гц.

Для грамотного использования приборов при измерениях, т. е. для обеспечения минимальной погрешности измерения, необходимо учитывать частотный диапазон применимости приборов: различать приборы, предназначенные для цепей постоянного тока, переменного тока и универсальные.

В приборах для цепей постоянного тока частота равна нулю, а частотный диапазон электромеханических приборов переменного тока и универсальных обычно указывают на шкалах и в паспортах. Например, частотный диапазон применимости миллиамперметра, показанного на рис. 1.6, составляет от 0 до 400 Гц.

Внутреннее сопротивление прибора (амперметра, вольтметра) обычно указывается в паспорте и прямо или косвенно на лицевой панели. Для амперметров характерно малое внутреннее сопротивление — r_A , а для вольтметров большое — r_V .

Потребляемая мощность для вольтметров определяется по формуле $P_V = U_{ном}^2 / r_V$, а для амперметров по формуле $P_A = I_{ном}^2 r_A$.

Потребляемый вольтметром ток $I_V = U_{ном} / r_V$, а *падение напряжения на амперметре* $U_A = I_{ном} r_A$.

Рабочее положение прибора может быть горизонтальное, вертикальное или наклонное (с указанием угла наклона). Знаки, наносимые на шкалы для указания рабочего положения прибора, представлены в приложении 4. Если соответствующего знака на шкале нет, значит, положение прибора может быть любым.

Шаг шкалы — это интервал между двумя соседними оцифрованными делениями на шкале прибора. Например, если на шкале индикатора оцифрованы деления 0, 10, 20, 30, 40, 50, то шаг шкалы равен 10.

Род тока указывается на шкале прибора с помощью следующих знаков: «—» — приборы, предназначенные для работы только в цепях постоянного тока, «~» — приборы для цепей переменного тока, «↔» — универсальные.

Действительное значение измеренной величины А — это значение, полученное с помощью рабочего прибора.

Истинное значение измеренной величины А_и — это (с определенным допуском) значение, полученное с помощью образцового прибора.

Основное требование, предъявляемое к образцовому прибору, следующее: погрешность его измерения должна быть на один-два порядка меньше погрешности измерения рабочего прибора. Однако существует прямая связь между погрешностью измерения прибора и его стоимостью, т. е. прибор, имеющий в 100 раз меньшую погрешность, и стоит в 100 раз больше. Следовательно, использование образцовых приборов для массовых измерений экономически нецелесообразно, поэтому в лабораториях учебных заведений и на производстве чаще всего используются рабочие приборы, а образцовые приборы применяются в основном для поверки рабочих приборов.

Соотношения между кратны, дольными и основными единицами измерений, которые необходимо знать при решении задач, приведены в приложении 2.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Краткие теоретические сведения

Погрешностью называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

В электрорадиоизмерениях различают несколько видов погрешностей, которые можно подразделить на две большие группы: *основные* и *дополнительные*.

Основная погрешность определяется при нормальных условиях работы измерительного прибора, т. е. при определенных температуре, влажности окружающей среды, давлении, частоте, форме и значении питающего напряжения, а также при его рабочем положении (для электромеханических приборов).

Дополнительная погрешность появляется при отклонении величин, влияющих на результат измерения, от нормальных значений.

Нормальные условия работы для измерительных приборов следующие:

- температура $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность $(60 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление $(750 \pm 30) \text{ мм рт. ст.}$

При работе питания прибора от сети переменного тока напряжение питания может отличаться от нормального (номинального) значения не более чем на $\pm 10 \%$ (198...242 В) при частоте $(50 \pm 1) \text{ Гц}$.

Основная погрешность включает в себя систематическую и случайную составляющие.

Систематическая погрешность при повторных измерениях одной и той же величины одним и тем же прибором остается постоянной или изменяется по определенному закону. Она легко обнаруживается и может быть исключена из результата измерений.

Приведем практические рекомендации по уменьшению систематической погрешности:

- предварительная (перед измерением) установка на нуль стрелки индикатора в аналоговых электромеханических приборах, которая осуществляется механическим корректором, выведенным под щит в нижней части индикатора, а в цифровых и аналоговых электронных приборах — специальным регулировочным потенциометром, выведенным на лицевую панель прибора и обозначенным

символом $\blacktriangleright 0 \blacktriangleleft$ или надписью «Уст.0». Причем механическая установка нуля выполняется при выключенном приборе, а электронная — при включенном приборе и закороченном входе;

- предварительная (перед измерением) калибровка прибора. Регулировочный потенциометр обычно имеют только электронные приборы и то далеко не все. Такой потенциометр чаще всего выведен на лицевую панель и обозначен символом \blacktriangledown или надписью «Калибр». Прибор при этом должен быть выключен;
- введение поправки (с).

Случайная погрешность при повторных измерениях изменяется случайным образом. Она резко выделяется на фоне систематической погрешности и возникает часто в результате оплошности оператора (ошибочных отсчета или записи показаний, влияния природных или техногенных факторов и др.).

Основным способом уменьшения случайной погрешности является обработка результатов измерений методами статистики и теории вероятности.

Измерения классифицируются по определенным признакам, например по способу получения результата измерения они подразделяются на *прямые* и *косвенные*.

При прямых измерениях искомая величина определяется непосредственно прибором: ток — амперметром, напряжение — вольтметром и т. д.

При косвенных измерениях искомая величина определяется посредством выполнения определенных математических действий с использованием результатов измерений, например измерение частоты осциллографом.

Специалисту необходимо уметь быстро и уверенно оценивать погрешность того или иного измерения, наиболее часто встречающегося по роду его профессиональной деятельности, поэтому далее рассмотрим количественную оценку основной систематической погрешности прямых и косвенных измерений.

Абсолютная погрешность измерения

$$\Delta = |A_{\text{н}} - A| \quad (2.1)$$

Так как абсолютная погрешность не дает представления о точности измерения, используют *относительную действительную погрешность* измерения (или установки) параметра, %

$$\gamma_{\text{д}} = \frac{\Delta}{A} 100. \quad (2.2)$$

Относительная приведенная погрешность измерения^н, %

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta_{\text{н\text{ом}}}}{A_{\text{ном}}} 100. \quad (2.3)$$

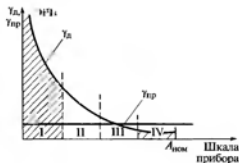


Рис. 2.1. Графики зависимостей γ_d и $\gamma_{гр}$ от положения стрелки измерительного прибора с односторонней шкалой

Примеры определения $A_{ном}$ для аналоговых приборов с различной шкалой см. в гл. 1.

Для пояснения приведенных далее практических выводов пользователю (оператору) проанализируем формулы (2.2) и (2.3), построив для примера графики зависимостей γ_d и $\gamma_{гр}$ от показания прибора (положения стрелки) с односторонней шкалой (рис. 2.1).

Поделив шкалу прибора (от нуля до $A_{ном}$) на четыре четверти I...IV, увидим, что γ_d максимальна в четверти I шкалы прибора и минимальна в четверти IV. На основании этого утверждения можно сделать следующие практические выводы для оператора.

1. Для получения наименьшей погрешности измерения γ_d необходимо использовать четверть IV или III шкалы прибора и не выполнять измерения, если его стрелка находится в четверти II, а тем более I.

2. Относительная приведенная погрешность $\gamma_{гр}$ не зависит от показаний прибора.

На основании второго вывода ГОСТ 8.401—80 определяет девять классов точности приборов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

В приборах самого высокого первого класса точности $\gamma_{гр} = 0,02\%$, а в приборах самого низкого девятого класса точности $\gamma_{гр} = 4\%$.

Класс точности всегда указывается на лицевой панели прибора соответствующей цифрой без знака процентов.

Если в формулу (2.2) подставить абсолютную погрешность, определенную из выражения (2.3), получим формулу, связывающую γ_d и $\gamma_{гр}$:

$$\gamma_d = \gamma_{гр} \frac{A_{ном}}{A} \quad (2.4)$$

Большинство радиоизмерительных приборов по классам точности не подразделяются. Значение их абсолютной или относительной погрешности приводится в техническом паспорте в виде конкретной цифры или формулы. Например, в паспорте на низкочастотный генератор ГЗ-107 указана относительная действительная погрешность установкой частоты в следующем виде:

$$\gamma_{дР} = \pm \left(3 + \frac{30}{F} \right)$$

Погрешности косвенных измерений определяются по следующей формуле:

$$\gamma_d = |k_1 \gamma_{d1}| + |k_2 \gamma_{d2}| + \dots + |k_n \gamma_{dn}| \quad (2.5)$$

где k_1, k_2, \dots, k_n — показатели степени (как известно, они могут быть положительными и отрицательными, целыми и дробными); $\gamma_{d1}, \gamma_{d2}, \dots, \gamma_{dn}$ — относительные действительные погрешности результатов прямых измерений.

Необходимо отметить, что относительные действительная и приведенная погрешности могут быть как положительными, так и отрицательными.

На практике формула (2.5) чаще всего ограничивается двумя слагаемыми.

Косвенные измерения основываются на использовании следующих известных зависимостей:

$$U = I^1 R^1, \quad k_1 = 1, k_2 = 1;$$

$$I = \frac{U}{R} = U^1 R^{-1}, \quad k_1 = 1, k_2 = -1;$$

$$R = \frac{U}{I} = U^1 I^{-1}, \quad k_1 = 1, k_2 = -1;$$

$$P = U^1 I^1, \quad k_1 = 1, k_2 = 1;$$

$$P = \frac{U^2}{R} = U^2 R^{-1}, \quad k_1 = 2, k_2 = -1;$$

$$P = I^2 R = I^2 R^1, \quad k_1 = 2, k_2 = 1;$$

$$W_C = \frac{C^1 U^2 \xi}{2}, \quad k_1 = 1, k_2 = 2;$$

$$W_L = \frac{L I^2 \xi}{2}, \quad k_1 = 1, k_2 = 2;$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi} L^{-1/2} C^{-1/2}, \quad k_1 = -1/2, k_2 = -1/2;$$

$$F = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{R^{-1}C^{-1}}{2\pi}, \quad k_1 = -1, k_2 = -1.$$

Точность и относительная погрешность измерений связаны между собой обратной зависимостью: $v = 1/\gamma_d$.

2.2. Примеры решения задач

Пример 2.1. Измерены два значения напряжения 50 и 400 В вольтметром с номинальным значением 400 В с одной и той же абсолютной погрешностью 1 В. Требуется определить погрешность измерения какого из указанных значений напряжения меньше.

Решение. При определении погрешности измерений необходимо правильно ввести обозначения исходных данных.

Так как измерение напряжений выполняется рабочим вольтметром, в данной задаче

$$U_1 = 50 \text{ В}, U_2 = 400 \text{ В}, \Delta_1 = \Delta_2 = 1 \text{ В}.$$

Вид шкалы вольтметра в условии задачи не указан, следовательно, используется прибор с односторонней шкалой, у которой $A_{\min} = 0$, $A_{\max} = 400 \text{ В}$, поэтому $u_{\text{ном}} = 400 \text{ В}$.

Погрешность измерения определяем по формуле (2.2):

$$\gamma_{d1} = \frac{\Delta}{U_{d1}} 100 = \frac{1 \text{ В}}{50 \text{ В}} 100 \% = 2 \%;$$

$$\gamma_{d2} = \frac{\Delta}{U_{d2}} 100 = \frac{1 \text{ В}}{400 \text{ В}} 100 \% = 0,25 \%.$$

Отличие погрешностей измерения одним и тем же вольтметром напряжений 50 и 400 В в 8 раз объясняется с помощью рис. 2.1, т. е.



Рис. 2.2. Положения стрелки вольтметра при измерении напряжений 50 (а) и 400 В (б)

при измерении $U_1 = 50 \text{ В}$ стрелка индикатора вольтметра будет находиться в первой четверти шкалы (рис. 2.2, а), а при измерении $U_2 = 400 \text{ В}$ — в четвертой четверти (рис. 2.2, б).

Пример 2.2. В результате калибровки вольтметра магнитоэлектрической системы со шкалой 0...50 В и шагом шкалы 10 В получены следующие показания образцового вольтметра:

U_i , В	0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
$U_{\text{из}}$, В	0,2	10,2	19,9	30,3	39,5	50,9

Требуется определить относительную приведенную погрешность измерения и назначить класс точности прибора.

Решение. Для определения $\gamma_{\text{пр}}$ используем формулу (2.3).

Максимальная абсолютная погрешность измерения $\Delta_{\text{ном}} = 50,9 - 50 = 0,9 \text{ В}$, номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 50 - 0 = 50 \text{ В}$, тогда

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{0,9 \text{ В}}{50 \text{ В}} 100 \% = 1,8 \%.$$

Полученное значение не попадает в существующие классы точности прибора, поэтому присваиваем данному вольтметру ближайший больший класс точности — 2,5 %.

Следует отметить, что класс точности прибора, определяя приведенную погрешность, не является непосредственным показателем точности измерений. Для доказательства этого утверждения рассмотрим следующую задачу.

Пример 2.3. Для измерения тока 4 мА имеются два миллиамперметра: первый — класса точности 1 % с верхним пределом 20 мА и второй — класса точности 2,5 % с верхним пределом 5 мА. Требуется определить, каким прибором заданный ток можно измерить с меньшими абсолютной и относительной погрешностями.

Решение. Относительные действительные погрешности измерения определяем по формуле (2.4):

$$\gamma_{d1} = \gamma_{\text{пр1}} \frac{I_{\text{ном1}}}{I} = 1 \% \frac{20 \text{ мА}}{4 \text{ мА}} = 5 \%;$$

$$\gamma_{d2} = \gamma_{\text{пр2}} \frac{I_{\text{ном2}}}{I} = 2,5 \% \frac{5 \text{ мА}}{4 \text{ мА}} = 3,125 \%.$$

Следовательно, стрелка второго миллиамперметра (более низкого класса точности) при измерении будет находиться в четвертой четверти шкалы, а стрелка первого миллиамперметра, имеющего класс точности 1 %, — в первой.

Абсолютные погрешности измерения определяем по формуле (2.2):

$$\Delta_1 = \frac{\gamma_{\text{н1}} I_1}{100} = \frac{5\% \cdot 4 \text{ мА}}{100\%} = 0,2 \text{ мА};$$

$$\Delta_2 = \frac{\gamma_{\text{н2}} I_2}{100} = \frac{3,125\% \cdot 4 \text{ мА}}{100\%} = 0,125 \text{ мА}.$$

Для пояснения, каким образом в целях получения наименьшей погрешности измерения обеспечивается нахождение стрелки индикатора в четвертой или третьей четверти шкалы, рассмотрим следующий пример.

Пример 2.4. Для измерения напряжения 20 В имеется многопредельный вольтметр с пределами 7,5, 15, 30, 60 В класса точности 0,5 %. Требуется выбрать оптимальный предел измерения вольтметра и оценить погрешность этого измерения. Варианты положения стрелки прибора показаны на рис. 2.3.

Решение. Представим положение стрелки вольтметра в каждом из четырех указанных пределов измерения заданного напряжения.

Оптимальным положением стрелки вольтметра для данного измерения, а следовательно, для обеспечения меньшей погрешности является в пределе 30 В.

По формуле (2.4) находим

$$\gamma_{\text{н}} = 0,5\% \frac{30 \text{ В}}{20 \text{ В}} = 0,75\%.$$

Пример 2.5. Требуется определить относительную и абсолютную погрешности установки частоты 90 Гц на генераторе ГЗ-107, если в его паспорте указана $\gamma_{\text{нF}} = \pm(3 + 30F)$.

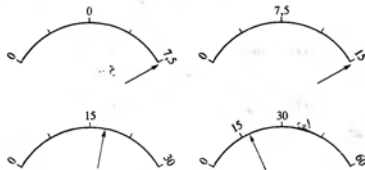


Рис. 2.3. Варианты положения стрелки вольтметра при измерениях в различных пределах

Решение. Относительная погрешность

$$\gamma_{\text{нF}} = \pm \left(3 + \frac{30}{90} \right) = \pm 3,3\%.$$

Абсолютную погрешность установки частоты 90 Гц определяем из формулы (2.2):

$$\Delta_1 = \frac{\gamma_{\text{нF}} F}{100} = \frac{\pm 3,3\% \cdot 90 \text{ Гц}}{100\%} = 3 \text{ Гц}.$$

Пример 2.6. Определить абсолютную и относительную погрешности установки частоты 200 Гц на генераторе ГЗ-34, если в его паспорте указана $\Delta_F = \pm(1 + 0,02F)$.

Решение. Абсолютная погрешность установки частоты

$$\Delta_F = \pm(1 + 0,02 \cdot 200 \text{ Гц}) = \pm 5 \text{ Гц}.$$

Относительную погрешность установки частоты находим по формуле (2.2):

$$\gamma_{\text{нF}} = \frac{\pm 5 \text{ Гц} \cdot 100\%}{200 \text{ Гц}} = \pm 2,5\%.$$

В практике электрорадиоизмерений прибор часто не соответствует установленному заводом-изготовителем классу точности из-за его естественного износа (старения) или вследствие неправильной эксплуатации. В этом случае возможны два варианта действий: замена такого прибора исправным или использование его с учетом графика поправок.

Рассмотрим второй вариант на примере следующей задачи.

Пример 2.7. Имеется миллиамперметр с шагом шкалы 20 мА и номинальным значением 100 мА класса точности 0,2 %. Подключим к нему шунта расширив предел измерения до 200 мА. При этом для проверки соответствия измерения заявленному заводом классу точности подключили образцовый миллиамперметр и получили следующие показания:

$$I_1 \text{ 0; 20; 40; 60; 80; 100 мА};$$

$$I_2 \text{ 0; 40; 80; 120; 160; 200 мА};$$

$$I_{\text{н}} \text{ 0,2; 40,2; 80,3; 121,5; 161; 202 мА},$$

а абсолютная погрешность измерения составила: 0,2; 0,2; 0,3; 1,5; 1,0; 2,0 мА.

Требуется рассчитать и построить график поправок для данных измерений.

Решение. Найдем относительную приведенную погрешность по формуле (2.3):

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{I_{\text{ном2}}} 100 = \frac{2 \text{ мА} \cdot 100\%}{200 \text{ мА}} = 1\%.$$

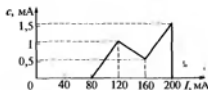


Рис. 2.4. График поправок к примеру 2.7

Следовательно, класс точности прибора не сохранился (и соответствует заводскому). Для обеспечения возможности дальнейшего использования прибора из формулы (2.3) определим его максимальную допустимую абсолютную погрешность при заводском классе точности 0,2%:

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{\gamma_{\text{гр}} I_{\text{ном2}}}{100} = \frac{200 \text{ мА} \cdot 0,2\%}{100\%} = 0,4 \text{ мА}.$$

Так как абсолютная погрешность не постоянна, поправка расчитывается следующим образом: $c = 0$, если $\Delta \leq \Delta_{\text{max}}$; $c = \Delta - \Delta_{\text{max}}$ если $\Delta > \Delta_{\text{max}}$.

Для рассматриваемого прибора поправки по оцифрованным делениям шкалы составят соответственно: 0; 0; 0; 1,1; 0,6; 1,6, график поправок будет иметь вид, показанный на рис. 2.4.

Проверим правильность полученного графика поправок.

Предположим, что миллиамперметром был измерен ток 160 мА.

С учетом поправки $I = 160 + 0,6 = 160,6 \text{ мА}$.

Абсолютная погрешность $\Delta = I_n - I = 161 \text{ мА} - 160,6 \text{ мА} = 0,4 \text{ мА}$, что не превышает рассчитанную Δ_{max} .

Относительная приведенная погрешность

$$\gamma_{\text{гр}} = \frac{0,4 \text{ мА} \cdot 100\%}{200 \text{ мА}} = 0,2\%.$$

Рассмотрим задачу на косвенные измерения.

Пример 2.8. Измерены напряжение на резисторе 40 В вольтметром с верхним пределом 50 В класса точности 1% и ток 2 мА миллиамперметром с абсолютной погрешностью 0,1 мА.

Требуется определить сопротивление резистора, а также абсолютную и относительную погрешности полученного измерения.

Решение. Для определения сопротивления резистора используем закон Ома:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{40 \text{ В}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 20 \text{ 000 Ом} = 20 \text{ кОм}.$$

Формулу для расчета R перепишем в виде $R = U^1 I^{-1}$, откуда можно записать, что $k_1 = 1$, $k_2 = -1$.

В формулу для определения погрешности косвенных измерений (2.5) вместо $\gamma_{\text{из}}$ подставим $\gamma_{\text{из}^k}$, так как k_1 относится к напряжению, а вместо $\gamma_{\text{из}^2}$ подставим $\gamma_{\text{из}^k}$, так как k_2 относится к току, т.е. запишем

$$\gamma_{\text{из}R} = |k_1 \gamma_{\text{из}^1}| + |k_2 \gamma_{\text{из}^2}|.$$

Напряжение и ток измерялись прямым методом, следовательно, используя формулы (2.2) и (2.4) для прямых измерений, найдем

$$\gamma_{\text{из}U} = \gamma_{\text{гр}} \frac{U_{\text{ном}}}{U} = 1\% \frac{50 \text{ В}}{40 \text{ В}} = 1,25\%;$$

$$\gamma_{\text{из}I} = \frac{\Delta I}{I} 100 = \frac{0,1 \text{ мА}}{2 \text{ мА}} 100\% = 5\%.$$

Тогда $\gamma_{\text{из}R} = |1 \cdot 1,25\%| + |-1 \cdot 0,5\%| = 1,75\%$.

Абсолютную погрешность сопротивления резистора найдем из формулы (2.2):

$$\Delta R = \frac{\gamma_{\text{из}R} R}{100} = \frac{1,75\% \cdot 20 \text{ кОм}}{100\%} = 0,35 \text{ кОм}.$$

2.3. Задачи для самостоятельного решения

2.1. Для измерения тока 8 мА использовали многопределный миллиамперметр с пределами измерения 5; 15; 30; 60 мА, класса точности 0,5%.

Выбрать оптимальный предел измерения и оценить погрешность выполненного измерения.

2.2. У вольтметра с $U_{\text{ном}} = 30 \text{ В}$ и $\gamma_{\text{гр}} = 1\%$ посредством использования добавочного резистора расширили номинальное значение до 60 В. Шкала вольтметра имеет шаг 5 В. При поверке получили следующие показания образцового вольтметра:

U, В	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
U _{из} , В	5,2	10,2	15,3	19,6	25,4	31,0	35,7	40,8	45,5	54,0	56,0	61,0

Рассчитать и построить график поправок для вольтметра при заводском (1%) классе точности.

2.3. При измерении напряжения постоянного тока цифровым вольтметром В7-16 с пределами 1: 10; 100; 1000 В получено значение 5,7 В.

Выбрать оптимальный предел измерения и определить абсолютную и относительную погрешности указанного измерения, если в паспорте приведена формула расчета приведенной погрешности

$$\gamma_{пр} = \pm \left(0,1 + 0,1 \frac{U_{ном}}{U} \right).$$

2.4. Для измерения напряжения 150 мВ с частотой 100 кГц использовали вольтметр В3-38.

Определить абсолютную и относительную погрешности этого измерения, если в паспорте вольтметра указаны следующие технические характеристики:

а) диапазон измеряемых напряжений от 100 мкВ до 300 В перекрывается следующими пределами:

мВ	1	3	10	30	100	300
В	1	3	10	30	100	300

б) диапазон частот измеряемых напряжений от 20 Гц до 5 МГц; в) в нормальной области частот от 45 Гц до 1 МГц основная погрешность, выраженная в процентах от конечного значения установленного предела измерения, не превышает $\pm 2,5\%$ в диапазоне 1...300 мВ и 4% в диапазоне 1...300 В;

г) в рабочих областях частот приведенные погрешности прибора не превышает следующих значений:

Предел измерения	Погрешность, %, в диапазоне		
	20...45 Гц	1...3 МГц	3...5 МГц
1...300 мВ	$\pm 4,0$	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$
1...300 В	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$	$\pm 6,0$

2.5. В результате поверки миллиамперметра класса точности 0,02%, имеющего $I_{ном} = 30$ мА и шкалу с шагом 2 мА, получили следующие показания образцового прибора: 2; 4; 5,9; 7,9; 10,1; 12,1; 14,0; 16,1; 17,9; 20,0; 21,9; 24,0; 26,0; 28,15; 30,1.

Оценить соответствие проверяемого миллиамперметра заводскому классу точности, рассчитать и построить график поправок при сохранении указанного класса точности.

2.6. Показание образцового миллиамперметра 1,68 мА, показания рабочего прибора 1,7 мА.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.7. Рабочий вольтметр с односторонней шкалой и пределом измерений 250 В показал значение 100 В, а образцовый — 102,5 В. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.8. При проведении градуировки вольтметра с $U_{ном} = 100$ В оказалось, что его показаниям 6 и 80 В соответствуют показания образцового вольтметра 5 и 79 В.

Определить погрешности этих измерений.

2.9. Определить погрешность установки частоты 15 кГц на генераторе ГЗ-102, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 200 кГц, перекрываемый следующими четырьмя поддиапазонами с плавной перестройкой внутри каждого из них:

1-й ($\times 1$) от 20 до 200 Гц,

2-й ($\times 10$) от 200 до 2000 Гц,

3-й ($\times 10^2$) от 2000 до 20000 Гц,

4-й ($\times 10^3$) от 20000 до 200000 Гц;

б) в диапазоне 20...20000 Гц приведенная погрешность по частоте не превышает значения $\gamma_{пр} = \pm \left(1 \cdot \frac{50}{F} \right)$, где F — устанавли-

ваемая по шкале частота, а в диапазоне 20...200 кГц $\gamma_{пр} = \pm 1,5\%$.

2.10. При поверке вольтметра магнитоэлектрической системы с $U_{ном} = 10$ В, имеющего шкалу с шагом 1 В, получили следующие показания образцового прибора: 0,2; 1,2; 2,3; 3,3; 4,4; 5,4; 6,5; 7,5; 8,5; 9,5; 10,5.

Определить приведенную погрешность измерения и построить график поправок при классе точности прибора 4,0%.

2.11. Миллиамперметр М4201 с верхним пределом 50 мА показал значение 25 мА, а образцовый прибор — 26 мА.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.12. При определении сопротивления резистора были измерены ток, проходящий через него, — 80 мА прибором с $I_{ном} = 100$ мА и $\gamma_{пр} = 1,0\%$ и мощность — 0,64 Вт ваттметром с $P_{ном} = 1$ Вт класса точности 2,5%.

Рассчитать сопротивление резистора, а также абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.13. При измерении значения тока 12 мА использовали два прибора: первый с $I_{ном1} = 20$ мА и $\gamma_{пр1} = 1,5\%$, второй с $I_{ном2} = 100$ мА и $\gamma_{пр2} = 0,5\%$.

Определить, какой из приборов измерит ток с меньшей погрешностью, и рассчитать абсолютные погрешности.

2.14. При измерении напряжения 8 В на частоте 1 МГц использовали электронный вольтметр В7-26 с высокочастотным пробником.

Определить оптимальный предел и рассчитать относительную действительную погрешность измерений при следующих технических характеристиках вольтметра:

- а) для постоянного тока диапазон измеряемых напряжений 0,1...300 В, а для переменного тока в области частот от 1 кГц до 1 000 МГц применение внешнего делителя ДН-519 обеспечивает измерение напряжения до 1 000 В;
- б) пределы измерения 1; 3; 10; 30; 100; 300 В;
- в) приведенные погрешности прибора при измерении переменного напряжения не превышают на различных частотах следующих значений:

Вид измерения	Поддиапазон с верхним пределом, В	Погрешность, %, при частотах					
		свыше 20 Гц до 1к Гц	свыше 1 кГц до 3 к Гц	свыше 3 кГц до 20 кГц	свыше 20 кГц до 50 МГц	свыше 50 кГц до 300 МГц	свыше 300 кГц до 600 МГц
Через входные гнезда	300					±2,0	
С внешним делителем ДН-518 (1 : 1000)	1					±2,0	
С пробником	100	±2,0			±5,0	±10,0	
С внешним делителем ДН-519 (1 : 100)	1,3 и 10	—	±3,0		±10,0		

2.15. При поверке вольтметра со шкалой от 0 до 50 В получили следующие значения абсолютных погрешностей: -0,1; 0,2; -0,05; -0,15.

Определить приведенную погрешность измерения и назначить класс точности вольтметра.

2.16. Абсолютная погрешность измерений при использовании вольтметра М24-07 постоянна и равна 0,5 В.

Рассчитать поправку и истинные значения следующих измеренных этим прибором напряжений: 10, 15, 20, 25, 30 В.

2.17. Частотомером с номинальным значением 100 Гц класса точности 4,0 % измерены два значения частоты 20 и 100 Гц.

Определить абсолютные и относительные погрешности измерений.

2.18. Приведенная погрешность электронного вольтметра В3-38 в пределах измерения 1...300 мВ не превышает ±2,5 %, а в преде-

лах измерения 1...300 В не превышает ±4 %. Диапазон измеряемых вольтмером напряжений перекрывается следующими пределами: 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В.

Определить погрешность измерения напряжения 4 В, выбрав оптимальный предел.

2.19. Определить, с какой абсолютной погрешностью будет установлена частота 1,9 кГц на генераторе Г3-7А, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 10 МГц, перекрываемый следующими восемью поддиапазонами:

- 1-й от 20 до 200 Гц, 5-й от 200 до 500 кГц,
 2-й от 200 до 2 000 Гц, 6-й от 500 кГц до 1,4 МГц,
 3-й от 2 до 20 кГц, 7-й от 1,4 до 4 МГц,
 4-й от 20 до 200 кГц, 8-й от 4 до 10 МГц;

б) основная погрешность по частоте не превышает 2 %.

2.20. Вольтметром М4202 измерены два значения напряжения 20 и 100 В с одной и той же абсолютной погрешностью 0,5 В.

Определить, относительная погрешность какого измерения будет меньше.

2.21. При определении мощности были измерены ток 80 мА прибором с $I_{ном} = 100$ мА и $\gamma_{пр} = 0,5$ % и сопротивление 100 Ом с абсолютной погрешностью 1 Ом.

Определить мощность косвенным методом, а также абсолютную и относительную погрешности измерения ее значений.

2.22. На базе микроамперметра магнитоэлектрической системы с $I_{ном} = 7,5$ мкА и $\gamma_{пр} = 1,5$ % выполнена выпрямительная схема. При проверке градуировки этого прибора получены следующие показания образцового микроамперметра: 1,1; 2,3; 3,3; 4,4; 5,0; 6,1; 7,2; 7,5.

Что необходимо сделать, чтобы после подключения выпрямительной схемы микроамперметр имел прежний класс точности?

2.23. Какова погрешность измерения напряжения 5 В вольтметром электромагнитной системы с $U_{ном} = 50$ В и $\gamma_{пр} = 2,5$ %?

2.24. Определить абсолютную погрешность установки частоты 3 МГц на генераторе Г4-18А, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 100 кГц до 35 МГц, перекрываемый следующими шестью поддиапазонами:

- 1-й от 0,1 до 0,3 МГц, 4-й от 3 до 10 МГц,
 2-й от 0,3 до 1,0 МГц, 5-й от 10 до 20 МГц,
 3-й от 1 до 3 МГц, 6-й от 20 до 35 МГц;

б) погрешность установки частоты не более 1 %.

2.25. Измеренное значение тока 49,9 мА, а его истинное значение 50 мА.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.26. При проверке миллиамперметра с $I_{ном} = 10$ мА образцовым прибором получены следующие значения абсолютной погрешности: 0,05; -0,03; 0,04; -0,08; 0,06.

Определить приведенную погрешность и назначить класс точности миллиамперметра.

2.27. Определить, какова должна быть поправка, чтобы вольтметр М4201 с $U_{ном} = 10$ В имел класс точности 4 %, если при его проверке получены следующие значения:

U_i , В	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
$U_{из}$, В	0,2	1,2	2,3	3,3	4,4	5,4	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5

2.28. Определить погрешность измерения напряжения 37,5 В вольтметром электродинамической системы с $\gamma_{доп} = 4\%$ и следующими пределами измерений: 7,5; 15; 75; 150 В.

2.29. Определить абсолютную погрешность установки частоты 0,06 МГц на генераторе Г4-42, имеющем следующие технические характеристики:

- а) диапазон генерируемых частот от 12 кГц до 10 МГц, перекрываемый шестью следующими поддиапазонами:
- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1-й от 12 до 28 кГц, | 4-й от 300 до 1000 кГц, |
| 2-й от 28 до 85 кГц, | 5-й от 1 до 3 МГц, |
| 3-й от 85 до 300 кГц, | 6-й от 3 до 10 МГц; |

б) погрешность установки частоты не более 1 % в диапазоне от 85 кГц до 10 МГц и не более 1,5 % в диапазоне от 12 до 85 кГц?

2.30. Для определения электрической энергии в конденсаторе измерили его емкость 20 мкФ с абсолютной погрешностью 0,5 мкФ и напряжение на нем 9 В вольтметром с $U_{ном} = 10$ В и $\gamma_{доп} = 4\%$.

Расчитать значение электрической энергии в конденсаторе и абсолютную и относительную погрешности ее измерения.

2.31. На резисторе имеется надпись 510к ± 5 %. В результате измерения сопротивления этого резистора получено значение 480 кОм.

Определить, входит ли указанное сопротивление в границы допуска.

2.32. В цепи постоянного тока 3,5 А с напряжением 127 В включенный ваттметр, имеющий $P_{ном} = 750$ Вт, показал значение 456 Вт.

Определить истинное значение мощности в цепи и абсолютную и относительную погрешности ее измерения.

2.33. Выбрать оптимальный предел и определить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения вольтметром В3-38, имеющим следующие пределы: 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 1; 10; 30; 100; 300 В, если на частоте 5 МГц получено значение напряжения 14,1 мВ. Приведенные погрешности в рабочих областях частот вольтметра указаны в следующей таблице:

Предел измерения	Погрешность, %, в диапазоне частот		
	20...45 Гц	1...3 МГц	3...5 МГц
1...300 мВ	±4,0	±4,0	±6,0
1...300 В	±4,0	±6,0	±6,0

2.34. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения 40 мВ на частоте 800 Гц вольтметром типа В3-4 и оптимальный предел измерения при следующих технических характеристиках прибора:

а) диапазон измеряемых напряжений 1...1000 мВ, перекрываемый пятью поддиапазонами с пределами измерения 10; 30; 100; 300; 1000 мВ. Применение внешнего делителя 1:100 повышает предел измерения до 100 В;

б) основная приведенная погрешность для нормальной области частот от 400 Гц до 20 кГц не превышает ±2 %;

в) приведенная погрешность для рабочих областей частот 20...500 кГц и 40...400 Гц не превышает ±4 %, для частот от 500 кГц до 5 МГц — ±6 %, а для частот от 5 до 30 МГц — ±12 %.

2.35. В цепи постоянного тока с напряжением 20,8 В, внутренним сопротивлением 0,4 Ом и включенным резистором с сопротивлением 10 Ом амперметр показал значение тока 2,02 А.

Определить истинное значение тока в цепи и абсолютную и относительную погрешности его измерения.

2.36. При проверке градуировки шкалы рабочего вольтметра с $U_{ном} = 100$ В оказалось, что его отсчетам 5 и 70 В соответствуют показания образцового вольтметра 4 и 69 В.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения в обоих случаях.

2.37. Рабочим вольтметром с $U_{ном} = 50$ В измерили напряжение 40 В, при этом образцовый прибор показал значение 39 В.

Определить абсолютную, относительную действительную, относительную приведенную погрешности измерения и назначить класс точности прибора.

2.38. Частотомером вибрационной системы с безнулевой шкалой 45...55 Гц класса точности 1% измерили значение частоты 50 Гц.

Определить погрешность измерения.

2.39. Определить абсолютную и относительную приведенную погрешности установки частоты 3 МГц на генераторе Г4-102, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот 0,1...50 МГц, перекрываемый восьмью поддиапазонами со следующими граничными частотами:

1-й от 0,1 до 0,18 МГц,	5-й от 1,7 до 4 МГц,
2-й от 0,18 до 0,35 МГц,	6-й от 4 до 10 МГц,
3-й от 0,35 до 0,75 МГц,	7-й от 10 до 20 МГц,
4-й от 0,75 до 1,7 МГц,	8-й от 20 до 50 МГц;

б) основная погрешность установки частоты не превышает 1%.

2.40. При измерении напряжения 6 В использовали два вольтметра: первый с $U_{ном1} = 10$ В и $\gamma_{гр1} = 2,5\%$, второй с $U_{ном2} = 50$ В и $\gamma_{гр2} = 1,0\%$.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения обоими вольтметрами.

2.41. Абсолютная погрешность измерения тока амперметром постоянна и составляет 0,1 мА.

Определить поправку и истинные значения следующих измеренных этим амперметром токов: 5, 6, 8, 10, 11 мА.

2.42. Для определения сопротивления резистора измерили напряжение 40 В вольтметром с $U_{ном} = 50$ В и $\gamma_{гр} = 1,0\%$ и ток 2 мА миллиамперметром с $I_{ном} = 3$ мА и $\gamma_{гр} = 1,0\%$.

Найти сопротивление резистора и абсолютную и относительную погрешности измерения этого сопротивления.

2.43. Цифровым вольтметром В7-16 с пределами измерения 1; 10; 100; 1 000 В измерили напряжение постоянного тока 3 В. В техническом паспорте вольтметра дана формула расчета приведенной погрешности $\gamma_{гр} = \left(0,1 + 0,1 \frac{U_{ном}}{U}\right)$.

Определить абсолютную и относительную погрешности указанного измерения.

2.44. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения амплитуды импульсного сигнала с напряжением 1 В и частотой следования 1 МГц осциллографом С1-72, имеющим погрешность измерения амплитуд импульсных сигналов в диапазоне от 48 мВ до 60 В с частотой не более 2 МГц при длительности импульсов не менее 0,2 мкс, не превышающую $\pm 10\%$.

2.45. Для определения сопротивления резистора измерили напряжение 40 В вольтметром с $U_{ном} = 50$ В и $\gamma_{гр} = 2,5\%$ и мощность 45 Вт ваттметром с $P_{ном} = 60$ Вт и $\gamma_{гр} = 4\%$.

Найти сопротивление резистора и абсолютную и относительную погрешности его измерения.

2.46. Абсолютные погрешности измерения напряжения вольтметром Э358 с односторонней шкалой 0...100 В составляют 1,0; -2,5; 0,8; -1,5; -1,75 В.

Определить класс точности этого вольтметра.

2.47. При проверке вольтметра с $U_{ном} = 15$ В и $\gamma_{гр} = 1,0\%$ получили следующие показания образцового прибора:

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{ном}$, В	1,1	1,9	3,2	4,1	4,9	5,8	7,3	8,3	9,0	10,1	11,2	11,96	13,1	14	15,05

Определить, соответствует ли прибор заводскому классу точности, и построить график поправок, необходимый для сохранения этого класса точности.

2.48. Определить абсолютную и относительную действительные погрешности установки частоты 8 кГц на генераторе ГЗ-34, имеющем частотный диапазон от 20 Гц до 20 кГц, если в его паспорте указана формула абсолютной погрешности $\Delta_f = \pm(0,02F + 1)$ Гц.

2.49. Определить погрешность измерения частоты синусоидального сигнала 0,1 Гц частотомером ЧЗ-54, если время счета составляет 1 мс, а время работы частотомера 11 месяцев. При этом относительная погрешность измерения частоты синусоидальных и импульсных сигналов данным частотомером находится в пределах значений, рассчитываемых по формуле

$$\gamma_{df} = \pm \left(\gamma_0 \frac{1}{F t_{сч}} \right), \quad \text{ш}$$

где γ_0 — относительная погрешность по частоте внутреннего кварцевого резонатора, составляющая не более $\pm 1,5 \cdot 10^{-7}$ в течение первого месяца, $\pm 2,5 \cdot 10^{-7}$ в течение шести месяцев и $\pm 5,0 \cdot 10^{-7}$ в течение 12 месяцев; F — измеряемая частота, Гц; $t_{сч}$ — время счета, с.

2.50. Абсолютная погрешность измерения напряжений 10, 20, 30, 40, 50, 60 В постоянна и составляет 0,3 В.

Определить поправку и истинные значения измеренных напряжений.

2.51. Для определения мощности были измерены напряжение на резисторе 40 мВ вольтметром с $U_{ном} = 50$ мВ и $\gamma_{гр} = 0,1\%$ и

сопротивление этого резистора 10 Ом с абсолютной погрешностью 0,05 Ом.

Найти мощность, выделяемую на резисторе, и абсолютную и относительную погрешности измерения этой мощности.

2.52. У миллиамперметра с $I_{ном} = 100$ мА и $\gamma_{пр} = 0,02\%$ (шкала с шагом 20 мА) с помощью шунта расширили предел измерения до 300 мА. При проверке градуировки миллиамперметра с помощью образцового прибора получили следующие значения I_x : 0; 60,1; 118,2; 179,5; 242,5; 303 мА.

Определить, соответствует ли миллиамперметр заводскому классу точности после подключения шунта, и пояснить, что необходимо сделать, чтобы у прибора остался прежний класс точности.

2.53. Каковы абсолютная и относительная погрешности измерения частоты 100 кГц аналоговым частотомером, имеющим одностороннюю шкалу с $F_{ном}$ равной 10; 20; 50; 100; 200; 500 кГц, и класс точности 1%?

2.54. Определить погрешность и оптимальный предел измерения напряжения 0,5 В с частотой 0,8 МГц вольтметром ВЗ-13 при следующих его технических характеристиках:

а) пределы измерения напряжений 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В;

б) частотный диапазон измеряемых напряжений от 20 Гц до 1 МГц;

в) приведенная погрешность прибора в пределе от 3 мВ до 1 В в диапазоне частот от 20 Гц до 1 МГц и в пределе от 3 до 300 В в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц не превышает $\pm 4\%$, а в пределе от 3 до 300 В в диапазоне частот от 20 кГц до 1 МГц — $\pm 6\%$.

2.55. Измеренное значение тока 10 мА, истинное — 10,8 мА, а номинальное значение прибора с односторонней шкалой 25 мА.

Определить абсолютную и относительные погрешности измерения и назначить класс точности прибора.

2.56. При определении резонансной частоты контура были измерены индуктивность катушки 300 мГн с абсолютной погрешностью 10 мГн и емкость конденсатора 300 пФ с абсолютной погрешностью 16 пФ.

Определить резонансную частоту и абсолютную и относительную погрешности ее измерения.

2.57. Для измерения тока 15 мА использовали два прибора: первый с $I_{ном1} = 20$ мА и $\gamma_{пр1} = 1,5\%$, а второй с $I_{ном2} = 100$ мА и $\gamma_{пр2} = 0,5\%$.

Определить, какой прибор имеет меньшую погрешность измерения.

2.58. Выбрать оптимальный предел и рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения 12,8 мВ с частотой 2,9 МГц вольтметром ВЗ-38, имеющим пределы измерения 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В при следующих значениях приведенной погрешности:

Предел измерения	Погрешность, %, в диапазоне частот		
	20...45 Гц	1...3 МГц	3...5 МГц
1...300 мВ	± 4	± 4	± 6
1...300 В	± 4	± 4	± 6

2.59. Определить абсолютную и относительную погрешности установки частоты 1 МГц на генераторе, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 100 до 25 000 кГц, переключаемый восьмью поддиапазонами со следующими граничными частотами:

1-й от 100 до 180 кГц,	5-й от 1 400 до 2 800 кГц,
2-й от 180 до 350 кГц,	6-й от 2 800 до 5 800 кГц,
3-й от 350 до 700 кГц,	7-й от 5 800 до 12 000 кГц,
4-й от 700 до 1 400 кГц,	8-й от 12 000 до 25 000 кГц;

б) основная погрешность установки частоты $\pm 1\%$?

2.60. Микроамперметр с пределами измерения 1,5; 7,5; 15; 60 мкА класса точности 0,2% показывает значение тока 1,2 мкА. Каковы оптимальный предел для проведения данного измерения и его абсолютная и относительная погрешности?

2.61. Каковы границы значений сопротивления резистора с надписью $470 \text{ к} \pm 5\%$?

2.62. Для определения электрической энергии в конденсаторе измерили емкость 10 мкФ с абсолютной погрешностью 0,5 мкФ и напряжение на нем 18 В вольтметром с $U_{ном} = 20$ В класса точности 4%.

Рассчитать значение электрической энергии и абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.63. Каковы абсолютная и относительная погрешности измерения напряжения переменного тока 10 В вольтметром В7-26 с приведенной погрешностью $\pm 2,5\%$ и пределами измерения 1; 3; 10; 30; 100; 300 В?

2.64. Определить абсолютную погрешность измерения амплитудного значения напряжения 1 В осциллографом, имеющим следующие технические характеристики:

а) диапазон амплитуд напряжения входного сигнала от 50 мВ до 1,5 В;

б) погрешность измерения амплитуды не более $\pm 10\%$;

в) погрешность измерения временных интервалов не более $\pm 10\%$.

2.65. Для определения сопротивления резистора прибором с $I_{ном} = 100$ мА и $\gamma_{гр} = 1,0\%$ измерили ток, проходящий через резистор, 80 мА и ваттметром с $P_{ном} = 1$ Вт и $\gamma_{гр} = 2,5\%$ мощность, потерь 0,64 Вт.

Рассчитать сопротивление резистора и абсолютную и относительную погрешности.

2.66. Для определения магнитной энергии катушки индуктивности измерили индуктивность 50 мГн с абсолютной погрешностью 0,5 мГн, ток 40 мА амперметром с $I_{ном} = 50$ мА и $\gamma_{гр} = 0,5\%$.

Рассчитать магнитную энергию W_L и абсолютную и относительную погрешности.

2.67. Многопредельный вольтметр М2001 с пределами измерения 0,3; 1,5; 7,5; 15; 75; 150 В класса точности 1,5% показал значение напряжения 16 В.

Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения этого напряжения.

2.68. Определить абсолютную и относительную приведенную погрешности установки частоты 15 МГц на приборе СЗ-3, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон частот от 150 кГц до 30 МГц, разделенный на пять следующих перекрываемых поддиапазонов:

1-й от 0,15 до 0,9 МГц, 4-й от 6,0 до 13,5 МГц,

2-й от 0,9 до 2,5 МГц, 5-й от 13,5 до 360 МГц.

3-й от 2,5 до 6,0 МГц,

б) погрешность установки частоты не более $\pm 6\%$.

2.69. Миллиамперметром класса точности 4%, имеющим шкалу от нуля до 100 мА, измерены два значения тока: 20 и 100 мА.

Определить абсолютную и относительную погрешности этих измерений.

2.70. При измерении напряжения вольтметром со шкалой от нуля до 60 В были получены пять значений абсолютных погрешностей: 1,0; -2,5; 0,8; -1,5; -1,75 В.

Определить приведенную погрешность и пояснить, что необходимо сделать, чтобы вольтметр соответствовал девятому классу точности (4%).

2.71. Вольтметром ВЗ-43 с пределами измерения 10; 30; 100 мВ и 0,3; 1; 3 В с приведенной погрешностью $\pm 2,5\%$ в частотном диапазоне от 20 Гц до 100 кГц измерено напряжение 15 мВ.

Рассчитать абсолютную и относительную погрешность измерения этого напряжения.

2.72. Определить абсолютную погрешность измерения напряжения 5 В осциллографом С1-67, имеющим следующие технические характеристики:

а) обеспечение возможности наблюдения формы импульсов полярностей в диапазоне от 5 мВ до 300 В;

б) погрешность измерения напряжения в условиях эксплуатации не более $\pm 12\%$?

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Таблица 3.1

Система прибора	Тип прибора	$I_{\text{ном}}$ мкА	$\gamma_{\text{пр}}$ %	$r_{\text{в}}$ Ом	C_1 дел./мкА	S_1 дел./мкА	$U_{\text{пр}}$ В	$P_{\text{пр}}$ мВт	Диапазон измерения тока $D = I_{\text{ном}} / I_{\text{мин}} - I_{\text{ном}} / I_{\text{макс}}$	Частотный диапазон $D_f = f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}$, Гц
	M265 Э412									

3.1. Краткие теоретические сведения

Для измерения тех или иных параметров в учебных лабораториях или на производстве бывает необходимо выбрать прибор, оценив его характеристики, причем не всегда на этот прибор имеется паспорт. Поэтому рассмотрим определение основных метрологических характеристик приборов, примеры расшифровки символов, изображаемых на их лицевых панелях, критерии сравнительного анализа и другие факторы.

Для примера возьмем изображения лицевых панелей двух микроамперметров, показанные на рис. 3.1. Определяемые характеристики этих приборов будем вносить в заранее подготовленную табл. 3.1*.

Необходимые характеристики найдем, используя теоретические сведения, приведенные в гл. 1.

Определим номинальные значения токов для обоих приборов, имеющих одностороннюю шкалу:

$$I_{\text{ном}1} = 50 - 0 = 50 \text{ мкА}; \quad I_{\text{ном}2} = 50 - 0 = 50 \text{ мкА}.$$

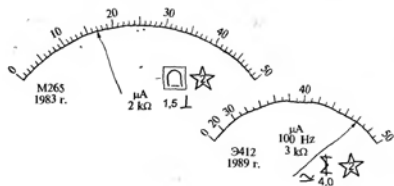


Рис. 3.1. Изображения шкал микроамперметров магнитоэлектрической и электромагнитной систем

* Для вольтметров составляется аналогичная таблица, в которой вместо $I_{\text{ном}}$ указывается значение $U_{\text{ном}}$, вместо $r_{\text{в}}$ — значение $r_{\text{в}}$, а вместо напряжения $U_{\text{ном}}$ — значение $I_{\text{пр}}$.

Классы точности приборов:

$$\gamma_{\text{пр}1} = 1,5\%; \quad \gamma_{\text{пр}2} = 4,0\%.$$

Внутренние сопротивления микроамперметров:

$$r_{\text{в}1} = 2 \text{ кОм}; \quad r_{\text{в}2} = 3 \text{ кОм}.$$

Цена делений приборов:

$$C_1 = \frac{(50 - 40) \text{ мкА}}{10 \text{ дел.}} = 1 \frac{\text{мкА}}{\text{дел.}}; \quad C_2 = \frac{(50 - 40) \text{ мкА}}{10 \text{ дел.}} = 1 \frac{\text{мкА}}{\text{дел.}}$$

Чувствительность микроамперметров:

$$S_1 = \frac{1}{C_1} = 1 \text{ дел./мкА}; \quad S_2 = \frac{1}{C_2} = 1 \text{ дел./мкА}.$$

Рассчитаем падение напряжений на приборах:

$$U_{\text{в}1} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,1 \text{ В};$$

$$U_{\text{в}2} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,15 \text{ В}.$$

Определим потребляемую приборами мощность (так как мощность в табл. 3.1 должна быть представлена в милливаттах, то результат расчета следует умножить на 10^3):

$$P_{\text{в}1} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ А}^2 \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot 10^3 = 0,005 \text{ мВт};$$

$$P_{\text{в}2} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ А}^2 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot 10^3 = 0,0075 \text{ мВт}.$$

Найдем рабочие участки шкал обоих приборов:

$$I_{\text{мин}1} = 10 \text{ мкА}, \quad I_{\text{макс}1} = 50 \text{ мкА};$$

$$I_{\text{мин}2} = 20 \text{ мкА}, \quad I_{\text{макс}2} = 50 \text{ мкА}.$$

Соответственно диапазоны измерения тока у приборов следующие:

$$D_{I1} = I_{\max 1} - I_{\min 1} = (50 - 10) \text{ мкА} = 40 \text{ мкА};$$

$$D_{I2} = I_{\max 2} - I_{\min 2} = (50 - 20) \text{ мкА} = 30 \text{ мкА}.$$

Частотные диапазоны приборов определяются аналогично диапазонам измерения тока. Отличие заключается лишь в том, что прибор магнитоэлектрической системы может использоваться только на постоянном токе, т. е. у него $D_f = 0$, информация о чем указана на изображении лицевой панели прибора М265.

Частотный диапазон прибора электромагнитной системы

$$D_{f2} = F_{\max 2} - F_{\min 2} = (100 - 0) \text{ Гц} = 100 \text{ Гц}.$$

3.2. Знаки и символы, наносимые на лицевой панели прибора

Приведем для примера расшифровку всех знаков и символов, помещенных на изображениях лицевых панелей приборов, показанных на рис. 3.1.

Прибор М265:

М — буквенный шифр магнитоэлектрической системы;

265 — номер разработки (модели);

1983 г. — год выпуска;

μА — микроамперметр;

2кΩ — внутреннее сопротивление 2 кОм;

— — предназначен для использования в цепях постоянного тока;

□ — графическое обозначение магнитоэлектрической системы, защищенной от действия внешних магнитных полей;

1,5 — класс точности;

⊥ — рабочее положение вертикальное;

☆ — измерительный механизм изолирован, и сопротивление изоляции испытано напряжением 2 кВ.

Прибор Э412:

Э — буквенный шифр электромагнитной системы;

412 — номер разработки;

1989 г. — год выпуска;

μА — микроамперметр;

100 Hz — частота;

3кΩ — внутреннее сопротивление;

⋈ — предназначен для использования в цепях переменного и постоянного тока;

⊕ — графическое обозначение электромагнитной системы;

4,0 — класс точности;

☆ — измерительный механизм изолирован, и сопротивление изоляции испытано напряжением 2 кВ.

3.3. Сравнительный анализ приборов

По полученным в подразд. 3.1 и 3.2 характеристикам проведем сравнительный анализ рассматриваемых приборов с указанием их достоинств и недостатков.

Приведем критерии, используемые при сравнительном анализе измерительных приборов:

- класс точности (чем меньше $\gamma_{пр}$, тем прибор лучше);
- внутреннее сопротивление (чем меньше $r_{в}$, тем лучше вольтметр);
- чувствительность (чем больше S , тем прибор лучше);
- падение напряжения на амперметре (чем меньше U_A , тем прибор лучше) либо потребляемый вольтметром ток (чем меньше I_V , тем прибор лучше);
- потребляемая прибором мощность (чем меньше P , тем прибор лучше);
- диапазон измерения параметра (чем он больше, тем прибор лучше);
- частотный диапазон (чем он больше, тем прибор лучше);
- вид шкалы (лучше прибор с равномерной шкалой);
- наличие защиты от внешних магнитных полей (прибор лучше при наличии такой защиты);
- год выпуска (чем прибор новее, тем он лучше);
- рабочее положение (лучше прибор, работающий в любом положении);
- по роду тока (лучше прибор универсальный).

На основании приведенных критериев сравним рассматриваемые приборы М265 и Э412.

Преимущества прибора М265:

- равномерная шкала;
- наличие защиты от влияния внешних магнитных полей;
- меньшая $\gamma_{пр}$;
- меньшее внутреннее сопротивление;
- меньшее падение напряжения;
- меньшая потребляемая мощность;
- более широкий диапазон измерения.

Недостатки прибора М265:

- неуниверсальный;
- более раннего года выпуска;
- работает только в вертикальном положении
- меньший частотный диапазон.

3.4. Оценка погрешности измерений

Для примера оценим погрешности измерения тока 25 мкА рас-
сматриваемыми приборами М265 и Э412, для чего используем
формулу (2.4):

$$\gamma_{a1} = 1,5\% \frac{50 \text{ мкА}}{25 \text{ мкА}} = 3\%; \quad \gamma_{a2} = 4,0\% \frac{50 \text{ мкА}}{25 \text{ мкА}} = 8\%.$$

3.5. Определение значения измеряемого параметра

Для примера найдем значения измеряемого тока по положени-
ям стрелок приборов, показанных на рис. 3.1, для чего используем
данные о цене деления шкал этих приборов из табл. 3.1:

$$I_1 = 17 \text{ мкА}; \quad I_2 = 47 \text{ мкА}.$$

Электромеханические приборы весьма разнообразны по назна-
чению, конструкции, принципу преобразования подводимой энер-
гии и метрологическим характеристикам.

Специальную систему маркировки, необходимую для получе-
ния достаточной информации об измерительном приборе, уста-
навливает ГОСТ 1845—59. Расшифровка условных обозначений,
наносимых на шкалах приборов, приведена в приложении 4.

3.6. Задачи для самостоятельного решения

3.1. На рис. 3.2 представлены шкалы двух измерительных при-
боров.

Требуется:

- 1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 3.1;
- 2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;
- 3) рассчитать погрешность измерения γ_a напряжения, равного 80 В, обоими приборами;

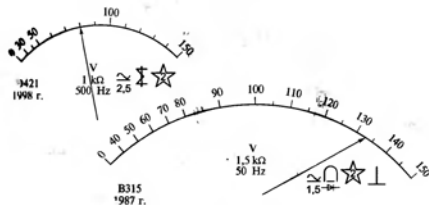


Рис. 3.2. Изображения шкал двух приборов к задаче 3.1

4) определить значения измеряемых напряжений, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рис. 3.2.

3.2. На рис. 3.3 представлены шкалы двух измерительных при-
боров.

Требуется:

- 1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 3.1;
- 2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;
- 3) рассчитать погрешность измерения γ_a тока, равного 250 мА, обоими приборами;
- 4) определить значения измеряемых токов, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рис. 3.3.

3.3. На рис. 3.4 представлены шкалы двух измерительных при-
боров.

Требуется:

- 1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 3.1;
- 2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;
- 3) рассчитать погрешность измерения γ_a напряжения, равного 220 В, обоими приборами;
- 4) определить значения измеряемых напряжений, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рис. 3.4.

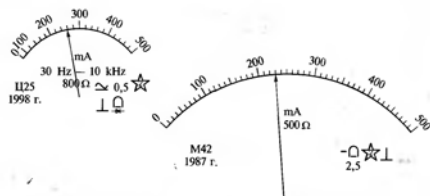


Рис. 3.3. Изображения шкал двух приборов к задаче 3.2

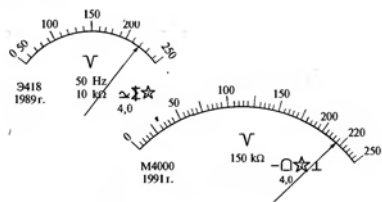


Рис. 3.4. Изображения шкал двух приборов к задаче 3.3



Рис. 3.5. Изображения шкал двух приборов к задаче 3.4

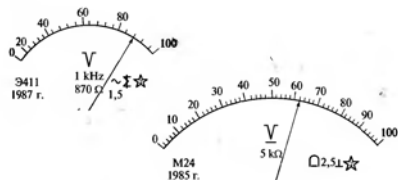


Рис. 3.6. Изображения шкал двух приборов к задаче 3.5

3.4. На рис. 3.5 представлены шкалы двух измерительных приборов.

Требуется:

1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 3.1;

2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;

3) рассчитать погрешность измерения γ_x тока, равного 15 мА, обоими приборами;

4) определить значения измеряемых токов, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рис. 3.5.

3.5. На рис. 3.6 представлены шкалы двух измерительных приборов.

Требуется:

1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 3.1;

2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;

3) рассчитать погрешность измерения γ_x напряжения, равного 80 В, обоими приборами;

4) определить значения измеряемых напряжений, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рис. 3.6.

3.7. На рис. 3.7 представлены шкалы двух измерительных приборов.

Требуется:

1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 3.1;

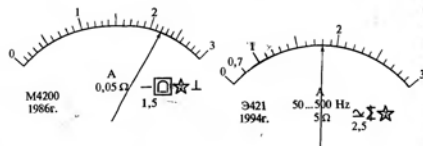


Рис. 3.7. Изображения шкал двух приборов к задаче 3.6

2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;

3) рассчитать погрешность измерения I_x тока, равного 2,5 А, обоими приборами;

4) определить значения измеряемых токов, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рис. 3.7.

4.1. Краткие теоретические сведения

Мультиметр также называют комбинированным прибором, тестером или ампервольтметром.

В настоящее время широко распространены аналоговые и цифровые мультиметры.

Аналоговый мультиметр включает в себя индикатор магнитоэлектрической системы, набор шунтов и добавочных резисторов. Для измерения переменных токов и напряжений в прибор также входит преобразователь переменного тока в постоянный, называемый выпрямителем (детектором), который выполнен по схеме двухполупериодного выпрямления. Для измерения активного сопротивления в аналоговом мультиметре предусмотрен химический источник питания, а для измерения больших значений сопротивлений подключают внешний источник напряжения в несколько десятков вольт.

К достоинствам мультиметров можно отнести:

- многофункциональность, т.е. возможность их использования для измерения большого числа параметров (тока, напряжения, активного сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, параметров маломощных транзисторов — $h_{21э}$, $I_{сб0}$ и т.д.);
- многопредельность, а следовательно, широкий диапазон измерения параметров;
- малые габаритные размеры, масса и цена;
- универсальность, т.е. возможность измерения переменных и постоянных токов и напряжений.

Недостатками мультиметров являются:

- узкий частотный диапазон;
 - большие приведенная и действительная погрешности измерения (причем и у цифровых мультиметров);
 - непостоянство входного сопротивления в различных пределах измерения;
 - большая потребляемая мощность из исследуемой цепи.
- Цифровые мультиметры имеют расширенный диапазон измеряемых параметров, при их использовании нет необходимости определять цену деления и коэффициент шкалы, а следовательно, исключается субъективная ошибка оператора, однако стоимость их выше, чем аналоговых.

На задней панели аналоговых мультиметров приводятся сведения, позволяющие определить входное сопротивление прибора в используемом пределе измерения.

Если тестер используется как вольтметр, то его входное сопротивление определяется по формуле

$$R_V = \frac{U_{ном}}{I}, \quad (4.1)$$

где $U_{ном}$ — выбранный предел измерения; I — значение тока, указанное на задней панели прибора.

Если тестер используется как амперметр, то его входное сопротивление рассчитывается по формуле

$$R_A = \frac{U}{I_{ном}}, \quad (4.2)$$

где $I_{ном}$ — выбранный предел измерения; U — значение напряжения, указанное на задней панели прибора.

В паспортах некоторых тестеров приводятся удельные сопротивления $R_{уд}$ по постоянному и переменному токам. В этом случае входное сопротивление тестера

$$R_V = R_{уд} \dot{U}_{ном}. \quad (4.3)$$

Малое внутреннее сопротивление тестера, используемого в качестве вольтметра, оказывает дестабилизирующее действие на исследуемую цепь, при этом кроме основной погрешности измерения появляется погрешность шунтирования. Следовательно, чем внутреннее сопротивление тестера, используемого для измерения напряжения, больше, тем лучше.

4.2. Примеры решения задач

Пример 4.1. На рис. 4.1 изображена лицевая панель мультиметра Ц4353. Требуется определить перечень измеряемых данным прибором параметров.

Решение. Рассмотрим изображение лицевой панели, начав с надписей под клеммами (зажимами) прибора. Зажим, обозначенный «*», является общим, т.е. он используется при измерении любого параметра.

Клемма, обозначенная буквами «pF», предназначена для измерения емкости конденсаторов, следовательно, при измерении емкости конденсаторов используются клеммы «*» и «pF».

Справа от клеммы «pF» расположена клемма, обозначенная «V, A, +Ω, -kΩ», т.е. мультиметром можно измерять напряжение, ток и сопротивление резисторов. Причем надпись «+Ω» означает, что для измерения сопротивления в омах следует использовать

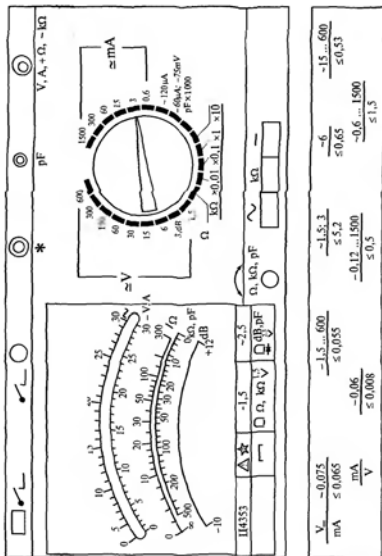


Рис. 4.1. Изображение лицевой панели мультиметра Ц4353 и данные с задней панели прибора, необходимые для определения его входного сопротивления

прямую шкалу, а в килоомах — обратную. Для измерения переменного тока предназначена верхняя шкала мультиметра, обозначенная знаком «~», а для измерения постоянного тока — шкала «-V, A».

Следовательно, окончательно можно утверждать следующее: мультиметром можно измерять напряжения постоянного и переменного токов, постоянный и переменный токи, сопротивление резисторов и емкость конденсаторов.

Пример 4.2. Требуется определить следующие паспортные характеристики мультиметра Ц4353: диапазоны измерения напряжения постоянного и переменного токов, диапазоны измерения постоянного и переменного токов, диапазоны измерения сопротивления резисторов и диапазон измерения емкости конденсаторов.

Решение. 1. Диапазон измерения напряжения постоянного тока находим по шкале, изображенной на рис. 4.2, а.

По переключателю пределов измерения определим номинальные напряжения $U_{ном\ min} = 75\text{ мВ}$ и $U_{ном\ max} = 600\text{ В}$.

Расчет минимального напряжения выполняется с учетом градуировки и коэффициента шкалы.

Так как $U_{ном\ min}$ не совпадает (не равно) с максимальным значением градуировки, то коэффициент шкалы $K_{ш} = \frac{75}{30} = 2,5$.

Первое оцифрованное деление на рассматриваемой шкале — 5. Умножив это значение на коэффициент шкалы, получим $U_{ном\ min} = 5 \cdot 2,5 = 12,5\text{ мВ}$.

Следовательно, граничные значения диапазона измеряемых мультиметром напряжений постоянного тока $U_{min} = 12,5\text{ мВ}$, $U_{max} = 600\text{ В}$.

2. Диапазон измерения напряжения переменного тока находим по шкале, изображенной на рис. 4.2, б:

$$U_{ном\ min} = 1,5\text{ В}; \quad U_{ном\ max} = 600\text{ В};$$

$$K_{ш} = \frac{1,5}{30} = 0,05; \quad U_{min} = 5 \cdot 0,05 = 0,25\text{ В}.$$

Следовательно, граничные значения диапазона измеряемых мультиметром напряжений переменного тока $U_{min} = 0,25\text{ В}$, $U_{max} = 600\text{ В}$.

3. Диапазон измерения постоянного тока находим по шкале, изображенной на рис. 4.2, в:

$$I_{ном\ min} = 60\text{ мкА}; \quad I_{ном\ max} = 1\,500\text{ мА};$$

$$K_{ш} = \frac{60}{30} = 2; \quad I_{min} = 5 \cdot 2 = 10\text{ мкА}.$$

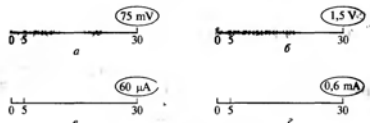


Рис. 4.2. Изображения (а...г) шкал мультиметра к примеру 4.2

Следовательно, $I_{min} = 10\text{ мкА}$, $I_{max} = 1\,500\text{ мА}$.

4. Диапазон измерения переменного тока находим по шкале, изображенной на рис. 4.2, г:

$$I_{ном\ min} = 0,6\text{ мА}; \quad I_{ном\ max} = 1\,500\text{ мА};$$

$$K_{ш} = \frac{0,6}{30} = 0,02; \quad I_{ном\ max} = 5 \cdot 0,02 = 0,1\text{ мА}.$$

Следовательно, $I_{min} = 0,1\text{ мА}$, $I_{max} = 1\,500\text{ мА}$.

5. Специфика нахождения диапазона измерения сопротивления резисторов заключается в том, что коэффициент шкалы при этом определять не требуется. Для определения R_{min} на шкале минимального предела измерения сопротивления « Ω » (см. рис. 4.1) найдем первое оцифрованное деление — 10. Для нахождения R_{max} максимальную цифру 500 на шкале « $k\Omega$ » умножим на максимальную цифру множителя по килоомам — 10, т.е. $R_{max} = 5\,000\text{ кОм} = 5\text{ МОм}$. Следовательно, $R_{min} = 10\text{ Ом}$, $R_{max} = 5\text{ МОм}$.

6. Диапазон измерения емкости конденсаторов определяется аналогично диапазону измерения сопротивления резисторов:

$$C_{min} = 10 \cdot 1\,000\text{ пФ} = 10\,000\text{ пФ} = 0,01\text{ мкФ};$$

$$C_{max} = 500 \cdot 1\,000\text{ пФ} = 500\,000\text{ пФ} = 0,5\text{ мкФ}.$$

Пример 4.3. Требуется определить цену деления и чувствительность по напряжению постоянного тока в пределе 1,5 В (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Фрагмент шкалы мультиметра к примеру 4.3

Решение. Коэффициент шкалы $K_{ш} = \frac{1,5}{30} = 0,05$, тогда

$$C_{1,5В} = \frac{(30 - 25) В}{5 \text{ дел.}} \cdot 0,05 = 0,05 \text{ В/дел.};$$

$$S_{1,5В} = \frac{1 \text{ дел.}}{0,05 В} = 20 \text{ дел./В.}$$

Пример 4.4. Требуется определить погрешность измерения мультиметром Ц4353 напряжения постоянного тока, равного 20 В.

Решение. Погрешность измерения вычислим по формуле (2.5).

На изображении лицевой панели мультиметра Ц4353 (см. рис. 4.1) находим его класс точности: $\gamma_{пр} = 1,5\%$. Выбираем предел

измерения напряжения $U_{ном} = 30 В$. Тогда $\gamma_{д} = 1,5\% \frac{30 В}{20 В} = 2,25\%$.

Пример 4.5. Требуется определить выходное сопротивление мультиметра Ц4353 в выбранном в примере 4.4 пределе измерения.

Решение. По условию примера 4.4 мультиметр применяется в качестве вольтметра, поэтому для расчета входного сопротивления используем формулу (4.1).

Значение тока, протекающего через мультиметр, найдем на

рис. 4.1 в знаменателе строки $\frac{V}{mA} - 1,5...600$ с задней панели при-

бора, т.е. в формулу (4.1) подставим значение тока, равное 0,055 мА, и выбранный предел измерения $U_{ном} = 30 В$:

$$r_v = \frac{U_{ном}}{I} = \frac{30 В}{0,055 \cdot 10^{-3} А} = 545 \text{ кОм.}$$

Пример 4.6. Требуется определить измеряемый параметр прибором при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 150V ;
 Нажатая кнопка $\leftarrow \rightarrow$
 Положение стрелки 22

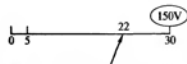


Рис. 4.4. Фрагмент шкалы мультиметра Ц4353 к примеру 4.6

Решение. Используя изображение фрагмента шкалы мультиметра, приведенный на рис. 4.4, рассчитаем коэффициент шкалы:

$$K_{\phi} = \frac{150}{30} = 5.$$

Результат измерения получим, умножив показание стрелки прибора на коэффициент шкалы: $U = 22 В \cdot 5 = 110 В$.

4.3. Задачи для самостоятельного решения

4.1. Для показанного на рис. 4.5 прибора определить:

- 1) все измеряемые параметры;
- 2) диапазон измерения напряжения постоянного тока;
- 3) в выбранном пределе погрешность измерения постоянного тока 25 мА;
- 4) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 3 задания;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 25 mA
 Нажатая кнопка $\leftarrow \rightarrow$
 Положение стрелки 40

6) входное сопротивление в пределе измерений, выбранном в п. 3 задания.

4.2. Для показанного на рис. 4.5 прибора определить:

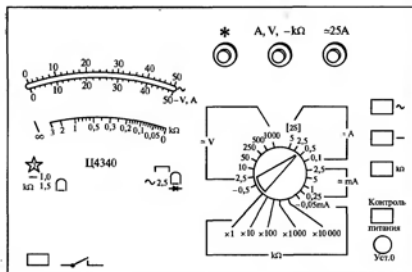
- 1) диапазон измерения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения переменного тока 2,5 мА;
- 3) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 2 задания;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 5 mA
 Нажатая кнопка $\leftarrow \rightarrow$
 Положение стрелки 30

5) входное сопротивление в пределе измерений, выбранном в п. 2 задания.

4.3. Для показанного на рис. 4.5 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения постоянного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения постоянного тока 5 В;
- 3) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 2 задания;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:



-0,5...1 000 V	≤ 50 μA	-50 μA ...25 A	≤ 0,75 V
-2,5 V	≤ 5 125 μA	~ 250 μA ...25 A	≤ 1,1 V
-10 V	≤ 1 025 μA		
-50 ... 1000 V	≤ 512,5 μA		

1000 V	45-60-4 000 Hz
250 V, 500 V	45-60-1000 Hz
0,5 ...25 A	45-60-5 000 Hz
2,5 ...50 V	
250 μA ...0,1 A	45-60-10 000 Hz

Рис. 4.5. Изображение лицевой панели мультиметра Ц4340 и данные, указанные на его задней панели

Положение переключателя пределов 10 V
 Нажатая кнопка ←→
 Положение стрелки 20

5) входное сопротивление в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.4. Для показанного на рис. 4.5 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения переменного тока 25 В;

50

- 3) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 2 задания;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 50 V
 Нажатая кнопка ←→
 Положение стрелки 40

5) входное сопротивление в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.5. Для показанного на рис. 4.5 прибора определить:

- 1) диапазон измерения сопротивления резисторов;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения сопротивления резистора 5 кОм;
- 3) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 2 задания;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов ×10kΩ
 Нажатая кнопка kΩ
 Положение стрелки 0,3

5) входное сопротивление в пределе измерения 1000 В.

4.6. Для показанного на рис. 4.6 прибора определить:

- 1) все измеряемые параметры;
- 2) диапазон измерения постоянного тока;
- 3) в выбранном пределе погрешность измерения постоянного тока 60 мкА;
- 4) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 3 задания;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 0,06 mA
 Положение переключателя параметров ←→
 Положение стрелки 24

6) чувствительность при измерении постоянного тока.

4.7. Для показанного на рис. 4.6 прибора определить:

- 1) диапазон измерения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения переменного тока 100 мкА;
- 3) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 2 задания;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 0,3 mA
 Нажатая кнопка ←→
 Положение стрелки 20

5) чувствительность при измерении переменного тока.

51

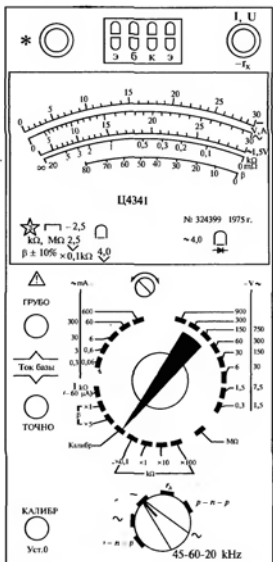


Рис. 4.6. Изображение лицевой панели мультиметра Ц4341

4.8. Для показанного на рис. 4.6 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения постоянного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения постоянного тока 5 В;

- 3) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 2 задания;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 6 В

Нажатая кнопка ←→

Положение стрелки 20

- 5) входное сопротивление в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания (в паспорте указано удельное сопротивление $R_{вх} - U = 16,7 \text{ кОм/В}$).

4.9. Для показанного на рис. 4.6 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения переменного тока 75 В;

- 3) цену деления шкалы в пределе, выбранном в п. 2 задания;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 150 В

Нажатая кнопка ←→

Положение стрелки 25

- 5) входное сопротивление на пределе измерений, выбранном в п. 2 задания (в паспорте указано удельное сопротивление $R_{вх} - U = 33,3 \text{ кОм/В}$).

4.10. Для показанного на рис. 4.6 прибора определить:

- 1) диапазон измерения сопротивления резисторов;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения сопротивления резистора 1 кОм;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения 1,5 В;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов × кΩ

Положение переключателя параметров r_2

Положение стрелки 1

- 5) входное сопротивление при измерении напряжения постоянного тока, равного 20 В (паспортная характеристика — удельное сопротивление при измерении напряжения постоянного тока 16,7 кОм/В).

4.11. Для показанного на рис. 4.6 прибора определить:

- 1) диапазон измерения коэффициента усиления транзисторов β;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения β;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения β × 1;
- 4) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов β × 5

Положение переключателя параметров p-n-p

Положение стрелки 40

5) чувствительность при измерении коэффициента усиления β .

4.12. Для показанного на рис. 4.1 прибора определить:

- 1) все измеряемые параметры;
- 2) диапазон измерения напряжения переменного тока;
- 3) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения переменного тока 100 В;
- 4) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 3 задания;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 150 В
Нажатая кнопка \leftrightarrow
Положение стрелки 25

6) входное сопротивление в пределе измерения, выбранном в п. 3 задания.

4.13. Для показанного на рис. 4.1 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения постоянного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения постоянного тока 10 В;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность по напряжению постоянного тока;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 15 В
Нажатая кнопка \leftrightarrow
Положение стрелки 22

6) входное сопротивление в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.14. Для показанного на рис. 4.1 прибора определить:

- 1) диапазон измерения постоянного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения постоянного тока 0,1 мА;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность по постоянному току;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 100 μ А
Нажатая кнопка \leftrightarrow
Положение стрелки 10

6) входное сопротивление прибора в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.15. Для показанного на рис. 4.1 прибора определить:

- 1) диапазон измерения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения переменного тока 7,5 мА;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность прибора по переменному току;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 15 мА
Нажатая кнопка \leftrightarrow
Положение стрелки 23

6) входное сопротивление прибора в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.16. Для показанного на рис. 4.1 прибора определить:

- 1) диапазон измерения сопротивления резисторов;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения сопротивления резистора 5 кОм;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения 60 В;
- 4) диапазон измерения емкости конденсаторов;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов $\times 0,01$ кОм
Нажатая кнопка кОм
Положение стрелки 50

6) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов μ F $\times 1000$
Положение стрелки 30

4.17. Для показанного на рис. 4.7 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения переменного тока 1 В;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность по напряжению переменного тока;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 1,5 В
Нажатая кнопка \leftrightarrow
Положение стрелки 23

6) входное сопротивление прибора в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

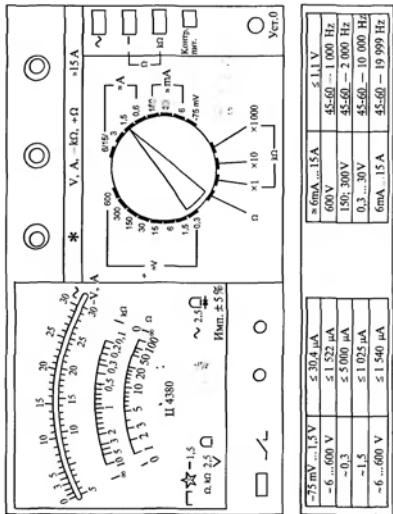


Рис. 4.7. Изображение литевой панели мультиметра Ц4380 и данные, указанные на его задней панели

- 4.18. Для показанного на рис. 4.7 прибора определить:
- 1) диапазон измерения напряжения постоянного тока;
 - 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения постоянного тока 10 В;
 - 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
 - 4) чувствительность по напряжению постоянного тока;
 - 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 15 V
 Нажатая кнопка ↔
 Положение стрелки 22

- 6) входное сопротивление прибора в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.19. Для показанного на рис. 4.7 прибора определить:

- 1) диапазон измерения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения переменного тока 0,1 А;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность по переменному току;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 150 mA
 Нажатая кнопка ↔
 Положение стрелки 24

- 6) входное сопротивление прибора в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.20. Для показанного на рис. 4.7 прибора определить:

- 1) диапазон измерения постоянного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения постоянного тока 150 мА;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность по постоянному току;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 1,5 A
 Нажатая кнопка ↔
 Положение стрелки 29

- 6) входное сопротивление прибора в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

- 4.21. Для показанного на рис. 4.7 прибора определить:
- 1) все измеряемые прибором параметры;
 - 2) диапазон измерения сопротивления резисторов;
 - 3) в выбранном пределе погрешность измерения сопротивления резистора 25 кОм;
 - 4) частотный диапазон;
 - 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов $\times 10 \text{ k}\Omega$
 Нажатая кнопка $\text{k}\Omega$
 Положение стрелки 2,5

- 6) предел измерения сопротивления 100 Ом, соответствующий наименьшей погрешности.

4.22. Для показанного на рис. 4.8 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения постоянного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения постоянного тока 50 В;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность по напряжению постоянного тока;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 100 V
 Нажатая кнопка \leftrightarrow
 Положение стрелки 34

- 6) входное сопротивление в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.23. Для показанного на рис. 4.8 прибора определить:

- 1) диапазон измерения напряжения переменного тока;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения напряжения переменного тока 8 В;
- 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;
- 4) чувствительность по напряжению переменного тока;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов 10 V
 Нажатая кнопка \leftrightarrow
 Положение стрелки 26

- 6) входное сопротивление прибора в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

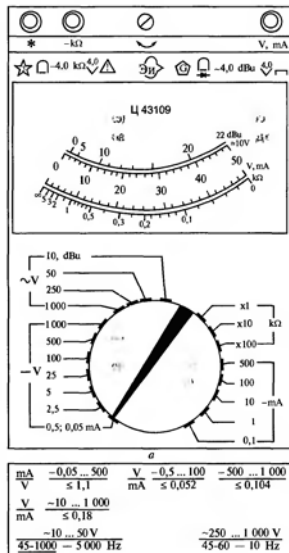


Рис. 4.8. Изображение лицевой панели мультиметра Ц43109 и данные, указанные на его задней панели

- 4.24. Для показанного на рис. 4.8 прибора определить:
- 1) диапазон измерения напряжения постоянного тока;
 - 2) в выбранном пределе погрешность измерения постоянного тока 400 мА;
 - 3) цену деления шкалы в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания;

- 4) чувствительность по постоянному току;
 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов	1 мА
Нажатая кнопка	←→
Положение стрелки	40

- 6) входное сопротивление в пределе измерения, выбранном в п. 2 задания.

4.25. Для показанного на рис. 4.8 прибора указать рабочее положение и определить:

- 1) диапазон измерения сопротивления резисторов;
- 2) в выбранном пределе погрешность измерения сопротивления резистора 5 кОм;
- 3) все измеряемые прибором параметры;
- 4) частотный диапазон;
- 5) значение измеряемого параметра при следующих известных данных:

Положение переключателя пределов	$\times 1$ кΩ
Положение стрелки	0,15

5.1. Краткие теоретические сведения

Информация об основных характеристиках электронных вольтметров указывается на их лицевой панели.

Вольтметры классифицируются по различным признакам.

Различают вольтметры *электромеханические* (см. гл. 2) и *электронные* (группа В).

Электронные вольтметры, в свою очередь, классифицируются по виду индикации, назначению и частотному диапазону.

По виду индикации различают *аналоговые* и *цифровые* электронные вольтметры, по назначению — *образцовые* (В1), *постоянного тока* (В2), *переменного синусоидального тока* (В3), *импульсного тока* (В4), *фазочувствительные* (В5), *селективные* (В6) и *универсальные* (В7), а по частотному диапазону — *низкочастотные* и *высокочастотные*.

При выполнении измерений важно правильно выбрать тип аналогового вольтметра исходя из следующих основных метрологических характеристик:

- измеряемые параметры;
- диапазон измерения напряжения;
- частотный диапазон;
- приведенная погрешность;
- чувствительность;
- цена деления шкалы в выбранном пределе.

Все электронные аналоговые вольтметры, измеряющие напряжение переменного синусоидального тока, строятся по двум схемам:

- усилитель — детектор (У—Д) (рис. 5.1 а);
- детектор—усилитель (Д—У) (рис. 5.1 б).

Вольтметры, построенные по схеме У—Д, обладают высокой чувствительностью, что определяется наличием в ней дополнительного усилителя переменного тока. Поэтому по этой схеме строятся все микро- и милливольтметры. Данные приборы не универсальны (измеряют только напряжение переменного тока) и за редким исключением имеют узкий частотный диапазон. По назначению они относятся к третьей подгруппе — В3.

Вольтметры типа Д—У имеют широкий частотный диапазон (до 1 ГГц), они универсальны (применяются в цепях постоянного

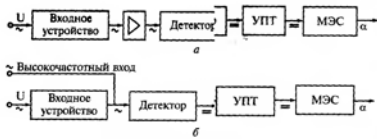


Рис. 5.1. Структурные схемы вольтметров типов У-Д (а) и Д-У (б)

и переменного тока) и имеют высокую чувствительность. По назначению их относят к седьмой подгруппе — В7.

Рассмотренные вольтметры содержат входное устройство, детектор, усилитель постоянного тока (УПТ) и индикатор магнитоэлектрической системы (МЭС).

Шкала индикатора аналоговых вольтметров имеет градуировку на два значения напряжения: 10 и 30, и кратна пределам измерения прибора. Кроме того, такие вольтметры имеют дополнительную шкалу в децибелах.

При выполнении измерений в пределах 0,1; 1; 10; 100 мВ и 1; 10; 100 В отсчет результата производится по шкале с максимальным значением 10, учитывая при этом соответствующий коэффициент.

При использовании пределов 0,03; 0,3; 3; 30; 300 мВ и 3; 30; 300 В используют шкалу с максимальным значением 30, также учитывая коэффициент шкалы.

Например, если вольтметром измеряют напряжение при установке переключателя пределов измерения в положение 300 мВ, то показания индикатора на шкале с максимальным значением 30 следует умножить на коэффициент

$$K_{ш} = \frac{300}{30} = 10.$$

Помимо переключателя пределов на лицевую панель вольтметра для уменьшения погрешности измерения в зависимости от его типа и модели могут быть выведены следующие органы регулирования:

- механический корректор (с регулировочным винтом под шлицевую отвертку), обеспечивающий установку стрелки индикатора на нуль (выполняется до включения тумблера «Сеть»);

- электронная установка стрелки индикатора на нуль (выполняется при включенном приборе и замкнутым входом). Обозначается на приборе ►0◄ (Уст. 0).

- калибровка вольтметра (выполняется при включенном вольтметре в целях проверки его работоспособности). Обозначается на приборе ▼ (Калибр).

В ряде случаев для количественной оценки передаваемых и принимаемых напряжений (токов, мощностей) используют абсолютную единицу измерения (В, мВ), а относительную логарифмическую единицу — децибел. Поэтому большинство современных стрелочных вольтметров (как автономных, так и смонтированных в другие приборы — генераторы сигналов, измерители нелинейных искажений и др.) помимо обычных шкал имеют шкалу измерения в децибелах, которая отличается четко выраженной неравномерностью и по которой можно получать результат сразу, не прибегая к отсчетам в вольтах.

Чаще всего нуль шкалы в децибелах в этих приборах соответствует входному напряжению 0,775 В. При этом если напряжение больше условного нулевого уровня, оно положительное, а если меньше — отрицательное.

Шкала децибелов короче других шкал, и начинается она на некотором расстоянии от нулевой риски шкалы напряжений, так как нулю вольт соответствует ∞ дБ.

Каждый поддиапазон измерения, указанный на переключателе пределов, отличается от соседнего на 10 дБ, что соответствует изменению напряжения в 3,16 раз.

Для получения результата измерения показания, снятые со шкалы децибелов, алгебраически складываются с значением, установленным на переключателе пределов измерения (а не перемножаются, как в случае отсчета напряжений). Например, если ручка переключателя пределов установлена на значении -20 дБ, а стрелка прибора находится на отметке -1,5 дБ, результат измерения составит $-20 + (-1,5) = -21,5$ дБ.

Шкала децибелов в электронных вольтметрах предназначена для измерения отношения напряжений на входе и выходе фильтров, усилителей, аттенуаторов и определения ослабления:

$$U_{(дБ)} = 20 \lg \frac{U_{(в)}}{U_{(в)}},$$

где $U_{(в)} = 0,775$ В.

Бел — слишком крупная единица, поэтому на практике используют дольную (десятую) часть бела — децибел.

5.2. Примеры решения задач

Пример 5.1. Требуется определить полное название прибора, представленного на рис. 5.2, а.

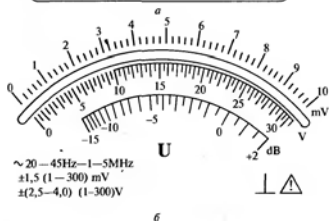
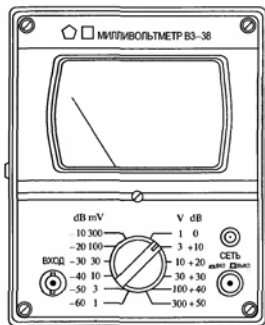


Рис. 5.2. Лицевая панель (а) и шкала индикатора (б) прибора В3-38

Решение. В соответствии с приведенной ранее классификацией вольтметров надпись В3-38 означает, что вольтметр электронный переменного тока (38 — номер модели).

По виду лицевой панели устанавливаем, что прибор аналоговый.

Пример 5.2. Требуется определить диапазон измеряемых напряжений вольтметром В3-38 по его шкале, показанной на рис. 5.2, б.

Решение. Минимальное напряжение, измеряемое прибором, рассчитывается при установке переключателя пределов в положение 1 мВ.

Расчет выполняем по верхней шкале, кратной 1 мВ (с цифрой 10). Коэффициент шкалы $K_{ш} = 1/10 = 0,1$. Следовательно, первое оцифрованное деление этой шкалы — 1 следует умножить на $K_{ш} = 0,1$, т.е. минимальное напряжение, которое вольтметр измерит с допустимой (оговоренной в паспорте) погрешностью, будет равно 0,1 мВ.

Максимальное значение измеряемого напряжения совпадает с значением $U_{ном макс}$, т.е. равно 300 В.

Следовательно, диапазон измеряемых напряжений вольтметром В3-38 составляет от 0,1 мВ до 300 В.

Пример 5.3. Требуется определить параметры, измеряемые прибором В3-38.

Решение. В соответствии с надписью В3-38 этот вольтметр предназначен для измерения напряжений переменного тока.

Пример 5.4. Требуется определить чувствительность вольтметра В3-38.

Решение. Чувствительность определяется в самом малом пределе измерения прибора — 1 мВ, и ее значение обратно пропорционально цене деления в этом пределе, т.е. цена деления вольтметра с учетом коэффициента шкалы

$$C_{1мВ} = \frac{(10 - 9) мВ}{5 \text{ дел.}} = 0,1 = 0,02 \text{ мВ/дел.}$$

Тогда его чувствительность

$$S_{1мВ} = \frac{1}{C_{1мВ}} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ дел./мВ.}$$

Пример 5.5. Требуется определить частотный диапазон вольтметра В3-38.

Решение. По рис. 5.2 находим граничные частоты прибора: минимальная — 20 Гц и максимальная — 5 МГц.

Пример 5.6. Требуется определить погрешность измерения напряжения 1,5 В с частотой 100 кГц прибором В3-38.

Решение. Так как частота измеряемого напряжения входит в частотный диапазон прибора, его относительная действительная погрешность рассчитывается по формуле (2.4).

Относительная приведенная погрешность прибора, указанная на его шкале (см. рис. 5.2, б), равна $\pm 2,5 \%$.

Предел измерения $U_{ном}$ выбираем равным 3 В (так как в больших пределах погрешность возрастет, а в меньших — стрелка индикатора «зашкалит»).

Тогда:

$$\gamma_{\Delta} = \pm 2,5\% \frac{3B}{1,5B} = \pm 5\%.$$

Пример 5.7. Требуется определить, скольким децибелам соответствует значение напряжения 5 В (см. рис. 5.2).

Решение. Для измерения напряжения 5 В выбираем предел $U_{\text{ном}} = 10 \text{ В}$, что соответствует положению переключателя пределов +20 дБ. Взяв линейку и установив один ее конец в механический корректор (см. рис. 5.2, а), а второй — на цифру 5 верхней шкалы вольтметра (см. рис. 5.2, б), увидим, что линейка проходит по шкале децибел через значение -4.

Следовательно, $5 \text{ В} = +20 \text{ дБ} - 4 \text{ дБ} = +16 \text{ дБ}$.

Пример 5.8. Требуется определить, скольким вольтам соответствует -12 дБ (см. рис. 5.2).

Решение. Для решения этой задачи необходимо найти такие положения переключателя пределов и стрелки индикатора по децибелам, при сложении которых в результате получится -12 дБ.

Выбираем положение -10 дБ переключателя пределов (что соответствует пределу измерения 300 мВ), по которому будем проводить отсчет напряжения, а стрелку индикатора (линейку) устанавливаем по шкале децибел на отметку -2.

По шкале с цифрой 30-стрелка индикатора (линейка) покажет 19 мВ, тогда с учетом коэффициента шкалы, равного 10 (так как 300 мВ больше 30 мВ в 10 раз), получим напряжение 190 мВ.

5.3. Задачи для самостоятельного решения

5.1—5.5. Определить цену деления шкалы микровольтметра, изображенного на рис. 5.3, в следующих указанных пределах:

Номер задачи	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5
Предел измерения	0,03 мВ	1 мВ	300 мВ	1 В	100 В

5.6—5.10. Определить значение измеряемого параметра при установке органов управления прибора, показанного на рис. 5.3, в соответствии со следующей таблицей:

Номер задачи	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10
Положение переключателя пределов	0,03 мВ	1 мВ	300 мВ	1 В	100 В
Положение стрелки индикатора	22	7	22	7	7

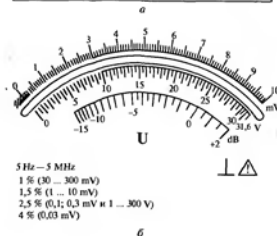
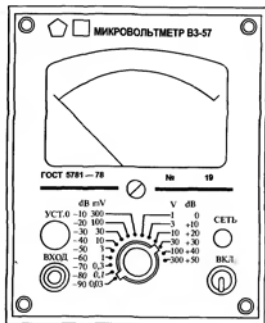


Рис. 5.3. Лицевая панель (а) и шкала индикатора (б) прибора ВЗ-57 (для задач 5.1—5.49)

5.11. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.6.

5.12. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.7.

5.13. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.8.

5.14. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.9.

5.15. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.10.

5.16. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.6.

5.17. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.7.

5.18. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.8.

5.19. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.9.

5.20. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.10.

5.21. Каково назначение регулировки, выполняемой механическим корректором и при каком состоянии прибора ВЗ-57 она производится?

5.22. Каково назначение регулировки «Уст.0» и при каком состоянии прибора она производится?

5.23. Определить полное название прибора, показанного на рис. 5.3.

5.24. Определить чувствительность вольтметра ВЗ-57.

5.25. Определить параметр, измеряемый прибором ВЗ-57.

5.26—5.30. Определить цену деления шкалы прибора ВЗ-57 в следующих указанных пределах:

Номер задачи	5.26	5.27	5.28	5.29	5.30
Предел измерения	0,1 mV	3 mV	100 mV	3 V	300 V

5.31—5.35. Определить значение измеряемого параметра при установке органов управления прибора ВЗ-57 в соответствии со следующей таблицей:

Номер задачи	5.31	5.32	5.33	5.34	5.35
Положение переключателя пределов	0,1 mV	3 mV	100 mV	3 V	300 V
Положение стрелки индикатора	5	15	5	15	15

5.36. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.31.

5.37. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.32.

5.38. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.33.

5.39. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.34.

5.40. Определить погрешность измерения напряжения, найденного в задаче 5.35.

5.41. Определить по рис. 5.3, скольким вольтам соответствует напряжение -84 дБ.

5.42. Определить по рис. 5.3, скольким вольтам соответствует напряжение -54 дБ.

5.43. Определить по рис. 5.3, скольким вольтам соответствует напряжение -24 дБ.

5.44. Определить по рис. 5.3, скольким вольтам соответствует напряжение +26,5 дБ.

5.45. Определить по рис. 5.3, скольким вольтам соответствует напряжение +45,5 дБ.

5.46. Указать достоинства и недостатки вольтметра ВЗ-57 по сравнению с вольтметрами седьмой классификационной подгруппы.

5.47. Привести структурную схему прибора ВЗ-57.

5.48. Определить частотный диапазон прибора ВЗ-57.

5.49. Определить диапазон измерения параметра прибором ВЗ-57.

5.50—5.54. Определить цену деления шкалы прибора, изображенного на рис. 5.4, в следующих указанных пределах:

Номер задачи	5.50	5.51	5.52	5.53	5.54
Предел измерения на постоянном токе	0,1 V	0,3 V	1 V	3 V	100 V

5.55—5.59. Определить значение измеряемого параметра по постоянному току при установке органов управления прибора, показанного на рис. 5.4, в соответствии со следующей таблицей:

Номер задачи	5.55	5.56	5.57	5.58	5.59
Положение переключателя пределов измерения на постоянном токе	0,1 V	0,3 V	1 V	3 V	100 V
Положение стрелки индикатора	2,5	25	4	15	6

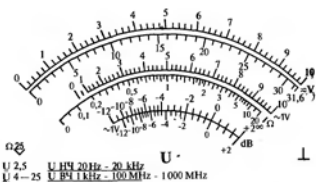
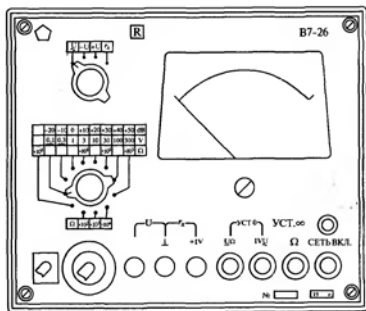


Рис. 5.4. Лицевая панель (а) и шкалы индикатора (б) прибора В7-26 (для задач 5.50—5.99)

5.60. Определить погрешность измерения напряжения постоянного тока, найденного в задаче 5.55.

5.61. Определить погрешность измерения напряжения постоянного тока, найденного в задаче 5.56.

5.62. Определить погрешность измерения напряжения постоянного тока, найденного в задаче 5.57.

5.63. Определить погрешность измерения напряжения постоянного тока, найденного в задаче 5.58.

5.64. Определить погрешность измерения напряжения постоянного тока, найденного в задаче 5.59.

5.65. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.55.

5.66. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.56.

5.67. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.57.

5.68. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.58.

5.69. Определить, скольким децибелам соответствует напряжение, найденное в задаче 5.59.

5.70. Определить параметры, измеряемые прибором В7-26.

5.71. Определить диапазон измерения напряжения постоянного тока прибором В7-26.

5.72. Определить частотный диапазон прибора В7-26.

5.73. Определить достоинства прибора В7-26 по сравнению с прибором В3-57.

5.74. Каково назначение регулировки, выполняемой механическим корректором и при каком состоянии прибора В7-26 она производится?

5.75—5.79. Определить цену деления шкалы прибора В7-26 в следующих указанных пределах:

Номер задачи	5.75	5.76	5.77	5.78	5.79
Предел измерения на переменном токе	0,3 В	3 В	10 В	30 В	300 В

5.80—5.84. Определить значение измеряемого параметра по постоянному току при установке органов управления прибора В7-26 в соответствии со следующей таблицей:

Номер задачи	5.80	5.81	5.82	5.83	5.84
Положение переключателя пределов измерения на переменном токе	0,3 В	3 В	10 В	30 В	300 В
Положение стрелки индикатора	11	5	5,2	18	27

5.85. Определить погрешность измерения напряжения переменного тока, найденного в задаче 5.80.

- 5.86. Определить погрешность измерения напряжения переменного тока, найденного в задаче 5.81.
- 5.87. Определить погрешность измерения напряжения переменного тока, найденного в задаче 5.82.
- 5.88. Определить погрешность измерения напряжения переменного тока, найденного в задаче 5.83.
- 5.89. Определить погрешность измерения напряжения переменного тока, найденного в задаче 5.84.
- 5.90. Определить по рис. 5.4, скольким вольтам соответствует напряжение -15 дБ.
- 5.91. Определить по рис. 5.4, скольким вольтам соответствует напряжение -9 дБ.
- 5.92. Определить по рис. 5.4, скольким вольтам соответствует напряжение 0 дБ.
- 5.93. Определить по рис. 5.4, скольким вольтам соответствует напряжение $+13$ дБ.
- 5.94. Определить по рис. 5.4, скольким вольтам соответствует напряжение $+28$ дБ.
- 5.95. Определить диапазон измерения напряжения переменного тока прибором В7-26.
- 5.96. Определить диапазон измерения сопротивления резисторов прибором В7-26.
- 5.97. Определить чувствительность прибора В7-26 по напряжению постоянного тока.
- 5.98. Определить чувствительность прибора В7-26 по напряжению переменного тока.
- 5.99. Определить полное название прибора В7-26.

6.1. Краткие теоретические сведения

По каталоговой классификации радиоизмерительных приборов все генераторы относятся к группе Г (приложение 5). Измерительные генераторы классифицируются по форме сигнала на выходе, частотному диапазону и типу индикации:

В зависимости от формы сигнала различают генераторы *гармонические, импульсные и шумовые*.

По частотному диапазону генераторы подразделяют на *низкочастотные (НЧ), высокочастотные (ВЧ) и сверхвысокочастотные (СВЧ)*.

По виду индикатора различают *аналоговые и цифровые* генераторы.

Независимо от вида индикации, частотного диапазона и формы выходного сигнала измерительный генератор включает в себя задающий генератор — усилитель с положительной обратной связью — и источник питания постоянного тока. При этом задающий генератор определяет форму и частоту выходного сигнала, зависящие от его параметров.

Низкочастотные аналоговые генераторы гармонического сигнала (ГЗ)

К низким относятся инфразвуковые частоты (менее 20 Гц), звуковые частоты (от 20 Гц до 20 кГц) и ультразвуковые частоты (от 20 до 200 кГц).

Возможно расширение частотного диапазона в сторону больших значений, поэтому не следует ориентироваться только на буквенно-цифровой шифр генераторов — ГЗ.

Низкочастотные генераторы являются источником синусоидальных сигналов. Однако некоторые модели генераторов наряду с синусоидальным сигналом могут вырабатывать сигнал формы меандр. Если на лицевой панели прибора форма сигнала не указана, это означает, что генератор является источником сигналов только синусоидальной формы.

Различают следующие типы задающих генераторов:

- на биениях, используемые обычно в образцовых генераторах;
- типа *RC*, применяемые в низкочастотных генераторах;

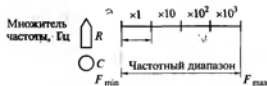


Рис. 6.1. Пояснение регулировки частоты в RC -генераторе

• типа LC , используемые в высокочастотных и сверхвысокочастотных генераторах.

Колесательная система задающих генераторов типа RC состоит из резистора и конденсатора, и частота колебаний определяется в этом случае формулой

$$F = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (6.1)$$

Частотные диапазоны низкочастотных генераторов подразделяются на поддиапазоны, число которых может достигать четырех (иногда — пяти). Каждому такому поддиапазону соответствует вполне конкретное сопротивление резистора, а для плавной регулировки частоты, используется один конденсатор переменной емкости, обслуживающий все поддиапазоны (рис. 6.1). Этот конденсатор снабжен градуированной шкалой плавной установки частоты в герцах.

Переключатель «Множитель частоты» обеспечивает дискретное (декадное) изменение частоты с помощью набора резисторов.

Для контроля установки значения напряжения на выходе генератора используется многопредельный вольтметр, отрадурированный в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения на согласованной нагрузке.

Высокочастотные и сверхвысокочастотные генераторы гармонического сигнала (Г4)

Данные генераторы могут создавать сигналы высоких (от 200 кГц до 300 МГц) и сверхвысоких (более 300 МГц) частот.

Возможно расширение указанных частотных диапазонов в сторону меньших значений.

В высокочастотных генераторах наряду с синусоидальным сигналом предусмотрено получение амплитудно-модулированного (АМ) и частотно-модулированного (ЧМ) сигналов (пример АМ сигнала см. в табл. 7.1) посредством использования внутреннего



Рис. 6.2. Пояснение регулировки частоты в LC -генераторе

(с частотой 400 или 1 000 Гц) или внешнего источника напряжения. Если на лицевой панели генератора не указана модулирующая частота, значит, она равна 1 000 Гц. При этом внутренним источником модулирующей частоты является задающий генератор типа RC , а источник несущей частоты реализуется на основе LC -генератора. Колесательная система LC -генераторов состоит из катушки индуктивности (L) и конденсатора (C), и несущая частота колебаний в этом случае определяется формулой

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (6.2)$$

Диазон несущей частоты высокочастотного тока генератора подразделяется на поддиапазоны, число которых может достигать восьми. Каждому такому поддиапазону соответствует конкретное значение индуктивности катушки, а плавная установка частоты обеспечивается одним конденсатором переменной емкости (рис. 6.2). Этот конденсатор снабжен градуированной шкалой плавной установки частоты в мегагерцах. Дискретная установка частоты осуществляется с помощью набора катушек индуктивности.

Установка выходного напряжения синусоидального сигнала осуществляется с помощью декадного переключателя множителя и плавной регулировки (рис. 6.3) При этом выходное синусоидальное напряжение (как и в низкочастотных генераторах) соответствует среднеквадратическому значению.

Число выходов генератора определяется числом видов сигналов, им вырабатываемых. Если на выходе ГВЧ можно получить два сигнала (например, синусоидальный и АМ), то и выходов у него два.

Для предотвращения излучения высокочастотных колебаний на пользователя в генераторе предусмотрен выключатель выхода или металлическая заглушка.

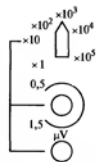


Рис. 6.3. Пояснение регулировки и контроля выходного напряжения в высокочастотном генераторе

Импульсные (релаксационные) генераторы (Г5)

Наиболее распространены генераторы периодической последовательности прямоугольных импульсов, параметры которых (амплитудное значение напряжения U_m , частота выходного сигнала F , время импульса t_n , время задержки t_d и скважность $q = T/t_n$, где T — период следования сигнала) регулируются в широких пределах.

Импульсные генераторы являются источником двух видов сигналов: основных — импульсов прямоугольной формы положительной и отрицательной полярностей, и дополнительных — импульсов синхронизации (рис. 6.4).

Упрощенная структурная схема импульсного генератора представлена на рис. 6.5.

Вольтметр, контролирурующий выходное напряжение генератора, показывает его амплитудное значение U_m .

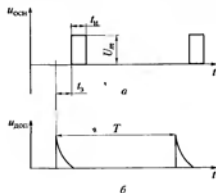


Рис. 6.4. Временные диаграммы сигналов импульсного генератора: а — основных импульсов; б — синхронизирующих импульсов

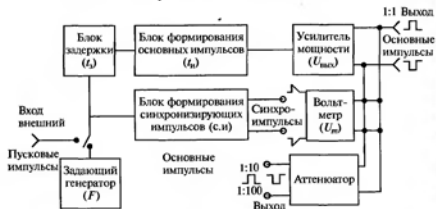


Рис. 6.5. Структурная схема импульсного генератора

6.2. Примеры решения задач

Пример 6.1. По изображению лицевой панели генератора ГЗ-109, показанной на рис. 6.6, требуется определить форму вырабатываемого им сигнала.

Решение. Форма сигнала на лицевой панели генератора ГЗ-109 не указана, следовательно, он является источником синусоидальных колебаний.

Пример 6.2. Требуется определить частотный диапазон генератора ГЗ-109.

Решение. По проградуированной шкале плавной установки частоты (см. рис. 6.6) определяем значения минимальное — 20 Гц и максимальное — 200 Гц.

Переключатель «Множитель частоты» имеет минимальное значение 1 и максимальное — 10^3 .

Таким образом, минимальная частота $F_{\min} = 20 \text{ Гц} \times 1 = 20 \text{ Гц}$, а максимальная $F_{\max} = 200 \text{ Гц} \times 10^3 = 200 \text{ кГц}$.

Пример 6.3. По изображению лицевой панели требуется определить полное название генератора ГЗ-109.

Решение. Генератор электронный аналоговый звуковых и ультразвуковых частот.

Пример 6.4. Требуется определить диапазон установки выходного напряжения генератора ГЗ-109.

Решение. Определение пределов измерения (или установки) выходного напряжения подробно рассматривалось в гл. 3 и 5, откуда $U_{\max} = 3 \text{ мВ} \dots 15 \text{ В}$.

Пример 6.5. Требуется определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе генератора ГЗ-109 сигнала $u(t) = 10 \sin(6,28 \cdot 10^3 \text{ Гц}t)$.

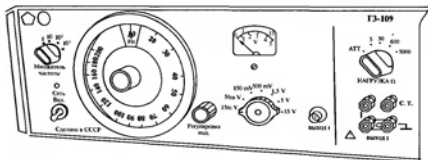


Рис. 6.6. Лицевая панель генератора ГЗ-109

Решение. Заданное уравнение описывает сигнал, имеющий синусоидальную форму. Общий вид уравнения $u(t) = U_m \sin \omega t$.

Следовательно, амплитуда синусоидального сигнала $U_m = 10$ В, а угловая частота $\omega = 6,28 \cdot 10^3$ Гц.

Известно, что вольтметр генератора показывает среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, для нахождения которого используется зависимость $U = 0,7 U_m$, т.е. $0,7 \cdot 10 \text{ В} = 7 \text{ В}$.

Для установки на генераторе напряжения 7 В необходимо переключателем пределов его вольтметра выбрать предел 15 В, а ручкой плавной регулировки «Регулировка вых.» установить стрелку индикатора по верхней шкале вольтметра на отметку, соответствующую значению 7 В.

На генераторах всех типов устанавливается не угловая частота ω , а линейная частота F . На основании известной зависимости $\omega = 2\pi F$, находим

$$F = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6,28 \cdot 10^3 \text{ Гц}}{2 \cdot 3,14} = 1000 \text{ Гц.}$$

Совместив на генераторе ручкой плавной регулировки частоты визир с цифрой 100 и установив переключатель «Множитель частоты» в положение 10, на выходах генератора ГЗ-109 получим сигнал синусоидальной формы с напряжением 7 В и частотой 1000 Гц.

В практике радиотехнических измерений сигнал может быть задан не уравнением, а графически. Рассмотрим соответствующий пример.

Пример 6.6. Требуется определить, какие органы управления в какое положение следует установить для получения на выходе генератора ГЗ-109 сигнала вида, представленного на рис. 6.7.

Решение. Из рис. 6.7 сделаем выборку заданных параметров синусоидального сигнала: $U_m = 5$ В. Тогда $U = 0,7 \cdot 5 \text{ В} = 3,5 \text{ В}$.

Переключатель пределов вольтметра генератора (см. рис. 6.6) установим на отметку 5 В, а стрелку вольтметра ручкой «Регули-

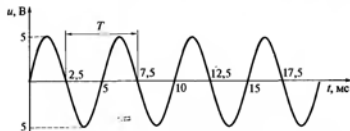


Рис. 6.7. Синусоидальный сигнал с заданными параметрами к примеру 6.6

ровка вых.» — по нижней шкале на отметку, соответствующую 3,5 В.

По рис. 6.7 определим период повторения синусоидального сигнала $T = (7,5 - 2,5) \text{ мс} = 5 \text{ мс} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

Рассчитаем частоту повторения сигнала

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-3} \text{ с}} = 200 \text{ Гц.}$$

Следовательно, для получения требуемого сигнала визир плавной установки частоты (см. рис. 6.6) следует совместить с цифрой 200, а переключатель «Множитель частоты» установить в положение 1.

Пример 6.7. Требуется рассчитать погрешности установки значений частоты и напряжения, найденных в примере 6.6, если в паспорте на генератор ГЗ-109 указаны класс точности вольтметра $\pm 4,0\%$ и формула для расчета абсолютной погрешности $\Delta_f = \pm(0,02F + 1)$ Гц.

Решение. Для определения относительной действительной погрешности установки напряжения 3,5 В используем формулу (2.4):

$$\gamma_{\Delta U} = \gamma_{\text{гр}} \frac{U_{\text{ном}}}{U} = \pm 4\% \frac{5 \text{ В}}{3,5 \text{ В}} = 5,7\%.$$

Для определения относительной действительной погрешности установки частоты 200 Гц используем формулу (2.2), предварительно рассчитав абсолютную погрешность установки этой частоты:

$$\Delta_f = \pm(0,02 \cdot 200 \text{ Гц} + 1) = \pm 5 \text{ Гц};$$

$$\gamma_{\Delta F} = \frac{\Delta_f}{F} 100 = \frac{\pm 5 \text{ Гц} \cdot 100\%}{200 \text{ Гц}} = \pm 2,5\%$$

Пример 6.8. Требуется определить границы установки напряжения генератора ГЗ-109 при включенном пределе измерения вольтметра 500 мВ.

Решение. Используем нижнюю шкалу вольтметра генератора. Коэффициент шкалы в этом случае равен 100. Первая цифра на данной шкале — 1, умножив ее на $K_{\text{н}}$, получим $U_{\text{min}} = 100 \text{ мВ}$, а умножив последнюю цифру этой шкалы 5 на $K_{\text{н}}$, получим $U_{\text{max}} = 500 \text{ мВ}$.

Пример 6.9. Требуется определить, какие органы управления в какое положение следует установить для получения на выходе генератора ГЗ-54, лицевая панель которого показана на рис. 6.8, а, сигнала с заданными на рис. 6.8, б параметрами.

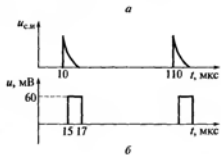
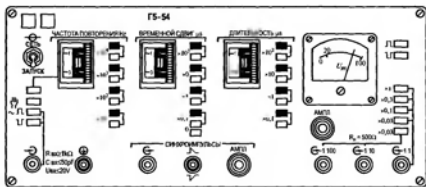


Рис. 6.8. Лицевая панель генератора Г5-54 (а) и заданные параметры его выходного сигнала (б)

Решение. По рис. 6.8, б найдем значение всех заданных параметров:

$$U_m = 60 \text{ мВ}; \quad t_n = (17 - 15) \text{ мкс} = 2 \text{ мкс};$$

$$T = (110 - 10) \text{ мкс} = 100 \text{ мкс}; \quad t_s = (15 - 10) \text{ мкс} = 5 \text{ мкс}.$$

Для обеспечения на выходе генератора амплитудного напряжения 60 мВ необходимо ручкой «Ампл.» плавной регулировки U_m установить стрелку индикатора на значение 20, на блоке ступенчатого переключателя выходного напряжения нажать кнопку $\times 0,03$ и снять сигнал с выходного разъема 1:10.

Проверим правильность установки напряжения:

$$U_m = \frac{20 \text{ В} \cdot 0,03}{10} = 0,06 \text{ В} = 60 \text{ мВ}.$$

Для установки длительности импульса 2 мкс ручкой плавной регулировки следует совместить визир в белой части шкалы «Длительность μs » с цифрой 2 и нажать белую кнопку $\times 1$.

Для установки периода повторения импульсов 100 мкс следует рассчитать его частоту:

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{100 \cdot 10^{-6} \text{ с}} = 10 \text{ кГц}.$$

Затем ручкой плавной регулировки импульсов следует совместить визир с цифрой 10 в черной части шкалы «Частота повторения Hz» и нажать черную кнопку $\times 10^3$.

Для установки заданного временного сдвига 5 мкс следует ручкой плавной регулировки совместить визир с цифрой 5 в черной части шкалы «Временной сдвиг μs » и нажать черную кнопку $\times 1$.

Теперь кнопочным тумблером установить заданную положительную полярность основных импульсов и синхриимпульсов.

Пример 6.10. Требуется определить полное название прибора по лицевой панели, изображенной на рис. 6.8, а.

Решение. Импульсный генератор электронный аналоговый.

6.3. Задачи для самостоятельного решения

6.1. Определить частотный диапазон прибора, лицевая панель которого изображена на рис. 6.9.

6.2. Определить форму сигнала на выходе прибора Г3-102.

6.3. По изображению лицевой панели на рис. 6.9 определить полное название прибора.

6.4. Определить диапазон установки выходного напряжения прибора Г3-102.

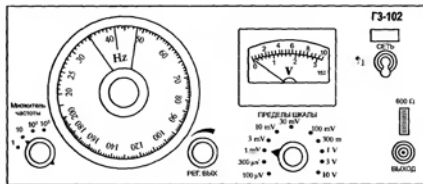


Рис. 6.9. Лицевая панель генератора Г3-102

→ 6.5. Определить границы регулировки частоты при положении переключателя «Множитель частоты» прибора ГЗ-102 на отметке 1.

6.6. Определить границы регулировки частоты при положении переключателя «Множитель частоты» прибора ГЗ-102 на отметке 10.

6.7. Определить границы регулировки частоты при положении переключателя «Множитель частоты» прибора ГЗ-102 на отметке 10^2 .

6.8. Определить границы регулировки частоты при положении переключателя «Множитель частоты» прибора ГЗ-102 на отметке 10^3 .

6.9—6.19. Определить границы регулировки напряжения при следующих положениях переключателя «Пределы шкалы»:

Номер задачи	6.9	6.10	6.11	6.12	6.13	6.14	6.15	6.16	6.17	6.18	6.19
Предел шкалы	100 μV	300 μV	1 mV	3 mV	10 mV	30 mV	100 mV	300 mV	1 V	3 V	10 V

6.20. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 40 \sin(3,14 \cdot 10^2 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.21. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 100 \sin(1,57 \cdot 10^2 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.22. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 7 \sin(6,28 \cdot 10^2 \text{ Гц})t \text{ [В]}.$$

6.23. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 30 \sin(9,42 \cdot 10^3 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.24. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 9 \sin(12,56 \cdot 10^3 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.25. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 сигнала, показанного на рис. 6.10.

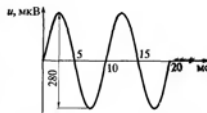


Рис. 6.10. Синусоидальный сигнал с заданными параметрами к задаче 6.25

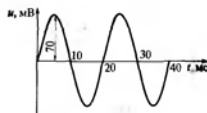


Рис. 6.11. Синусоидальный сигнал с заданными параметрами к задаче 6.26

6.26. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 сигнала, показанного на рис. 6.11.

6.27. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 сигнала, показанного на рис. 6.12.

6.28. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 сигнала, показанного на рис. 6.13.

6.29. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора ГЗ-102 сигнала, показанного на рис. 6.14.

6.30. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.20, если в паспорте на прибор ГЗ-102 указаны $\gamma_{npU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)$ и если $U = 28 \text{ мВ}$, $F = 50 \text{ Гц}$.

6.31. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.21, если в

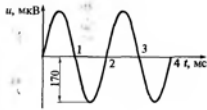


Рис. 6.12. Синусоидальный сигнал с заданными параметрами к задаче 6.27

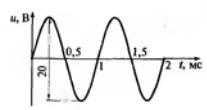


Рис. 6.13. Синусоидальный сигнал с заданными параметрами к задаче 6.28

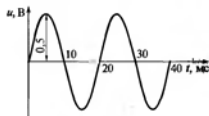


Рис. 6.14. Синусоидальный сигнал с заданными параметрами к задаче 6.29

паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 70$ мВ, $F = 25$ Гц.

6.32. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.22, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 4,9$ В, $F = 100$ Гц.

6.33. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.23, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 21$ мВ, $F = 1,5$ кГц.

6.34. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.24, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 6,3$ мВ, $F = 2$ кГц.

6.35. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.25, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 98$ мкВ, $F = 100$ Гц.

6.36. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.26, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 49$ мВ, $F = 50$ Гц.

6.37. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.27, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 119$ мкВ, $F = 500$ Гц.

6.38. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.28, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 7$ В, $F = 1$ кГц.

6.39. Определить относительные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.29, если в паспорте на прибор Г3-102 указаны $\gamma_{mpU} = \pm 1,5\%$, $\gamma_{\Delta F} = \pm \left(1 + \frac{50}{F}\right)\%$ и $U = 0,35$ В, $F = 50$ кГц.

6.40. Определить частотный диапазон прибора, лицевая панель которого изображена на рис. 6.15.

6.41. Определить форму сигнала на выходах прибора Г6-26.

6.42. По изображению лицевой панели на рис. 6.15 определить полное название прибора.

6.43—6.49. Определить границы регулировки частоты при следующих положениях переключателя «Множитель частоты»:

Номер задачи	6.43	6.44	6.45	6.46	6.47	6.48	6.49
Положение переключателя	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1 000

6.50. Определить диапазон регулировки выходного напряжения.

6.51. Определить абсолютную погрешность установки значений напряжения и частоты, если в паспорте на прибор Г6-26 указаны $\gamma_{\Delta F} = \pm 2\%$, $\gamma_{\Delta U} = \pm 2,5\%$ в диапазоне частот $0,5 \dots 1 000$ Гц и $\pm 3\%$ — в остальном диапазоне и $U = 10$ мВ, $F = 4$ кГц.

6.52. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, если в паспорте на прибор Г6-26 указаны погрешности, приведенные в задаче 6.51. и $U = 150$ мВ, $F = 5$ Гц.

6.53. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, если в паспорте на прибор Г6-26 указаны погрешности, приведенные в задаче 6.51. и $U = 4$ В, $F = 8$ кГц.

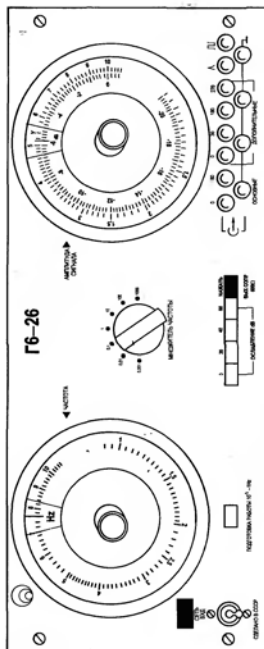


Рис. 6.15. Лицевая панель генератора Г6-26

6.54. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, если в паспорте на прибор Г6-26 указаны погрешности, приведенные в задаче 6.51, и $U = 0,1$ В, $F = 200$ Гц.

6.55. Определить форму сигнала на выходе «1 : 1» прибора, показанного на рис. 6.8, а.

6.56. Определить форму сигнала на выходе «1 : 10» прибора, показанного на рис. 6.8, а.

6.57. Определить форму сигнала на выходе «1 : 100» прибора, показанного на рис. 6.8, а.

6.58. Определить форму сигнала на выходе «Синхроимпульсы» прибора, показанного на рис. 6.8, а.

6.59. Определить частотный диапазон прибора Г5-54.

6.60. Определить диапазон регулировки временного сдвига прибора Г5-54.

6.61. Определить диапазон регулировки длительности импульсов прибора Г5-54.

6.62. Определить диапазон регулировки амплитуды импульсов прибора Г5-54.

6.63—6.70. Определить границы регулировки частоты при нажатии следующих кнопок кнопочного переключателя «Частота повторения Hz» прибора Г5-54:

Номер задачи	6.63	6.64	6.65	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70
Нажатая кнопка	Белая $\times 10$	Черная $\times 10$	Белая $\times 10^2$	Черная $\times 10^2$	Белая $\times 10^3$	Черная $\times 10^3$	Белая $\times 10^4$	Черная $\times 10^4$

6.71—6.79. Определить границы регулировки временного сдвига при нажатии следующих кнопок кнопочного переключателя «Временной сдвиг μ s» прибора Г5-54:

Номер задачи	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79
Нажатая кнопка	0	Белая $\times 0,1$	Черная $\times 0,1$	Белая $\times 1$	Черная $\times 1$	Белая $\times 10$	Черная $\times 10$	Белая $\times 10^2$	Черная $\times 10^2$

6.80—6.87. Определить границы регулировки длительности импульсов при нажатии следующих кнопок кнопочного переключателя «Длительность μ s» прибора Г5-54:

Номер задачи	6.80	6.81	6.82	6.83	6.84	6.85	6.86	6.87
Нажатая кнопка	Белая $\times 0,1$	Черная $\times 0,1$	Белая $\times 1$	Черная $\times 1$	Белая $\times 10$	Черная $\times 10$	Белая $\times 10^2$	Черная $\times 10^2$

6.88—6.93. Определить границы регулировки амплитуды импульсов на выходах прибора Г5-54 при нажатии следующих кнопок соответствующего кнопочного переключателя:

Номер задачи	6.88	6.89	6.90	6.91	6.92	6.93
Выход	1:1	1:1	1:1	1:1	1:10	1:100
Нажатая кнопка	$\times 1$	$\times 0,3$	$\times 0,1$	$\times 0,03$	$\times 0,03$	$\times 0,03$

6.94. Определить, какие параметры сигналов, снимаемых с выходов «Синхроимпульсы» и 1:1 прибора Г5-54, совпадают.

6.95. Определить, какие параметры сигналов, снимаемых с выходов «Синхроимпульсы» и 1:1 прибора Г5-54, различаются.

6.96. Определить, какие параметры сигналов, снимаемых с выходов 1:10 и 1:100 прибора Г5-54, совпадают.

6.97. Определить, какие параметры сигналов, снимаемых с выходов 1:10 и 1:100 прибора Г5-54, различаются.

6.98. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе 1:1 прибора Г5-54 сигнала, показанного на рис. 6.16.

6.99. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе 1:1 прибора Г5-54 сигнала, показанного на рис. 6.17.

6.100. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе 1:1 прибора Г5-54 сигнала, показанного на рис. 6.18.

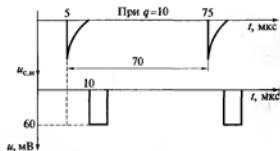


Рис. 6.16. Сигнал, заданный к задаче 6.98

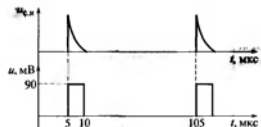


Рис. 6.17. Сигнал, заданный к задаче 6.99

6.101. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе 1:1 прибора Г5-54 сигнала, показанного на рис. 6.19.

6.102. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе 1:1 прибора Г5-54 сигнала, показанного на рис. 6.20.

6.103. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе 1:1 прибора Г5-54 сигнала, показанного на рис. 6.21.

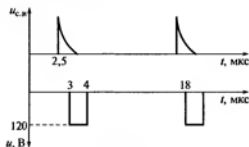


Рис. 6.18. Сигнал, заданный к задаче 6.100

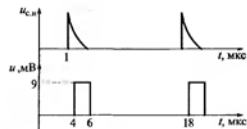


Рис. 6.19. Сигнал, заданный к задаче 6.101

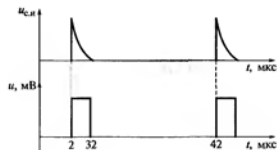


Рис. 6.20. Сигнал, заданный к задаче 6.102

6.104—6.110. Определить относительные погрешности установки параметров, указанных в следующей таблице:

Номер задачи	6.104	6.105	6.106	6.107	6.108	6.109	6.110	
Параметр	$t_n = 7 \text{ мкс}$ $U_m = 90 \text{ мВ}$	$U_m = 6 \text{ В}$ $F = 14 \text{ кГц}$	$t_n = 5 \text{ мкс}$ $F = 10 \text{ кГц}$	$t_n = 30 \text{ мкс}$ $F = 100 \text{ кГц}$	$U_m = 1 \text{ В}$ $t_n = 5 \text{ мкс}$	$U_m = 12 \text{ В}$ $t_n = 0,5 \text{ мкс}$	$t_n = 2 \text{ мкс}$ $t_n = 3 \text{ мкс}$	

Из паспорта на прибор Г5-54 известно, что $\Delta U_m = (0,1 U_m + K)$, где K — коэффициент ступенчатого изменения напряжения; $\Delta F = \pm 0,1 F$, где F в Гц; $\Delta t_n = \pm(0,1 t_n + 0,03) \text{ мкс}$; $\Delta t_n = \pm(0,1 t_n + 0,03) \text{ мкс}$.

6.111—6.119. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе генератора Г5-54 импульсов прямоугольной формы с амплитудами, указанными в следующей таблице (напряжение снимается с выхода 1:1):

Номер задачи	6.111	6.112	6.113	6.114	6.115	6.116	6.117	6.118	6.119
U_m , В	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3

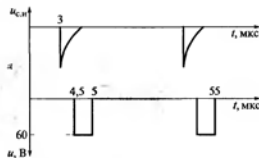


Рис. 6.21. Сигнал, заданный к задаче 6.103

6.120—6.128. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе генератора Г5-54 прямоугольных импульсов с амплитудами, указанными в следующей таблице (напряжение снимается с выхода 1:10):

Номер задачи	6.120	6.121	6.122	6.123	6.124	6.125	6.126	6.127	6.128
U_m	60 мВ	90 мВ	120 мВ	150 мВ	180 мВ	210 мВ	240 мВ	270 мВ	0,3 В

6.129—6.137. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе генератора Г5-54 прямоугольных импульсов с амплитудами, указанными в следующей таблице (напряжение снимается с выхода 1:100):

Номер задачи	6.129	6.130	6.131	6.132	6.133	6.134	6.135	6.136	6.137
U_m , мВ	6	9	12	15	18	21	24	27	30

6.138—6.164. Определить, какие органы управления в каком положении следует установить для получения на выходе генератора Г5-54 импульсов прямоугольной формы с амплитудами, указанными в следующей таблице (напряжение снимается с выхода 1:1):

Номер задачи	6.138	6.139	6.140	6.141	6.142	6.143	6.144	6.145	6.146
U_m , В	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Номер задачи	6.147	6.148	6.149	6.150	6.151	6.152	6.153	6.154	6.155
U_m , В	6	9	12	15	18	21	24	27	30

Номер задачи	6.156	6.157	6.158	6.159	6.160	6.161	6.162	6.163	6.164
U_m , В	20	30	40	50	60	70	80	90	100

6.165. Определить частотный диапазон генератора Г4-102 (рис. 6.22).

6.166. Определить форму сигнала на выходах генератора Г4-102.

6.167. По изображению лицевой панели, показанной на рис. 6.22, определить полное название прибора.

6.168. Определить диапазон установки напряжения на выходе «V» прибора Г4-102.

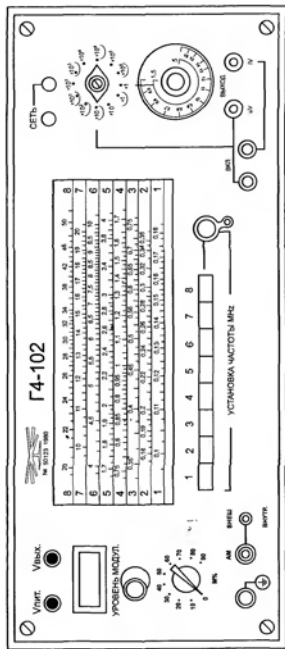


Рис. 6.22. Лицевая панель генератора Г4-102

6.169—6.176. Определить границы регулировки несущей частоты при нажатии следующих кнопок кнопочного переключателя «Установка частоты МГц» прибора Г4-102:

Номер задачи	6.169	6.170	6.171	6.172	6.173	6.174	6.175	6.176
Кнопка переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8

6.177—6.188. Определить границы регулировки напряжения на выходе « μV » прибора Г4-102 при следующих положениях соответствующего дискретного переключателя и цвете цифры, обозначающей предел измерения:

Номер задачи	6.177	6.178	6.179	6.180	6.181	6.182
Положение переключателя	Черный $\times 1$	Красный $\times 1$	Черный $\times 10$	Красный $\times 10$	Черный $\times 10^2$	Красный $\times 10^2$

Номер задачи	6.183	6.184	6.185	6.186	6.187	6.188
Положение переключателя	Черный $\times 10^3$	Красный $\times 10^3$	Черный $\times 10^4$	Красный $\times 10^4$	Черный $\times 10^5$	Красный $\times 10^5$

Цифры красного цвета декадного переключателя на рис. 6.22 помечены дугой. Выделенные дугой множители соответствуют внутренней шкале плавной установки $U_{\text{вх}}$ с крайними цифрами 1,5 и 5 мВ.

6.189. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 0,5 \sin(15,7 \cdot 10^6 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.190. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 4 \sin(3,14 \cdot 10^6 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.191. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 1,5 \sin(6,28 \cdot 10^5 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.192. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 2,1 \sin(9,42 \cdot 10^6 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

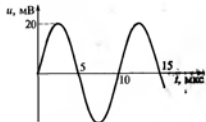


Рис. 6.23. Сигнал, заданный к задаче 6.195

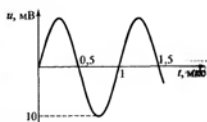


Рис. 6.24. Сигнал, заданный к задаче 6.196

6.193. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 30 \sin(12,56 \cdot 10^7 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.194. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 следующего сигнала:

$$u(t) = 0,02 \sin(15,7 \cdot 10^8 \text{ Гц})t \text{ [мВ]}.$$

6.195. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 сигнала, показанного на рис. 6.23.

6.196. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 сигнала, показанного на рис. 6.24.

6.197. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 сигнала, показанного на рис. 6.25.

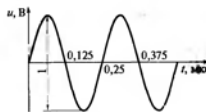


Рис. 6.25. Сигнал, заданный к задаче 6.197

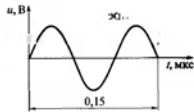


Рис. 6.26. Сигнал, заданный к задаче 6.198

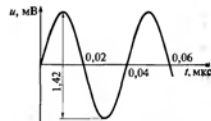


Рис. 6.27. Сигнал, заданный к задаче 6.199

6.198. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 сигнала, показанного на рис. 6.26.

6.199. Определить, какие органы управления в какое положение необходимо установить для получения на выходе прибора Г4-102 сигнала, показанного на рис. 6.27.

6.200. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.189, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{uU} = \pm 12\%$, $\gamma_{uF} = \pm 1\%$ при $U = 350 \text{ мВ}$, $f = 2,5 \text{ МГц}$.

6.201. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.190, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{uU} = \pm 12\%$, $\gamma_{uF} = \pm 1\%$ при $U = 2,8 \text{ мВ}$, $f = 0,5 \text{ МГц}$.

6.202. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.191, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{uU} = \pm 12\%$, $\gamma_{uF} = \pm 1\%$ при $U = 1,05 \text{ мВ}$, $f = 0,1 \text{ МГц}$.

6.203. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.192, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{uU} = \pm 12\%$, $\gamma_{uF} = \pm 1\%$ при $U = 1,5 \text{ мВ}$, $f = 1,5 \text{ МГц}$.

6.204. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.193, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{uU} = \pm 12\%$, $\gamma_{uF} = \pm 1\%$ при $U = 21 \text{ мВ}$, $f = 20 \text{ МГц}$.

6.205. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.194, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{uU} = \pm 12\%$, $\gamma_{uF} = \pm 1\%$ при $U = 14 \text{ мкВ}$, $f = 10 \text{ МГц}$.

6.206. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.195, если в паспорте

на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{\Delta U} = \pm 12\%$, $\gamma_{\Delta f} = \pm 1\%$ при $U = 14$ мВ, $f = 0,1$ МГц.

6.207. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.196, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{\Delta U} = \pm 12\%$, $\gamma_{\Delta f} = \pm 1\%$ при $U = 7$ мВ, $f = 1$ МГц.

6.208. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.197, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{\Delta U} = \pm 12\%$, $\gamma_{\Delta f} = \pm 1\%$ при $U = 0,35$ В, $f = 4$ МГц.

6.209. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.198, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{\Delta U} = \pm 12\%$, $\gamma_{\Delta f} = \pm 1\%$ при $U = 0,5$ В, $f = 10$ МГц.

6.210. Определить абсолютные погрешности установки значений напряжения и частоты, найденных в задаче 6.199, если в паспорте на прибор Г4-102 указаны $\gamma_{\Delta U} = \pm 12\%$, $\gamma_{\Delta f} = \pm 1\%$ при $U = 0,5$ мВ, $f = 25$ МГц.

6.211. Определить значение модулирующей частоты генератора Г4-102.

6.212. Определить тип задающего генератора модулирующей частоты прибора Г4-102 и привести формулу этой частоты.

6.213. Определить тип задающего генератора модулированной (несущей) частоты прибора Г4-102 и привести формулу этой частоты.

7.1. Краткие теоретические сведения

Основные данные осциллографа указаны на его лицевой панели. Осциллографы могут быть следующих типов: *светолучевые* (группа Н) и *электронные* (группа С).

В свою очередь электронные осциллографы (ЭО) по виду индикации подразделяются на *аналоговые* и *цифровые*, по назначению на *универсальные* (С1), *стробоскопические* (С7), *запоминающие* (С8) и *специальные* (С9), а по числу одновременно исследуемых процессов на *одноканальные* и *многоканальные*.

Одноканальные (однолучевые) осциллографы, позволяющие наблюдать на экране один процесс, имеют один вход Y, один переключатель «Вольт/дел.» и по одной ручке регулировки яркости, астигматизма, фокуса.

Многоканальные двухлучевые осциллографы, позволяющие исследовать два процесса одновременно, имеют два входа Y (Y_1 и Y_2), два переключателя «Вольт/дел.» и по две ручки регулировки яркости (Яркость1 и Яркость2), фокуса (Фокус1 и Фокус2), астигматизма (Астигматизм1, Астигматизм2).

Двухканальные ЭО имеют два входа Y (Y_1 и Y_2), два переключателя «Вольт/дел.» и по одной ручке регулировки яркости, астигматизма, фокуса.

Все осциллографы имеют три электрических входа Y, X, Z: Y — предназначен для подачи исследуемого сигнала, под действием которого электронный луч перемещается в вертикальном направлении. У этого входа указывается входной импеданс — значения активного $R_{вх}$ и реактивного $C_{вх}$ сопротивлений. Сопротивление $R_{вх}$, обычно равное 1 МОм, определяет незначительное потребление мощности осциллографом из исследуемой цепи, а сопротивление $C_{вх}$ в зависимости от назначения прибора варьируется в пределах десятков пикофарадов. Входная емкость влияет на полосу пропускания ЭО (чем меньше $C_{вх}$, тем больше частотный диапазон);

X — предназначен для подачи вспомогательного напряжения, обеспечивающего перемещение электронного луча по горизонтали и получения неподвижной осциллограммы;

Z — (в отличие от X и Y) предназначен для управления яркостью луча и расположен на задней панели прибора.

Ключевым моментом работы с осциллографом является приобретение пользовательских навыков и умения измерять параметры различных сигналов с возможно меньшей погрешностью, что невозможно осуществить без знания универсальной методики измерения, используемой для любого аналогового ЭО.

7.2. Методика измерения параметров сигналов

Универсальная методика измерений с помощью осциллографа включает в себя следующие процессы.

1. Определение формы исследуемого сигнала (табл. 7.1).

Сигнал может быть однополярным, т.е. с амплитудой одной полярности (см. табл. 7.1, сигналы с номерами 2 и 4а—в) и двухполярные с положительной и отрицательной амплитудами (сигналы с номерами 1, 3 и 4г).

2. Установка ручкой регулировки линии развертки ЭО:

- для положительного однополярного сигнала — внизу экрана, а для отрицательного однополярного сигнала — вверху (на расстоянии не менее одного деления от края);
- для двухполярного сигнала — по центру экрана.

3. Выбор положения масштабозадающих органов управления ЭО:

- размер осциллограммы по горизонтали устанавливается переключателем «Время/дел.» и тумблером «Развертка» (если он есть) в соответствии с периодом повторения сигнала. Произведение значений, установленных переключателем и тумблером, является ее масштабом;

- размер осциллограммы по вертикали устанавливается переключателем «Вольт/дел.» (в некоторых осциллографах и тумблером «Усилитель») в соответствии с амплитудой сигнала. Показание переключателя «Вольт/дел.» (или произведение значений, установленных переключателем «Вольт/дел.» и тумблером «Усилитель») является масштабом осциллограммы.

От выбранного масштаба осциллограммы зависит погрешность измерения параметров сигнала.

4. Определение значений конкретных прямых параметров сигнала по осциллограмме и производных вторичных параметров по расчетным формулам, приведенным в табл. 7.1.

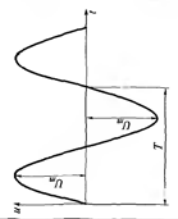
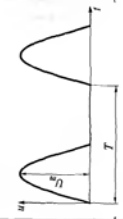
5. Расчет всех прямых параметров сигнала в любой момент времени осциллограммы (по вертикали A_v и по горизонтали A_h) производится по формуле

$$A_{(t)} = C_{(H)} n_{(H)} \quad (7.1)$$

где $C_{(H)}$ — цена одного деления масштабной сетки осциллографа по вертикали (горизонтالي); $n_{(H)}$ — линейный размер параметра сигнала по вертикали (горизонтали) в делениях масштабной сетки.

Таблица 7.1.

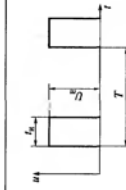
Сигналы, широко используемые в электронике

Название сигнала	Форма сигнала	Параметры сигнала	Формулы для расчета производных параметров
1. Синусоидальный		U_m — амплитудное значение; U — среднеквадратическое значение; T — период повторения; F — частота	$U_m = \frac{U}{\sqrt{2}} = 0,707U_m \quad (7.2)$
2. Пульсирующий: а) однополюсный б) разнополюсный			$F = \frac{1}{T} \quad (7.3)$

Название сигнала	Форма сигнала	Параметры сигнала	Формулы для расчета производных параметров
б) двухполупериодный			
3. Амплитудно-модулированный (АМ колебание)		<p>T_n — период повторения модулирующей частоты; F — модулирующая частота; T — период повторения несущей частоты; f — несущая частота; M — коэффициент амплитудной модуляции; A, B — линейные размеры</p>	$F = \frac{1}{T_n}$ $f = \frac{1}{T}$ $M = \frac{A-B}{A+B} 100 \quad (7.4)$

4. Импульсные:

а) прямоугольный



U_n — амплитуда импульса;
 t_n — длительность импульса;
 T — период повторения импульса;
 F — частота повторения импульса;

$$q = \frac{T}{t_n} \frac{U_n}{P_n} \quad (7.5)$$

q — скважность;

ΔU_n — скос вершины

импульса;

t_p — передний фронт им-

пульса;

t_{cp} — задний скос импуль-

са;

t_{pa} — время рабочего хода

пилы;

t_{ox} — время обратного хо-

да пилы

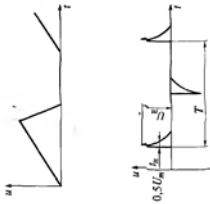
б) трапециевидный



в) пилообразный:

• непрерывный



Название сигнала	• жгутикий (г) дифференцированный модь
Форма сигнала	
Параметры сигнала	
Формулы для расчета прокатанных параметров	

7.3. Примеры решения задач

Пример 7.1. Требуется указать полное название прибора, представленного на рис. 7.1.

Решение. В соответствии с каталоговой классификацией радиоизмерительных приборов (см. приложение 5) С1 — обозначение осциллографа электронного универсального, а 67 — номер модели.

Так как на изображении лицевой панели отсутствует цифровой индикатор, то прибор аналоговый.

На лицевой панели прибора один вход Y (обозначенный на панели прибора входным импедансом), один переключатель «Вольт/дел.», по одной ручке «Яркость» и «Фокус», что характеризует осциллограф как однолучевой.

Следовательно, полное название прибора — осциллограф электронный аналоговый универсальный однолучевой.

Пример 7.2. Требуется определить диапазон измерения напряжения по передней панели осциллографа С1-67 (см. рис. 7.1).

Решение. Напряжение, измеряемое осциллографом, рассчитано по формуле (7.1): $U = C_Y n U$.

Минимальное (максимальное) напряжение U_{\min} (U_{\max}) найдем исходя из минимального (максимального) значений C_Y и n_U .

На шкале переключателя «Вольт/дел.» минимальное значение C_Y равно 0,01 В/дел. (максимальное — 20 В/дел.).

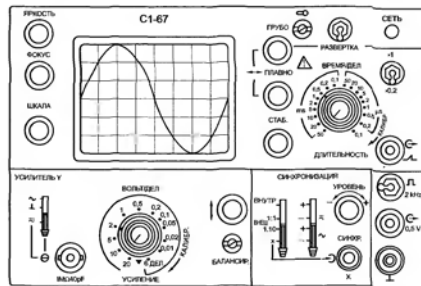


Рис. 7.1. Изображение лицевой панели прибора С1-67 с синусоидальным сигналом

Минимальный линейный размер по вертикали n_Y принимаем равным одному делению, так как при меньших значениях возрастает погрешность измерения, максимальное значение n_Y по масштабной сетке — 6 делений.

Следовательно, диапазон измерения напряжений осциллографа С1-67 составляет:

$$U_{\min} = (0,01 \text{ В/дел.})(1 \text{ дел.}) = 0,01 \text{ В}; U_{\max} = (20 \text{ В/дел.})(6 \text{ дел.}) = 120 \text{ В}.$$

Пример 7.3. Требуется определить параметры синусоидального сигнала (см. табл. 7.1) при следующих положениях переключателей и тумблера прибора, показанного на рис. 7.1: «Вольт/дел.» — 2; «Время/дел.» — 50 мс/дел.; тумблер «Развертка» — $\times 0,2$.

Решение. Исходя из синусоиды, показанной на экране осциллографа, амплитуда сигнала составляет 3 деления, а его период — 8 делений.

Заданный сигнал является синусоидальным с параметрами U_m , U , T , F .

Амплитудное значение напряжения определяем по формуле (7.5):

$$U_m = C_Y n_Y = (2 \text{ В/дел.})(3 \text{ дел.}) = 6 \text{ В}.$$

Среднеквадратическое значение напряжения определяем из формулы (7.2):

$$U = 0,707 \cdot 6 \text{ В} = 4,2 \text{ В}.$$

Период повторения сигнала определяем по формуле (7.1):

$$T = C_X n_X = (50 \text{ мс/дел.})(0,2 \cdot 8 \text{ дел.}) = 80 \text{ мс}.$$

Частоту повторения определяем по формуле (7.3):

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{80 \cdot 10^{-3} \text{ с}} = 12,5 \text{ Гц}.$$

Следовательно, параметры измеренного синусоидального сигнала составляют:

$$U_m = 6 \text{ В}; U = 4,2 \text{ В}; T = 80 \text{ мс}; F = 12,5 \text{ Гц}.$$

Пример 7.4. Требуется определить, как изменяются линейные размеры осциллограммы по горизонтали и вертикали, если переключатель «Вольт/дел.» из положения 2 (когда амплитуда сигнала соответствует трем делениям), перевести в положение 10?

Решение. Линейные размеры осциллограммы по горизонтали регулируются переключателем «Время/дел.» и тумблером «Развертка», положение которых по условию задачи не изменяется. Следовательно, размеры осциллограммы по горизонтали не изменятся.

Амплитуда сигнала по вертикали в исходном положении переключателя «Вольт/дел.»

$$U_m = C_Y n_Y = (2 \text{ В/дел.})(3 \text{ дел.}) = 6 \text{ В}.$$

найдем амплитуду сигнала по вертикали при положении переключателя «Вольт/дел.» на отметке 10 из следующей формулы:

$$U_m = (10 \text{ В/дел.})(x \text{ дел.}) = 6 \text{ В},$$

откуда

$$x = \frac{6 \text{ В}}{10 \text{ В/дел.}} = 0,6 \text{ дел.}$$

Итак, при $C_Y = 2 \text{ В/дел.}$ линейный размер параметра $n_Y = 3 \text{ дел.}$; а при $C_Y = 10 \text{ В/дел.}$ этот размер $n_Y = 0,6 \text{ дел.}$, т.е. при заданном положении переключателя размеры осциллограммы по вертикали уменьшатся в 5 раз, а ее размеры по горизонтали не изменятся.

Пример 7.5. Требуется определить входное полное сопротивление осциллографа С1-67, показанного на рис. 7.1.

Решение. Сведения о входном полном сопротивлении указаны на лицевой панели прибора, т.е. в данном случае $R_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$, а $C_{\text{вх}} = 40 \text{ пФ}$.

7.4. Задачи для самостоятельного решения

7.1. Определить входное полное сопротивление по входу Y прибора С1-67, изображенного на рис. 7.2.

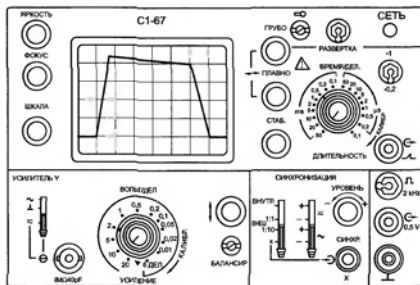


Рис. 7.2. Изображение лицевой панели осциллографа С1-67 с импульсным сигналом

7.2. Определить чувствительность прибора С1-67 по входу У.

7.3. Определить чувствительность прибора С1-67 по входу Х.

7.4. Определить полное название прибора, показанного на рис. 7.2.

7.5. Определить, какие органы управления прибора С1-67 влияют на размеры осциллограммы по вертикали?

7.6. Определить, какие органы управления прибора С1-67 влияют на размеры осциллограммы по горизонтали?

7.7. Определить паспортную характеристику прибора С1-67 — диапазон измерения напряжения сигнала.

7.8. Определить паспортную характеристику прибора С1-67 — диапазон измерения периода следования импульсов.

7.9. Определить паспортную характеристику прибора С1-67 — диапазон измерения длительности импульса.

7.10. Определить паспортную характеристику прибора С1-67 — диапазон измерения частоты следования импульсов.

7.11—7.21. Определить границы измерения напряжения при установке переключателя «Вольт/дел.» прибора С1-67 в следующие положения:

Номер задачи	7.11	7.12	7.13	7.14	7.15	7.16	7.17	7.18	7.19	7.20	7.21
Положение переключателя «Вольт/дел.»	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01

7.22—7.39. Определить границы измерения периода следования сигнала при следующих положениях переключателя «Время/дел.» и тумблера «Развертка» прибора С1-67:

Номер задачи	7.22	7.23	7.24	7.25	7.26	7.27	7.28	7.29	7.30
Положение переключателя «Время/дел.»	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс
Положение тумблера «Развертка»	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1

Номер задачи	7.31	7.32	7.33	7.34	7.35	7.36	7.37	7.38	7.39
Положение переключателя «Время/дел.»	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс
Положение тумблера «Развертка»	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1

7.40—7.50. Определить амплитуды напряжения сигнала, представленного на экране рис. 7.2, при следующих положениях переключателя «Вольт/дел.»:

Номер задачи	7.40	7.41	7.42	7.43	7.44	7.45	7.46	7.47	7.48	7.49	7.50
Положение переключателя «Вольт/дел.»	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01

7.51—7.61. Определить скос вершины импульса, представленного на экране рис. 7.2, при следующих положениях переключателя «Вольт/дел.»:

Номер задачи	7.51	7.52	7.53	7.54	7.55	7.56	7.57	7.58	7.59	7.60	7.61
Положение переключателя «Вольт/дел.»	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01

7.62—7.79. Определить длительность импульса у сигнала, представленного на экране рис. 7.2, при следующих положениях масштабозадающих органов управления прибора С1-67:

Номер задачи	7.62	7.63	7.64	7.65	7.66	7.67	7.68	7.69	7.70
Положение переключателя «Время/дел.»	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс
Положение тумблера «Развертка»	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1

Номер задачи	7.71	7.72	7.73	7.74	7.75	7.76	7.77	7.78	7.79
Положение переключателя «Время/дел.»	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс
Положение тумблера «Развертка»	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1	×0,2 ×1

7.80—7.97. Определить время установления переднего фронта импульса, представленного на экране рис. 7.2, при следующих положениях масштабозадающих органов управления прибора С1-67:

Номер задачи	7.80	7.81	7.82	7.83	7.84	7.85	7.86	7.87	7.88
Положение переключателя «Время/дел.»	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс
Положение тумблера «Развертка»	×1	×1	×1	×1	×1	×1	×1	×1	×1

Номер задачи	7.179	7.180	7.181	7.182	7.183	7.184	7.185	7.186
Уменьшение осциллограммы по горизонтали, раз	2 000	5 000	10 000	20 000	50 000	100 000	200 000	500 000

7.187 — 7.203. Определить, какие органы управления прибора С1-67 в каком положении необходимо установить для увеличения размеров осциллограммы по горизонтали в следующее число раз (исходное положение переключателей «Вольт/дел.» — 1, «Время/дел.» — 50 мс; тумблера «Развертка» — $\times 0,2$):

Номер задачи	7.187	7.188	7.189	7.190	7.191	7.192	7.193	7.194	7.195
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	2,5	5	10	25	50	100	250	500	1000

Номер задачи	7.196	7.197	7.198	7.199	7.200	7.201	7.202	7.203
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	2 500	5 000	10 000	25 000	50 000	100 000	250 000	500 000

7.204 — 7.213. Определить, как изменятся размеры осциллограммы по вертикали и горизонтали при переводе переключателя «Вольт/дел.» прибора С1-67 из исходного положения 2 в следующее положение:

Номер задачи	7.204	7.205	7.206	7.207	7.208	7.209	7.210	7.211	7.212	7.213
Изменение положения переключателя «Вольт/дел.»	5	10	20	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01

7.214 — 7.230. Определить, как изменятся размеры осциллограммы по вертикали и горизонтали при переводе переключателя «Время/дел.» прибора С1-67 из исходного положения 0,5 мс в следующее положение:

Номер задачи	7.214	7.215	7.216	7.217	7.218	7.219	7.220	7.221	7.222
Положение переключателя «Время/дел.»	1 мс	2 мс	5 мс	10 мс	20 мс	50 мс	0,2 мс	0,1 мс	50 μ с

Номер задачи	7.223	7.224	7.225	7.226	7.227	7.228	7.229	7.230
Положение переключателя «Время/дел.»	20 μ с	10 μ с	5 μ с	2 μ с	1 μ с	0,5 μ с	0,2 μ с	0,1 μ с

7.231 — 7.241. Определить, при каких положениях переключателя «Вольт/дел.» прибора С1-67 измерение следующих амплитуд синусоидального напряжения будет иметь наименьшую погрешность:

Номер задачи	7.231	7.232	7.233	7.234	7.235	7.236	7.237	7.238	7.239	7.240	7.241
Амплитуда напряжения, В	90	45	22,5	9	4,5	2,25	0,9	0,45	0,225	0,09	0,045

7.242 — 7.259. Определить, при каких положениях переключателя «Время/дел.» прибора С1-67 измерение следующих длительностей импульса, изображенного на экране рис. 7.2, будет иметь наименьшую погрешность (тумблер «Развертка» установлен в положение $\times 1$):

Номер задачи	7.242	7.243	7.244	7.245	7.246	7.247	7.248	7.249	7.250
Длительность импульса	250 мс	100 мс	50 мс	25 мс	10 мс	5 мс	2,5 мс	1 мс	0,5 мс

Номер задачи	7.251	7.252	7.253	7.254	7.255	7.256	7.257	7.258	7.259
Длительность импульса	250 мкс	100 мкс	50 мкс	25 мкс	10 мкс	5 мкс	2,5 мкс	1 мкс	0,5 мкс

7.260 — 7.277. Определить, при каком положении переключателя «Время/дел.» прибора С1-67 измерение следующих длительностей импульса, изображенного на экране рис. 7.2, будет иметь наименьшую погрешность (тумблер «Развертка» установлен в положение $\times 0,2$):

Номер задачи	7.260	7.261	7.262	7.263	7.264	7.265	7.266	7.267	7.268
Длительность импульса	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс

Номер задачи	7.269	7.270	7.271	7.272	7.273	7.274	7.275	7.276	7.277
Длительность импульса	50 мкс	20 мкс	10 мкс	5 мкс	2 мкс	1 мкс	0,5 мкс	0,2 мкс	0,1 мкс

7.278. Сравнить входные полные сопротивления осциллографов С1-67 (см. рис. 7.2) и С1-93 (рис. 7.3), определить, частотный диапазон какого прибора больше.

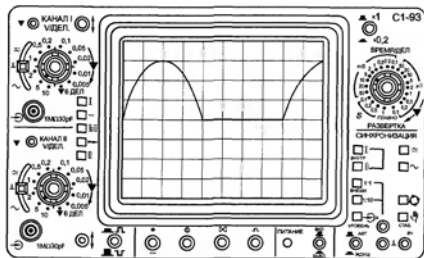


Рис. 7.3. Изображение лицевой панели осциллографа C1-93

7.279. Определить преимущества осциллографа C1-93 (см. рис. 7.3) по сравнению с осциллографом C1-67 (см. рис. 7.2).

7.280. Определить по изображениям лицевых панелей одинаковую характеристику осциллографов C1-93 (см. рис. 7.3) и C1-67 (см. рис. 7.2).

7.281. Определить недостатки осциллографа C1-93 (см. рис. 7.3) по сравнению с осциллографом C1-67 (см. рис. 7.2).

7.282. Определить входное полное сопротивление C1-93 по входу Y.

7.283. Определить чувствительность прибора C1-93 по входу Y.

7.284. Определить чувствительность прибора C1-93 по входу X.

7.285. Привести полное название прибора C1-93.

7.286. Определить, какие органы управления прибора C1-93 влияют на размеры осциллограммы по вертикали.

7.287. Определить, какие органы управления прибора C1-93 влияют на размеры осциллограммы по горизонтали.

7.288. Определить паспортную характеристику прибора C1-93 — диапазон измерения напряжения.

7.289. Определить паспортную характеристику прибора C1-93 — диапазон измерения периода следования сигнала.

7.290. Определить паспортную характеристику прибора C1-93 — диапазон измерения частоты следования сигнала.

7.291—7.301. Определить границы измерения напряжения прибором C1-93 при установке переключателя «V/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.291	7.292	7.293	7.294	7.295	7.296	7.297	7.298	7.299	7.300	7.301
Положение переключателя «V/дел.»	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005

7.302—7.323. Определить границы измерения периода следования сигнала при установке тумблера «Развертка» прибора C1-93 в положение $\times 1$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.302	7.303	7.304	7.305	7.306	7.307	7.308	7.309
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.310	7.311	7.312	7.313	7.314	7.315	7.316	7.317
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s

Номер задачи	7.318	7.319	7.320	7.321	7.322	7.323
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.324—7.345. Определить границы измерения периода следования сигнала при установке тумблера «Развертка» прибора C1-93 в положение $\times 0,2$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.324	7.325	7.326	7.327	7.328	7.329	7.330	7.331
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.332	7.333	7.334	7.335	7.336	7.337	7.338	7.339
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s

Номер задачи	7.340	7.341	7.342	7.343	7.344	7.345
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.346—7.367. Определить границы измерения частоты сигнала при установке тумблера «Развертка» прибора С1-93 в положение $\times 1$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.346	7.347	7.348	7.349	7.350	7.351	7.352	7.353
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.354	7.355	7.356	7.357	7.358	7.359	7.360	7.361
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s

Номер задачи	7.362	7.363	7.364	7.365	7.366	7.367
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.368—7.389. Определить границы измерения частоты сигнала при установке тумблера «Развертка» прибора С1-93 в положение $\times 0,2$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.368	7.369	7.370	7.371	7.372	7.373	7.374	7.375
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.376	7.377	7.378	7.379	7.380	7.381	7.382	7.383
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s

Номер задачи	7.384	7.385	7.386	7.387	7.388	7.389
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.390—7.400. Определить амплитуду напряжения сигнала, представленного на экране рис. 7.3, при следующих положениях переключателя «V/дел.» прибора С1-93:

Номер задачи	7.390	7.391	7.392	7.393	7.394	7.395	7.396	7.397	7.398	7.399	7.400
Положение переключателя «V/дел.»	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005

7.401—7.411. Определить среднеквадратическое значение напряжения сигнала, представленного на экране рис. 7.3, при следующих положениях переключателя «V/дел.» прибора С1-93: —

Номер задачи	7.401	7.402	7.403	7.404	7.405	7.406	7.407	7.408	7.409	7.410	7.411
Положение переключателя «V/дел.»	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005

7.412—7.433. Определить период следования сигнала, представленного на экране рис. 7.3, при установке тумблера «Развертка» прибора С1-93 в положение $\times 1$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.412	7.413	7.414	7.415	7.416	7.417	7.418	7.419
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.420	7.421	7.422	7.423	7.424	7.425	7.426	7.427
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s

Номер задачи	7.428	7.429	7.430	7.431	7.432	7.433
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.434—7.455. Определить период следования сигнала, представленного на экране рис. 7.3, при установке тумблера «Развертка» прибора С1-93 в положение $\times 0,2$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.434	7.435	7.436	7.437	7.438	7.439	7.440	7.441	7.442	7.443
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms	2 ms	1 ms

Номер задачи	7.444	7.445	7.446	7.447	7.448	7.449	7.450	7.451	7.452
Положение переключателя «Время/дел.»	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s	5 μ s	2 μ s	1 μ s

Номер задачи	7.453	7.454	7.455
Положение переключателя «Время/дел.»	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.456—7.477. Определить частоту следования сигнала, представленного на экране рис. 7.3, при установке положения тумблера

«Развертка» прибора С1-93 в положение $\times 1$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.456	7.457	7.458	7.459	7.460	7.461	7.462	7.463
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.464	7.465	7.466	7.467	7.468	7.469	7.470	7.471
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s

Номер задачи	7.472	7.473	7.474	7.475	7.476	7.477
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.478 — 7.499. Определить частоту следования сигнала, представленного на экране рис. 7.3, при установке тумблера «Развертка» прибора С1-93 в положение $\times 0,2$, а переключателя «Время/дел.» в следующие положения:

Номер задачи	7.478	7.479	7.480	7.481	7.482	7.483	7.484	7.485
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.486	7.487	7.488	7.489	7.490	7.491	7.492	7.493
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s	10 μ s

Номер задачи	7.494	7.495	7.496	7.497	7.498	7.499
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.500 — 7.509. Определить, какие органы управления прибора С1-93 в какое положение необходимо установить для увеличения размеров осциллограммы по вертикали в следующее число раз (исходные положения переключателей «V/дел.» — 10, «Время/дел.» — 1 s, тумблера «Развертка» — $\times 1$):

Номер задачи	7.500	7.501	7.502	7.503	7.504	7.505	7.506	7.507	7.508	7.509
Увеличение осциллограммы по вертикали, раз	2	5	10	20	50	100	200	500	1 000	2 000

7.510 — 7.519. Определить, какие органы управления прибора С1-93 в какое положение необходимо установить для уменьшения

размеров осциллограммы по вертикали в следующее число раз (исходные положения переключателей «V/дел.» — 0,005, «Время/дел.» — 0,1 μ s, тумблера «Развертка» — $\times 0,2$):

Номер задачи	7.510	7.511	7.512	7.513	7.514	7.515	7.516	7.517	7.518	7.519
Уменьшение осциллограммы по вертикали, раз	2	4	10	20	40	100	200	400	1 000	2 000

7.520 — 7.540. Определить, какие органы управления прибора С1-93 в какое положение необходимо установить для увеличения размеров осциллограммы по горизонтали в следующее число раз (исходные положения переключателей «V/дел.» — 10, «Время/дел.» — 1 s, тумблера «Развертка» $\times 1$):

Номер задачи	7.520	7.521	7.522	7.523	7.524	7.525	7.526	7.527
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	2	5	10	20	50	100	200	500

Номер задачи	7.528	7.529	7.530	7.531	7.532	7.533	7.534	7.535
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	1 000	2 000	5 000	10 ⁴	2 \cdot 10 ⁴	5 \cdot 10 ⁴	10 ⁵	2 \cdot 10 ⁵

Номер задачи	7.536	7.537	7.538	7.539	7.540
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	5 \cdot 10 ⁵	10 ⁶	2 \cdot 10 ⁶	5 \cdot 10 ⁶	10 ⁷

7.541 — 7.561. Определить, какие органы управления прибора С1-93 в какое положение необходимо установить для уменьшения размеров осциллограммы по горизонтали в следующее число раз (исходные положения переключателей «V/дел.» — 0,005, «Время/дел.» — 0,1 μ s, тумблера «Развертка» — $\times 1$):

Номер задачи	7.541	7.542	7.543	7.544	7.545	7.546	7.547	7.548
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	2	5	10	20	50	100	200	500

Номер задачи	7.549	7.550	7.551	7.552	7.553	7.554	7.555	7.556
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	1 000	2 000	5 000	10 ⁴	2 \cdot 10 ⁴	5 \cdot 10 ⁴	10 ⁵	2 \cdot 10 ⁵

Номер задачи	7.557	7.558	7.559	7.560	7.561
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	$5 \cdot 10^2$	10^3	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	10^4

7.562—7.582. Определить, какие органы управления прибора С1-93 в каком положении необходимо установить для увеличения размеров осциллограммы по горизонтали в следующее число раз (исходные положения переключателей «V/дел.» — 10, «Время/дел.» — 1 с, тумблера «Развертка» — $\times 0,2$):

Номер задачи	7.562	7.563	7.564	7.565	7.566	7.567	7.568	7.569
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	2	5	10	20	50	100	200	500

Номер задачи	7.570	7.571	7.572	7.573	7.574	7.575	7.576	7.577
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	1 000	2 000	5 000	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$

Номер задачи	7.578	7.579	7.580	7.581	7.582
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	$5 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5

7.583—7.603. Определить, какие органы управления прибора С1-93 в каком положении необходимо установить для уменьшения размеров осциллограммы по горизонтали в следующее число раз (исходные положения переключателей «V/дел.» — 20, «Время/дел.» — 0,1 мс, а тумблера «Развертка» — $\times 0,2$):

Номер задачи	7.583	7.584	7.585	7.586	7.587	7.588	7.589	7.590
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	2	5	10	20	50	100	200	500

Номер задачи	7.591	7.592	7.593	7.594	7.595	7.596	7.597	7.598
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	1 000	2 000	5 000	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$

Номер задачи	7.599	7.600	7.601	7.602	7.603
Увеличение осциллограммы по горизонтали, раз	$5 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5

7.604—7.613. Определить, как изменятся размеры осциллограммы по вертикали и горизонтали при переводе переключателя «V/дел.» прибора С1-93 из исходного положения 5 в следующие положения:

Номер задачи	7.604	7.605	7.606	7.607	7.608	7.609	7.610	7.611	7.612	7.613
Положение переключателя «V/дел.»	10	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005

7.614—7.634. Определить, как изменятся размеры осциллограммы по вертикали и горизонтали при переводе переключателя «Время/дел.» прибора С1-93 из исходного положения 5 мс в следующие положения:

Номер задачи	7.614	7.615	7.616	7.617	7.618	7.619	7.620	7.621
Положение переключателя «Время/дел.»	10 мс	20 мс	50 мс	0,1 с	0,2 с	0,5 с	1 с	2 мс

Номер задачи	7.622	7.623	7.624	7.625	7.626	7.627	7.628	7.629
Положение переключателя «Время/дел.»	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс	50 мкс	20 мкс	10 мкс	5 мкс

Номер задачи	7.630	7.631	7.632	7.633	7.634
Положение переключателя «Время/дел.»	2 мкс	1 мкс	0,5 мкс	0,2 мкс	0,1 мкс

7.635—7.655. Определить, как изменятся размеры осциллограммы по вертикали и горизонтали при установке тумблера «Развертка» прибора С1-93 в положение $\times 0,2$ и переводе переключателя «Время/дел.» из исходного положения 5 мс в следующие положения:

Номер задачи	7.635	7.636	7.637	7.638	7.639	7.640	7.641	7.642
Положение переключателя «Время/дел.»	10 мс	20 мс	50 мс	0,1 с	0,2 с	0,5 с	1 с	2 мс

Номер задачи	7.643	7.644	7.645	7.646	7.647	7.648	7.649	7.650
Положение переключателя «Время/дел.»	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс	50 мкс	20 мкс	10 мкс	5 мкс

Номер задачи	7.651	7.652	7.653	7.654	7.655
Положение переключателя «Время/дел.»	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс

7.656. Определить, как изменятся размеры осциллограммы по вертикали и горизонтали при переводе тумблера «Развертка» прибора С1-93 из положения $\times 1$ в положение $\times 0,2$.

7.657—7.667. Определить, при каких положениях переключателя «V/дел.» прибора С1-93 измерение следующих амплитуд напряжения будет иметь наименьшую погрешность:

Номер задачи	7.657	7.658	7.659	7.660	7.661	7.662	7.663	7.664	7.665	7.666	7.667
Амплитуда напряжения, В	75	39	15	8	3,8	1,6	0,7	0,37	0,15	0,065	0,036

7.668—7.689. Определить, при каких положениях переключателя «Время/дел.» прибора С1-93 измерение следующих периодов следования модулирующего сигнала будет иметь наименьшую погрешность (тумблер «Развертка» в положении $\times 1$):

Номер задачи	7.668	7.669	7.670	7.671	7.672	7.673	7.674	7.675
Период следования сигнала	10 с	4,9 с	1,9 с	0,95 с	495 мс	200 мс	90 мс	48 мс

Номер задачи	7.676	7.677	7.678	7.679	7.680	7.681	7.682
Период следования сигнала	18 мс	8,8 мс	4,85 мс	1,85 мс	0,89 мс	498 мкс	195 мкс

Номер задачи	7.683	7.684	7.685	7.686	7.687	7.688	7.689
Период следования сигнала	100 мкс	47 мкс	18 мкс	9,4 мкс	4,8 мкс	1,9 мкс	0,97 мкс

7.690—7.711. Определить, при каких положениях переключателя «Время/дел.» прибора С1-93 измерение следующих периодов следования модулирующего сигнала будет иметь наименьшую погрешность (тумблер «Развертка» в положении $\times 0,2$):

Номер задачи	7.690	7.691	7.692	7.693	7.694	7.695	7.696	7.697
Период следования сигнала	2 с	980 мс	0,4 с	0,19 с	99 мс	39 мс	18 мс	9,7 мс

Номер задачи	7.698	7.699	7.700	7.701	7.702	7.703	7.704
Период следования сигнала	3,8 мс	1,7 мс	990 мкс	0,39 мс	0,18 мс	95 мкс	39,5 мкс

Номер задачи	7.705	7.706	7.707	7.708	7.709	7.710	7.711
Период следования сигнала	19 мкс	9,6 мкс	3,8 мкс	1,8 мкс	0,99 мкс	0,37 мкс	0,19 мкс

ИЗМЕРИТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

8.1. Краткие теоретические сведения

Основные характеристики указываются на лицевой панели измерителей.

По виду индикации измерители подразделяются на *аналоговые* и *цифровые*.

По назначению различают:

- мультиметры для проверки целостности $p-n$ -переходов диодов и транзисторов (Ц);
- измерители параметров электрорадиодных приборов (Л1);
- измерители параметров полупроводниковых приборов — диодов, транзисторов и интегральных микросхем — ИМС (Л2);
- логические анализаторы (ЛА).

Основными метрологическими характеристиками измерителей являются:

- назначение прибора;
- измеряемые параметры;
- диапазон измерения параметров;
- погрешность измерения.

Проверка годности электрорадиодных приборов и аналоговых ИМС (АИМС) осуществляется посредством измерения и сравнения качественных характеристик со справочными.

Если измеренные параметры соответствуют справочным, проверяемый прибор считается годным.

Мультиметры (как аналоговые, так и цифровые) используют для проверки целостности $p-n$ -переходов диодов и транзисторов. Эта операция называется «прозвонкой».

Проверка исправности диодов заключается в измерении прямого и обратного сопротивлений $p-n$ -перехода. Сначала отрицательный (общий) щуп омметра подключают к аноду диода, а плюсовой — к катоду. При этом $p-n$ -переход диода будет смещен в обратном направлении и омметр покажет очень высокое сопротивление (мегаомы). Затем полярность подключения меняют на обратную, и омметр регистрирует низкое сопротивление $p-n$ -перехода. Если же в обоих направлениях подключения омметра регистрируется низкое сопротивление, значит, $p-n$ -переход диода пробит.

При проверке биполярных транзисторов необходимо помнить, что они имеют два $p-n$ -перехода, поэтому «прозваниваются» они как диоды, т.е. один щуп омметра подключают к выводу базы, а вторым поочередно касаются выводов коллектора и эмиттера.

При «прозвонке» транзисторов следует использовать следующую особенность цифрового мультиметра. При измерении сопротивления максимальное напряжение на его щупах не превышает 0,2 В, а $p-n$ -переходы кремниевых полупроводников открываются при напряжении более 0,6 В. Следовательно, в режиме измерения сопротивления цифровым мультиметром $p-n$ -переходы приборов, припаянных к плате, не открываются, и в этом режиме цифровой мультиметр измеряет напряжение. Значение напряжения на щупах аналогового мультиметра в этом режиме достаточно для открывания $p-n$ -переходов.

Для «прозвонки» $p-n$ -переходов в цифровой мультиметр введен специальный поддиапазон, обозначаемый условным графическим изображением диода на шкале переключателя параметров. Рабочее напряжение на щупах мультиметра в этом режиме равно 0...2 В, а ток через щупы не превышает 1 мкА. Таким током невозможно пробить даже самый маломощный полупроводник.

Некоторые типы мультиметров обеспечивают измерение следующих качественных параметров диодов и биполярных транзисторов:

- h_{216} ($h_{21\alpha}$) — коэффициент передачи тока в схеме с общей базой (общим эмиттером);
- $I_{к, об}$ ($I_{СВ0}$) — обратный ток коллектора (ток неосновных носителей).

При проверке качественных параметров диодов и транзисторов лучше использовать специализированные приборы классификационной подгруппы Л2. Отдельные приборы этой подгруппы позволяют проверить качественные параметры АИМС.

Основные параметры, проверяемые с помощью измерителей подгруппы Л2, следующие:

- выпрямительные диоды — прямое напряжение (U_p) и обратный ток (I_R);
- стабилитроны — напряжение стабилизации (U_s);
- биполярные транзисторы — коэффициент передачи тока (h_{21}), обратный ток коллектора ($I_{СВ0}$), выходная проводимость (h_{22}), граничная частота (f_p);
- аналоговые ИМС — коэффициент усиления напряжения K_U (A_U), выходное напряжение $U_{вых}$ (U_{01} , U_{02}), потребляемый ток $I_{пот}$ ($-I_{пот1}$ + $I_{пот2}$), входной ток $I_{вх}$ (I_i), напряжение смещения $U_{см}$ (U_{i0}).

Логические цифровые интегральные микросхемы (ЦИМС) проверяются измерителями подгруппы Л2 посредством тестового контроля, т.е. при различных комбинациях логических уровней на их входах измеряется напряжение на выходе.

Проверка микросхем (так же, как диодов и транзисторов) начинается с работы со справочником, из которого берут следующие данные:

- цоколевка (диода, транзистора, ИМС), на основании которой испытуемый объект подключается к зажимам прибора или устанавливается в адаптер;
- напряжение питания, подаваемое на испытуемый объект, для обеспечения его работы;
- значения входных напряжений АИМС и значения напряжений, соответствующих уровням логических единицы и нуля ЦИМС;
- структурная схема, номера выводов заземления, напряжение питания, номера входов и выходов ЦИМС.

8.2. Примеры решения задач

Пример 8.1. Требуется определить полное название прибора, представленного на рис. 8.1.

Решение. Л2-47 — измеритель электронных аналоговых параметров аналоговых интегральных микросхем.

Пример 8.2. Требуется определить параметры АИМС, измеряемые прибором Л2-47, используя рис. 8.1.

Решение. Выходное напряжение U_{02} , коэффициент усиления A_U , входной ток I_I , потребляемые токи $\pm I_{пот}$, напряжение смещения U_{10} .

Пример 8.3. Требуется определить диапазон измерения коэффициента усиления прибором, показанным на рис. 8.1.

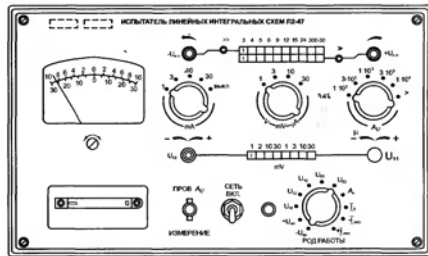


Рис. 8.1. Изображение лицевой панели прибора Л2-47

Решение. Коэффициент $A_{U\min}$ определяем при минимальном положении переключателя пределов прибора « A_U », т.е. при $1 \cdot 10^2 = 100$. Используем для расчета верхнюю шкалу индикатора «10», кратную 100. При этом переходный коэффициент шкалы

$$K_{ш} = \frac{1 \cdot 10^2}{10} = 10.$$

Первое от нуля оцифрованное деление на выбранной шкале прибора — это 2, следовательно, $A_{U\min} = 2 \cdot 10 = 20$.

Коэффициент $A_{U\max}$ определяем при максимальном положении переключателя пределов « A_U », т.е. при $1 \cdot 10^4$, тогда $A_{U\max} = 1 \cdot 10^4 = 10\,000$.

Следовательно, диапазон измерения коэффициента усиления АИМС от 20 до 10 000.

Пример 8.4. Требуется составить программу испытаний и проверить ЦИМС КР531ЛА3, показанную на рис. 8.2.

Решение. По справочнику [16] определяем следующие данные ЦИМС:

- напряжение источника питания $U_{пл} = +5V \pm 5\%$;
- значения напряжений, соответствующие уровням логических нуля и единицы, $U^0 \leq 0,5 V$ и $U^1 \geq 2,7 V$;
- условное графическое обозначение ЦИМС с указанием номеров выводов логических элементов.

Микросхема КР531ЛА3 содержит четыре одинаковых элемента 2И—НЕ, следовательно, программа ее проверки будет состоять из набора логических состояний, повторяемых 4 раза, т.е. для каждого элемента, но с разными номерами входов и выходов.

Найдем необходимое и достаточное число не повторяющихся комбинаций на входе одного элемента по формуле $2^n = 2^2 = 4$ (где n — число входов) и составим следующую таблицу истинности, в которую наряду с графами «Входы» и «Выходы» введем еще одну графу — «Измеренное напряжение U_{max} , В»:

Входы			Измеренное напряжение U_{max} , В
1-й	2-й	3-й	
0	0	1	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	0	

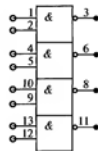


Рис. 8.2. Микросхема КР531ЛА3

8.3. Задачи для самостоятельного решения

8.1. Определить полное название прибора, изображенного на рис. 8.3.

8.2. По изображению лицевой панели определить параметры, измеряемые прибором Л2-54.

8.3. По изображению лицевой панели определить диапазоны измерения прибором Л2-54:

- 1) коэффициента передачи тока в схеме с общей базой;
- 2) коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером;
- 3) обратного тока коллектора;
- 4) выходной проводимости;
- 5) прямого напряжения диодов;
- 6) обратного тока диодов;
- 7) напряжения стабилизации.

8.4. По изображению лицевой панели прибора Л2-47 (см. рис. 8.1) определить диапазоны измерения: U_{10} , U_{01} , I_1 , I_{001} .

8.5. Определить диапазон установки $U_{\text{пит}}$.

8.6. Определить по изображению лицевой панели прибора Л2-41 (рис. 8.4) диапазон установки напряжения питания E_1 .



Рис. 8.3. Лицевая панель прибора Л2-54

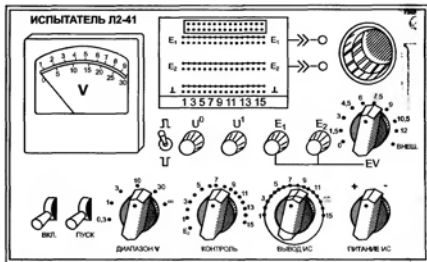


Рис. 8.4. Лицевая панель прибора Л2-41

8.7. Составить программы испытаний (таблицы истинности) следующих ЦИМС:

- 1) К533ЛЛ1 (4 элемента 2 ИЛИ);
- 2) К533ЛЕ4 (3 элемента 3 ИЛИ—НЕ);
- 3) К530ЛА1 (2 элемента 4 И—НЕ);
- 4) К533ЛА4 (3 элемента 3 И—НЕ).

8.8. Определить годность диода КД103А, если в результате проверки получены следующие значения его параметров: $I_{000} = 2 \text{ мА}$, $U_{\text{тр}} = 0,8 \text{ В}$.

8.9. Определить годность транзистора КТ381Б, если в результате проверки получили следующие значения его параметров: $h_{21} = 45$, $I_{c00} = 5 \text{ мА}$.

8.10. Определить годность АИМС К140УД1Б, если в результате проверки получили следующие значения ее параметров: $A_U = 2,050$, $U_{01} = 2,9 \text{ В}$, $U_{10} = 6 \text{ мВ}$, $I_1 = 3 \text{ мА}$, $I_{001} = 5 \text{ мА}$.

8.11. Определить полное название прибора Л2-60, изображенное лицевой панелью которого представлено на рис. 8.5.

8.12. Определить по лицевой панели прибора Л2-60 (см. рис. 8.5) следующие диапазоны:

- 1) измерения постоянных напряжений обеих полярностей;
- 2) измерения постоянных токов;
- 3) установки напряжения питания E_1 ;

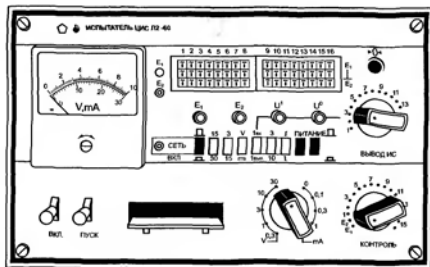


Рис. 8.5. Лицевая панель прибора Л2-60

- 4) установки напряжения питания E_2 ;
- 5) установки напряжения логического нуля U^0 ;
- 6) установки напряжения логической единицы U^1 .

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Глава 2

2.1. $I_{\text{ном}} = 15 \text{ mA}$; $\gamma_{\text{в}} = 0,93 \%$. 2.2. $\Delta_{\text{max}} = 0,6 \text{ В}$; график поправок на рис. 1. 2.3. $U_{\text{ном}} = 10 \text{ В}$; $\Delta = 0,03 \text{ В}$; $\gamma_{\text{пр}} = 0,27 \%$; $\gamma_{\text{в}} = 0,48 \%$. 2.4. $\gamma_{\text{в}} = \pm 5 \%$; $\Delta = 7,5 \text{ мВ}$. 2.5. $\pm \Delta_{\text{max}} = 0,0006 \text{ мА}$; график поправок на рис. 2. 2.6. $I = 1,7 \text{ А}$; $\Delta = 0,02 \text{ А}$; $\gamma_{\text{в}} = 1,2 \%$. 2.7. $\Delta = 2,5 \text{ В}$; $\gamma_{\text{в}} = 2,5 \%$; $\gamma_{\text{пр}} = 1 \%$. 2.8. $\gamma_{\text{в1}} = 16 \%$; $\gamma_{\text{в2}} = 1,25 \%$. 2.9. $\gamma_{\text{в}} = 1,2 \%$. 2.10. $\gamma_{\text{пр}} = 5 \%$; график поправок на рис. 3. 2.11. $\Delta = 1 \text{ мА}$; $\gamma_{\text{в}} = 4 \%$; $\gamma_{\text{пр}} = 2 \%$. 2.12. $R = 100 \text{ Ом}$; $\gamma_{\text{в}} = 6,5 \%$; $\Delta = 6,5 \text{ Ом}$. 2.13. $\gamma_{\text{в1}} = 2,5 \%$; $\gamma_{\text{в2}} = 4,1 \%$; $\Delta_1 = 0,3 \text{ мА}$; $\Delta_2 = 0,8 \text{ мА}$. 2.14. $U_{\text{ном}} = 10 \text{ В}$; $\gamma_{\text{в}} = 2,5 \%$. 2.15. $\gamma_{\text{пр}} = 0,4 \%$; класс точности 0,5 % (пятый). 2.16. По условию $\Delta = \text{const}$, следова-

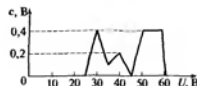


Рис. 1. График поправок к задаче 2.2

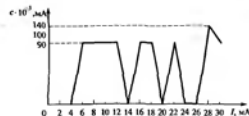


Рис. 2. График поправок к задаче 2.5

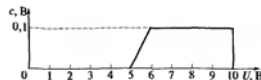


Рис. 3. График поправок к задаче 2.10

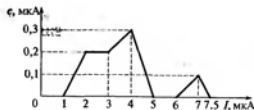


Рис. 4. График поправок к задаче 2.22

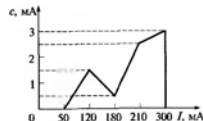


Рис. 7. График поправок к задаче 2.52

тельно, $c = -\Delta$; $U = 10,5; 15,5; 20,5; 25,5; 30,5$ В. **2.17.** $\gamma_{\Delta 1} = 4\%$; $\gamma_{\Delta 2} = 20\%$; $\Delta_1 = 0,8$ Гц; $\Delta_2 = 20$ Гц. **2.18.** $\gamma_{\Delta} = \pm 10\%$. **2.19.** $\Delta = 36$ Гц. **2.20.** $\gamma_{\Delta 1} = 2,5\%$; $\gamma_{\Delta 2} = 0,5\%$. **2.21.** $P = 640$ мВт; $\gamma_{\Delta} = 2,25\%$; $\Delta = 14,4$ мВт. **2.22.** График поправок на рис. 4. **2.23.** $\gamma_{\Delta} = \pm 25\%$. **2.24.** $\Delta = 30$ кГц. **2.25.** $\Delta = 0,1$ мА; $\gamma_{\Delta} = 0,2\%$. **2.26.** $\gamma_{\text{гр}} = 0,8\%$; класс точности 1,0%. **2.27.** График поправок на рис. 5. **2.28.** $\gamma_{\Delta} = \pm 8\%$. **2.29.** $\Delta = 0,9$ кГц. **2.30.** $W_C = 0,81$ мВт; $\gamma_{\Delta} = 1,3\%$; $\Delta = 0,09$ мВт. **2.31.** Указанное сопротивление входит в границы допуска, так как заданная $\Delta = \pm 25,5$ кОм, а измеренная $\Delta = 510$ кОм — 490 кОм = 20 кОм. **2.32.** $P_n = 444,5$ Вт; $\Delta = 11,5$ Вт; $\gamma_{\Delta} = 2,6\%$. **2.33.** $U_{\text{ном}} = 30$ мВ; $\gamma_{\Delta} = \pm 12,7\%$; $\Delta = 1,8$ мВ. **2.34.** $U_{\text{ном}} = 100$ мВ; $\gamma_{\Delta} = \pm 6,25\%$; $\Delta = 2,5$ мВ. **2.35.** $I_n = 0,02$ А; $\gamma_{\Delta} = 1\%$; $\Delta = 0,02$ А. **2.36.** $\Delta_1 = \Delta_2 = 1$ В; $\gamma_{\Delta 1} = 20\%$; $\gamma_{\Delta 2} = 1,4\%$. **2.37.** $\Delta = 1$ В; $\gamma_{\Delta} = \pm 2,5\%$; $\gamma_{\text{гр}} = 2\%$, класс точности 2,5%. **2.38.** $\gamma_{\Delta} = 0,2\%$. **2.39.** $\Delta = \pm 30$ кГц; $\gamma_{\text{гр}} = 1,3\%$. **2.40.** $\Delta_1 = 0,25$ В; $\Delta_2 = 0,5$ В; $\gamma_{\Delta 1} = 4,16\%$; $\gamma_{\Delta 2} = 8,3\%$. **2.41.** $c = -\Delta = 0,1$ мА; $I = 5,1; 6,1; 8,1; 10,1; 11,1$ мА. **2.42.** $R = 20$ кОм; $\gamma_{\Delta} = \pm 2,75\%$; $\Delta = 0,55$ кОм. **2.43.** $\gamma_{\Delta} = 1,4\%$; $\Delta = 0,043$ В. **2.44.** $\gamma_{\Delta} = \pm 10\%$; $\Delta = 0,1$ В. **2.45.** $R = 35,5$ кОм; $\gamma_{\Delta} = 11,6\%$; $\Delta = 4,1$ кОм. **2.46.** $\gamma_{\text{гр}} = 2,5\%$, класс точности 2,5% (восьмой). **2.47.** Не соответствует; график поправок на рис. 6.

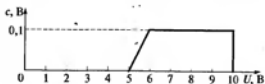


Рис. 5. График поправок к задаче 2.27



Рис. 6. График поправок к задаче 2.47

2.48. $\Delta = 161$ Гц; $\gamma_{\Delta} = 2,025\%$. **2.49.** $\gamma_{\Delta} = \pm 5 \cdot 10^3\%$. **2.50.** $C = -\Delta = 0,3$ В; $U_{\Delta} = 9,7; 19,7; 29,7; 39,7; 49,7; 59,7$ В. **2.51.** $P = 160$ мкВт; $\gamma_{\Delta} = 0,75\%$; $\Delta = 1,2$ мкВт. **2.52.** Не соответствует; график поправок на рис. 7. **2.53.** $\gamma_{\Delta} = 1\%$; $\Delta = 1$ Гц. **2.54.** $\gamma_{\Delta} = \pm 8\%$. **2.55.** $\Delta = 0,8$ мА; $\gamma_{\Delta} = 8\%$; $\gamma_{\text{гр}} = 3,2\%$; класс точности 4,0%. **2.56.** $F = 5,3$ кГц; $\Delta = 0,1$ кГц; $\gamma_{\Delta} = 2,83\%$. **2.57.** $\gamma_{\Delta 1} = 2,0\%$; $\gamma_{\Delta 2} = 3,3\%$. **2.58.** $U_{\text{ном}} = 30$ В; $\gamma_{\Delta} = 9,37\%$. **2.59.** $\gamma_{\Delta} = \pm 1\%$; $\Delta = 1$ кГц. **2.60.** $I_{\text{ном}} = 1,5$ мкА; $\gamma_{\Delta} = 0,25\%$; $\Delta = 0,003$ мкА. **2.61.** Так как $\Delta = 23,5$ кОм, границы измерения указанного сопротивления $446,5 \dots 493,5$ кОм. **2.62.** $W_C = 160$ мВт; $\gamma_{\Delta} = 13,8\%$; $\Delta = 22,3$ мВт. **2.63.** $\gamma_{\Delta} = \pm 2,5\%$; $\Delta = 0,25$ В. **2.64.** $\Delta = \pm 0,1$ В. **2.65.** $R = 100$ Ом; $\gamma_{\Delta} = 6,5\%$; $\Delta = 6,5$ Ом. **2.66.** $W_L = 160$ мкВт; $\gamma_{\Delta} = 2,24\%$; $\Delta = 0,9$ мкВт. **2.67.** $\gamma_{\Delta} = 7\%$; $\Delta = 1,12$ В. **2.68.** $\Delta = 0,9$ МГц; $\gamma_{\text{гр}} = 5,5\%$. **2.69.** $\gamma_{\Delta 1} = 20\%$; $\gamma_{\Delta 2} = 4\%$; $\Delta_1 = 4$ мА; $\Delta_2 = 4$ мА. **2.70.** $\gamma_{\text{гр}} = 4,16\%$. **2.71.** $\gamma_{\Delta} = \pm 5\%$; $\Delta = \pm 0,75$ В. **2.72.** $\Delta = \pm 1,8$ В.

Глава 3

Система прибора	Тип прибора	$U_{\text{ном}}$ В	$\gamma_{\text{гр}}$ %	r_{Δ} кОм	C_{Δ} В/дел.	S_{Δ} дел./В	P_{Δ} мВт	I_{Δ} А	D_{Δ} Гц	D_{Δ} В
	Э421	150	2,5	1,0	10	0,1	22 500	0,15	0... 500	30... 150
	В315	150	1,5	1,5	5	0,2	15 000	0,10	0... 50	40... 150

2) Э421 лучше В315 по следующим параметрам: рабочее положение любое, более поздний год выпуска, шире диапазон изменения напряжения, шире частотный диапазон. Э421 хуже В315 по следующим параметрам: меньшая чувствительность, меньшее r_{Δ} , большая $\gamma_{\text{гр}}$, большие P_{Δ} и I_{Δ} .

- 3) $\gamma_{\text{д1}} = 4,7\%$; $\gamma_{\text{д2}} = 2,7\%$;
 4) $U_1 = 80\text{В}$; $U_2 = 132,5\text{В}$.
 3.2. 1)

Система прибора	Тип прибора	$I_{\text{ном}}$ В	$\gamma_{\text{гр}}$ %	$r_{\text{в}}$ Ом	$C_{\text{в}}$ мА/дел.	$S_{\text{в}}$ дел./мА	$P_{\text{в}}$ мВт	$U_{\text{в}}$ А	$D_{\text{в}}$ мА	$D_{\text{г}}$ Гц
	Ц25	500	0,5	800	20	0,05	20000	40	100...500	0...10000
	M42	500	2,5	500	10	40	0,08	25	100...500	0

2) Ц25 лучше M42 по следующим параметрам: класс точности выше, универсальный, более поздний год выпуска, шире частотный диапазон. Ц25 хуже M42 по следующим параметрам: неравномерная шкала, хуже чувствительность, больше $r_{\text{в}}$, $P_{\text{в}}$, $U_{\text{в}}$;

- 3) $\gamma_{\text{д1}} = 1,0\%$; $\gamma_{\text{д2}} = 5,0\%$;
 4) $I_1 = 260\text{мА}$, $I_2 = 230\text{мА}$.
 3.3. 1)

Система прибора	Тип прибора	$U_{\text{ном}}$ В	$\gamma_{\text{гр}}$ %	$r_{\text{в}}$ кОм	$C_{\text{в}}$ В/дел.	$S_{\text{в}}$ дел./В	$P_{\text{в}}$ мВт	$I_{\text{в}}$ А	$D_{\text{в}}$ В	$D_{\text{г}}$ Гц
	Э418	250	4,0	150	10	0,1	6250	25	50...250	0
	M4000	250	4,0	10	5	0,2	416	1,8	50...250	0...50

2) Э418 лучше M4000 по следующим параметрам: универсальный, шире частотный диапазон, любое рабочее положение. Э418 хуже M4000 по следующим параметрам: более ранний год выпуска, неравномерная шкала, ниже чувствительность, меньшие $r_{\text{в}}$, $P_{\text{в}}$, $I_{\text{в}}$;

- 3) $\gamma_{\text{д1}} = 4,5\%$; $\gamma_{\text{д2}} = 4,5\%$;
 4) $U_1 = 220\text{В}$; $U_2 = 220\text{В}$.
 3.4. 1)

Система прибора	Тип прибора	$I_{\text{ном}}$ мА	$\gamma_{\text{гр}}$ %	$r_{\text{в}}$ Ом	$C_{\text{в}}$ мА/дел.	$S_{\text{в}}$ дел./мА	$P_{\text{в}}$ мВт	$U_{\text{в}}$ В	$D_{\text{в}}$ мА	$D_{\text{г}}$ Гц
	M4203	60	1,5	1,15	5	0,2	4	0,06	10...30	0
	Э413	30	4,0	100	1	1	90	3	7...30	100

2) M4203 лучше Э413 по следующим параметрам: наличие защиты от внешних магнитных полей, равномерная шкала, выше

класс точности, меньшие $r_{\text{в}}$, $P_{\text{в}}$ и $U_{\text{в}}$, более поздний год выпуска. M4203 хуже Э413 по диапазону измерения;

- 3) $\gamma_{\text{д1}} = 6,0\%$; $\gamma_{\text{д2}} = 8,0\%$;
 4) $I_1 = 15\text{мА}$, $I_2 = 13\text{мА}$.
 3.5. 1)

Система прибора	Тип прибора	$U_{\text{ном}}$ В	$\gamma_{\text{гр}}$ %	$r_{\text{в}}$ кОм	$C_{\text{в}}$ В/дел.	$S_{\text{в}}$ дел./В	$P_{\text{в}}$ мВт	$I_{\text{в}}$ А	$D_{\text{в}}$ В	$D_{\text{г}}$ Гц
	Э411	100	1,5	0,87	4	0,25	11500	0,11	20...100	1000
	M24	100	2,5	5	2	0,50	2000	0,02	10...100	0

2) Э411 лучше M24 по следующим параметрам: любое рабочее положение, более поздний год выпуска, выше класс точности. Э411 хуже M24 по следующим параметрам: неравномерная шкала, меньше $r_{\text{в}}$, меньшая чувствительность, меньше диапазон измерения, большие $P_{\text{в}}$ и $I_{\text{в}}$;

- 3) $\gamma_{\text{д1}} = 1,9\%$; $\gamma_{\text{д2}} = 3,1\%$;
 4) $U_1 = 88\text{В}$, $U_2 = 62\text{В}$.
 3.6. 1)

Система прибора	Тип прибора	$I_{\text{ном}}$ А	$\gamma_{\text{гр}}$ %	$r_{\text{в}}$ Ом	$C_{\text{в}}$ А/дел.	$S_{\text{в}}$ дел./А	$P_{\text{в}}$ мВт	$U_{\text{в}}$ В	$D_{\text{в}}$ А	$D_{\text{г}}$ Гц
	M4200	3	1,5	0,05	0,1	10	450	0,15	1...3	0
	Э421	3	2,5	5	0,1	10	45000	15	0,7...3	0...500

2) M4200 лучше Э421 по следующим параметрам: равномерная шкала, выше класс точности, наличие защиты от внешних магнитных полей, меньшие $r_{\text{в}}$, $P_{\text{в}}$, $U_{\text{в}}$. M4200 хуже Э421 по следующим параметрам: более ранний год выпуска, меньше диапазон измерения, только вертикальное рабочее положение, не универсальный, ниже частотный диапазон;

- 3) $\gamma_{\text{д1}} = 1,8\%$; $\gamma_{\text{д2}} = 3,0\%$;
 4) $I_1 = 2,2\text{А}$, $I_2 = 1,8\text{А}$.

Глава 4

4.1. 1) Напряжение переменного и постоянного токов, сопротивление резисторов; 2) $-I = 0,01\text{мА}$... 25А ; 3) $\gamma_{\text{в}} = \pm 1\%$; 4) $C = 1\text{мА/дел.}$; 5) $-I = 20\text{мА}$.

4.2. 1) $-I = 0,05\text{мА}$... 25А ; 2) $\gamma_{\text{в}} = \pm 5\%$; 3) $C = 0,2\text{мА/дел.}$; 4) $-I = 3\text{мА}$; 5) $R_{\text{вн}} = 220\text{Ом}$.

- 4.3. 1) $-U = 0,1 \dots 1000$ В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 2\%$; 3) $C = 0,4$ В/дел.; 4) $-U = 4$ В; 5) $R_{\text{вх}} = 200$ кОм.
- 4.4. 1) $-U = 0,1 \dots 1000$ В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 5\%$; 3) $C = 2$ В/дел.; 4) $-U = 40$ В; 5) $R_{\text{вх}} = 97$ кОм.
- 4.5. 1) $R = 50$ Ом...30 МОм; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 9\%$; 3) $C = 40$ В/дел.; 4) $r_{\text{с}} = 3$ кОм; 5) $R_{\text{вх}} = 20$ МОм.
- 4.6. 1) Значения переменного и постоянного токов, напряжения переменного и постоянного токов, сопротивление резисторов, коэффициент усиления транзисторов β ; 2) $-I = 10$ мкА...600 мА; 3) $\gamma_{\text{н}} = \pm 2,5\%$; 4) $C = 2$ мкА/дел.; 5) $-I = 0,048$ мА; 6) $S_{\text{I}} = 500$ дел./мА.
- 4.7. 1) $-I = 50$ мкА...300 мА; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 12\%$; 3) $C = 0,1$ мА/дел.; 4) $-I = 0,2$ мА; 5) $S_{\text{I}} = 100$ дел./мА.
- 4.8. 1) $-U = 0,05 \dots 900$ В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 3\%$; 3) $C = 0,2$ В/дел.; 4) $U = 4$ В; 5) $R_{\text{вх}} = 100$ кОм.
- 4.9. 1) $-U = 0,25 \dots 750$ В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 8\%$; 3) $C = 2$ В/дел.; 4) $-U = 125$ В; 5) $R_{\text{вх}} = 250,5$ кОм.
- 4.10. 1) $R = 10$ Ом...20 МОм; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 8\%$; 3) $C = 0,05$ В/дел.; 4) $r_{\text{с}} = 1$ кОм; 5) $R_{\text{вх}} = 501$ кОм.
- 4.11. 1) $\beta = 10 \dots 400$; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 20\%$; 3) $C = 10$ β /дел.; 4) $\beta = 200$; 5) $S_{\beta} = 0,1$ дел./В.
- 4.12. 1) Напряжение переменного и постоянного токов, переменный и постоянный токи, сопротивление резисторов, емкость конденсаторов;
2) $-U = 0,25 \dots 600$ В; 3) $\gamma_{\text{н}} = \pm 3,75\%$; 4) $C = 5$ В/дел.; 5) $-U = 125$ В; 6) $R_{\text{вх}} = 283$ кОм.
- 4.13. 1) $-U = 12,5$ мВ...600 В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 2,25\%$; 3) $C = 0,5$ В/дел.; 4) $S = 0,4$ дел./мВ; 5) $U = 11$ В; 6) $R_{\text{вх}} = 272$ кОм.
- 4.14. 1) $-I = 10$ мкА...1,5 А; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 1,8\%$; 3) $C = 4$ мкА/дел.; 4) $S = 0,5$ дел./мкА; 5) $I = 76$ мкА; 6) $R_{\text{вх}} = 4,1$ кОм.
- 4.15. 1) $-I = 0,1$ мА...1,5 А; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 5\%$; 3) $C = 0,5$ мА/дел.; 4) $S = 50$ дел./мА; 5) $-I = 11,5$ мА; 6) $R_{\text{вх}} = 100$ Ом.
- 4.16. 1) $R = 10$ Ом...5 МОм; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 1,5\%$; 3) $C = 2$ В/дел.; 4) $C = 0,01 \dots 0,05$ мкФ; 5) $R = 500$ Ом; 6) $C = 0,03$ мкФ.
- 4.17. 1) $-U = 30$ мВ...600 В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 3,75\%$; 3) $C = 0,05$ В/дел.; 4) $S_{\text{U}} = 100$ дел./В; 5) $-U = 1,15$ В; 6) $R_{\text{вх}} = 1,5$ кОм.
- 4.18. 1) $-U = 12,5$ мВ...15 В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 2,25\%$; 3) $C = 0,5$ В/дел.; 4) $S = 0,4$ дел./В; 5) $-U = 675$ мВ; 6) $R_{\text{вх}} = 10$ кОм.
- 4.19. 1) $-I = 0,6$ мА...15 А; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 3,75\%$; 3) $C = 5$ мА/дел.; 4) $S = 5$ дел./мА; 5) $-I = 120$ мА; 6) $R_{\text{вх}} = 73$ Ом.
- 4.20. 1) $-I = 1$ мА...15 А; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 1,5\%$; 3) $C = 0,05$ А/дел.; 4) $S_{\text{I}} = 5$ дел./мА; 5) $-I = 1,45$ А; 6) $R_{\text{вх}} = 730$ Ом.
- 4.21. 1) Напряжение переменного и постоянного токов, переменный и постоянный токи, сопротивление резисторов; 2) $R = 1$ Ом...1 МОм; 3) $\gamma_{\text{н}} = \pm 10\%$; 4) $F = 0 \dots 10$ кГц; 5) $R = 25$ кОм; 6) Предел измерения Ω .

- 4.22. 1) $-U = 0,1 \dots 1000$ В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 8\%$; 3) $C = 4$ В/дел.; 4) $S_{\text{U}} = 100$ дел./В; 5) $-U = 68$ В; 6) $R_{\text{вх}} = 2$ МОм.
- 4.23. 1) $-U = 2 \dots 1000$ В; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 5\%$; 3) $C = 0,4$ В/дел.; 4) $S_{\text{U}} = 2,5$ дел./В; 5) $-U = 5,2$ В; 6) $R_{\text{вх}} = 55$ кОм.
- 4.24. 1) $-I = 0,01 \dots 500$ мА; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 10\%$; 3) $C = 0,04$ мА/дел.; 4) $S_{\text{I}} = 500$ дел./мА; 5) $I = 0,8$ мА; 6) $R_{\text{вх}} = 1,1$ кОм.
- 4.25. 1) $R = 100$ Ом...500 кОм; 2) $\gamma_{\text{н}} = \pm 40\%$; 3) напряжение переменного и постоянного токов, переменный и постоянный токи, сопротивление резисторов; 4) $F = 0 \dots 5$ кГц; 5) $R = 0,15$ кОм; 6) горизонтальное.

Глава 5

- 5.1—5.5. Соответственно C равно 0,0005 мВ/дел.; 0,01 мВ/дел.; 5 мВ/дел.; 0,1 В/дел.; 1 В/дел.
- 5.6—5.10. Соответственно U равно 0,022 мВ; 0,07 мВ; 220 мВ; 0,7 В; 70 В.
- 5.11—5.15. Соответственно $\gamma_{\text{н}}$ приблизительно составляет 2%; 2,1%; 1,95%; 3,5%; 3,5%.
- 5.16—5.20. Напряжения соответствуют -91 дБ; -61 дБ; -11 дБ; -1 дБ; -39 дБ.
- 5.21. Уменьшение погрешности измерения, прибор при этом должен быть выключен.
- 5.22. Уменьшение погрешности измерения, прибор при этом должен быть включен.
- 5.23. Вольтметр электронный аналоговый переменного тока.
- 5.24. $S = 2000$ дел./мВ.
- 5.25. Напряжение переменного тока.
- 5.26—5.30. Соответственно S равно 0,001 мВ/дел.; 0,05 мВ/дел.; 1 мВ/дел.; 0,05 В/дел.; 5 В/дел.
- 5.31—5.35. Соответственно U равно 0,05 мВ; 1,5 мВ; 50 мВ; 1,5 В; 150 В.
- 5.36—5.40. Соответственно $\gamma_{\text{н}}$ равно 3%; 3%; 3%; 5%; 5%.
- 5.41—5.45. Напряжения соответствует 0,05 мВ; 1,5 мВ; 50 мВ; 1,5 В; 150 В.
- 5.46. Достоинство — высокая чувствительность; недостатки — не универсальный, узкий частотный диапазон.
- 5.47. Схема, приведенная на рис. 5.1, б.
- 5.48. $F = 5$ Гц...5 МГц.
- 5.49. $-U = 0,005$ мВ...300 В.
- 5.50—5.54. Соответственно S равно 0,002 В/дел.; 0,01 В/дел.; 0,02 В/дел.; 0,1 В/дел.; 20 В/дел.
- 5.55—5.59. Соответственно U равно 0,025 В; 0,25 В; 0,4 В; 1,5 В; 60 В.
- 5.60—5.64. Соответственно $\gamma_{\text{н}}$ равно $\pm 10\%$; $\pm 3\%$; $\pm 6,25\%$; $\pm 5\%$; $\pm 4,2\%$.

= 5.65—5.69. Напряжение соответствует -31 дБ; ±9,5 дБ; ±5,5 дБ ±6 дБ; ±38 дБ.

5.70. Напряжение переменного и постоянного токов, сопротивление.

5.71. $-U = 0,01 \dots 300$ В.

5.72. $F = 20$ Гц ... 1 ГГц.

5.73. Универсальный, используется в цепях переменного и постоянного токов, шире частотный диапазон, измеряет сопротивление резисторов.

5.74. Уменьшение погрешности измерения, при этом прибор должен быть выключен.

5.75—5.79. Соответственно C равно 0,01 В/дел.; 0,1 В/дел.; 0,2 В/дел.; 1 В/дел.; 10 В/дел.

5.80—5.84. Соответственно U равно 0,11 В; 0,5 В; 5,2 В; 18 В; 270 В.

5.85—5.89. Соответственно $\gamma_{\text{в}}$ равно ±11 %; ±24 %; ±7,7 %; ±6,7 %; ±4,4 %.

5.90—5.94. Напряжение соответствует 0,135 В; 0,27 В; 0,76 В; 3,5 В; 19 В.

5.95. $-U = 0,01 \dots 300$ В.

5.96. $R = 10$ Ом... 2 ГОм.

5.97. $S_{\text{в}} = 500$ дел./В.

5.98. $S_{\text{в}} = 50$ дел./В.

5.99. Вольтметр электронный аналоговый универсальный.

Глава 6

6.1. $F = 20$ Гц... 200 кГц. 6.2. Синусоидальный. 6.3. Генератор электронный аналоговый звуковых и ультразвуковых частот. 6.4. $U = 2 \dots 20$ мкВ... 10 В. 6.5. $F = 20 \dots 200$ Гц. 6.6. $F = 200 \dots 2000$ Гц. 6.7. $F = 2 \dots 20$ кГц. 6.8. $F = 20 \dots 200$ кГц. 6.9. $U = 20 \dots 100$ мкВ. 6.10. $U = 100 \dots 300$ мкВ. 6.11. $U = 0,2 \dots 1$ мВ. 6.12. $U = 1 \dots 3$ мВ. 6.13. $U = 2 \dots 10$ мВ. 6.14. $U = 1 \dots 30$ мВ. 6.15. $U = 20 \dots 100$ мВ. 6.16. $U = 100 \dots 300$ мВ. 6.17. $U = 0,2 \dots 1$ В. 6.18. $U = 1 \dots 3$ В. 6.19. $U = 2 \dots 10$ В.

6.20. Для получения $U = 28$ мВ следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение «30 мВ» и ручкой «Рег. вых.» плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 2,8; для получения на выходе $F = 50$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 1 и ручкой плавной регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 50.

6.21. Для получения $U = 70$ мВ следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 100 мВ и ручкой «Рег. вых.» плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 7; для получения на выходе $F = 25$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на от-

метку 1 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 25.

6.22. Для получения $U = 4,9$ В следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 10 В и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 4,9; для получения $F = 100$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 1 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 100.

6.23. Для получения $U = 21$ мВ следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 30 мВ и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 21 (по нижней шкале); для получения на выходе $F = 1500$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 10 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 150.

6.24. Для получения $U = 6,3$ мВ следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 10 мВ и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 6,3; для получения $F = 2000$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 10 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 200.

6.25. Для получения $U = 98$ мкВ следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 100 мВ и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 98; для получения на выходе $F = 100$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 1 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 100.

6.26. Для получения $U = 49$ мВ следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 100 мВ и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 49; для получения на выходе $F = 50$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 1 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 50.

6.27. Для получения $U = 119$ мкВ следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 300 мВ и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 120; для получения на выходе $F = 500$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 10 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 50.

6.28. Для получения $U = 7$ В следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение 10 В и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 7; для получения на выходе $F = 1000$ Гц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 10 и ручкой регулировки частоты совместить визир шкалы частот с отметкой 100.

6.29. Для получения $U = 0,35$ В следует установить дискретный переключатель «Пределы шкалы» в положение I V и ручкой плавной регулировки напряжения стрелку индикатора на значение 3,5; для получения на выходе $F = 50$ кГц дискретный переключатель «Множитель частоты» следует установить на отметку 10^3 и ручкой регулировки совместить визир шкалы частот с отметкой 50.

6.30. $\gamma_{AU} = \pm 1,6\%$; $\gamma_{AF} = \pm 2\%$. **6.31.** $\gamma_{AU} = \pm 2,14\%$; $\gamma_{AF} = \pm 3\%$. **6.32.** $\gamma_{AU} = \pm 3,06\%$; $\gamma_{AF} = \pm 1,5\%$. **6.33.** $\gamma_{AU} = \pm 2,14\%$; $\gamma_{AF} = \pm 1,03\%$. **6.34.** $\gamma_{AU} = \pm 2,38\%$; $\gamma_{AF} = \pm 1,025\%$. **6.35.** $\gamma_{AU} = \pm 1,53\%$; $\gamma_{AF} = \pm 1,5\%$. **6.36.** $\gamma_{AU} = \pm 3,06\%$; $\gamma_{AF} = \pm 2\%$. **6.37.** $\gamma_{AU} = \pm 3,78\%$; $\gamma_{AF} = \pm 1,1\%$. **6.38.** $\gamma_{AU} = \pm 2,14\%$; $\gamma_{AF} = \pm 1,05\%$. **6.39.** $\gamma_{AU} = \pm 4,28\%$; $\gamma_{AF} = \pm 1,001\%$.

6.40. $F = 0,001$ Гц... 10 кГц. **6.41.** Синусоидальный, треугольные импульсы, меандр. **6.42.** Генератор электронный аналоговый специальной формы инфразвуковых и звуковых частот. **6.43.** $F = 0,001$... $0,01$ Гц. **6.44.** $F = 0,01$... $0,1$ Гц. **6.45.** $F = 0,1$... $1,0$ Гц. **6.46.** $F = 1$... 10 Гц. **6.47.** $F = 10$... 100 Гц. **6.48.** $F = 100$... 1000 Гц. **6.49.** $F = 1$... 10 кГц. **6.50.** $U = 10$ мВ... 10 В. **6.51.** $\Delta U = \pm 0,3$ мВ; $\Delta F = \pm 0,08$ кГц. **6.52.** $\Delta U = \pm 3,75$ мВ; $\Delta F = \pm 0,1$ кГц. **6.53.** $\Delta U = \pm 2,5$ мВ; $\Delta F = \pm 4$ Гц. **6.54.** $\Delta U = \pm 0,12$ В; $\Delta F = \pm 0,16$ кГц.

6.55. Прямоугольные импульсы положительной или отрицательной полярности. **6.56.** Прямоугольные импульсы положительной или отрицательной полярности. **6.57.** Прямоугольные импульсы положительной или отрицательной полярности. **6.58.** Треугольные импульсы положительной или отрицательной полярности. **6.59.** $F = 10$ Гц... 100 кГц. **6.60.** $t_s = 0$... 1 мс. **6.61.** $t_s = 0,1$ мкс... 1 мс. **6.62.** $U_m = 6$ мВ... 100 В. **6.63.** $F = 10$... 30 Гц. **6.64.** $F = 30$... 100 Гц. **6.65.** $F = 100$... 300 Гц. **6.66.** $F = 300$... 1000 Гц. **6.67.** $F = 1000$... 1000 Гц. **6.68.** $F = 3000$... 10000 Гц. **6.69.** $F = 10000$... 30000 Гц. **6.70.** $F = 30000$... 100000 Гц. **6.71.** $t_s = 0$ мкс. **6.72.** $t_s = 0,1$... $0,3$ мкс. **6.73.** $t_s = 0,3$... $1,0$ мкс. **6.74.** $t_s = 1$... 3 мкс. **6.75.** $t_s = 3$... 10 мкс. **6.76.** $t_s = 10$... 30 мкс. **6.77.** $t_s = 30$... 100 мкс. **6.78.** $t_s = 100$... 300 мкс. **6.79.** $t_s = 300$... 1000 мкс. **6.80.** $t_s = 0,1$... $0,3$ мкс. **6.81.** $t_s = 0,3$... 1 мкс. **6.82.** $t_s = 1$... 3 мкс. **6.83.** $t_s = 3$... 10 мкс. **6.84.** $t_s = 10$... 30 мкс. **6.85.** $t_s = 30$... 100 мкс. **6.86.** $t_s = 100$... 300 мкс. **6.87.** $t_s = 300$... 1000 мкс. **6.88.** $U_m = 20$... 100 В. **6.89.** $U_m = 6$... 30 В. **6.90.** $U_m = 2$... 10 В. **6.91.** $U_m = 0,6$... 3 В. **6.92.** $U_m = 60$... 300 мВ. **6.93.** $U_m = 6$... 30 мВ. **6.94.** Частота и полярность. **6.95.** Форма сигналов, t_s , t_p , U_m . **6.96.** F , t_s , t_p . **6.97.** U_m .

6.98. Для получения $t_s = 5$ мкс следует нажать черную кнопку $\times 1$ блока «Временной сдвиг μ s» и совместить визир шкалы с цифрой 5; для получения $F = \frac{1}{T} = 14$ кГц следует нажать белую кнопку

$\times 10^3$ блока «Частота повторения Hz» и совместить визир шкалы с значением 1,4; для получения $t_s = 7$ мкс следует нажать черную кнопку $\times 1$ блока «Длительность μ s» и совместить визир шкалы с цифрой 7; для получения $U_m = 60$ мВ следует нажать кнопку $\times 0,03$

множителя напряжений, а стрелку индикатора с помощью ручки регулировки «Ампл.» совместить с цифрой 20, напряжение снимать с выхода 1: 10.

6.99. Для получения $t_s = 0$ следует нажать кнопку 0 блока «Временной сдвиг μ s»; для получения $F = \frac{1}{T} = 10$ кГц следует нажать

черную кнопку $\times 10^3$ блока «Частота повторения Hz» и совместить визир шкалы с значением 10; для получения $t_s = 5$ мкс следует нажать черную кнопку $\times 1$ блока «Длительность μ s» и совместить визир с цифрой 5; для получения $U_m = 90$ мВ следует нажать кнопку $\times 0,03$ множителя напряжений, а стрелку индикатора с помощью ручки регулировки «Ампл.» совместить с цифрой 30, напряжение снимать с выхода 1: 10.

6.100. Для получения $t_s = 0,5$ мкс следует нажать черную кнопку $\times 0,1$ блока «Временной сдвиг μ s» и совместить визир шкалы с значением 5; для получения $F = \frac{1}{T} = 100$ кГц следует нажать чер-

ную кнопку $\times 10^4$ блока «Частота повторения Hz» и совместить визир шкалы с значением 10; для получения $t_s = 1$ мкс следует нажать черную кнопку $\times 0,1$ блока «Длительность μ s», а визир шкалы совместить с цифрой 10; для получения $U_m = 120$ мВ следует нажать кнопку $\times 0,03$ множителя напряжений, а стрелку индикатора с помощью ручки регулировки «Ампл.» совместить с цифрой 40, напряжение снимать с выхода 1: 1. При этом должна быть нажата кнопка отрицательной полярности выходных импульсов.

6.101. Для получения $t_s = 3$ мкс следует нажать черную кнопку $\times 1$ блока «Временной сдвиг μ s» и совместить визир шкалы с цифрой 3; для получения $f = \frac{1}{T} = 71$ кГц следует нажать черную кнопку

$\times 10^4$ блока «Частота повторения Hz» и совместить визир шкалы с значением 7,1; для получения $t_s = 2$ мкс следует нажать белую кнопку $\times 1$ блока «Длительность μ s» и совместить визир шкалы с цифрой 2; для получения $U_m = 9$ мВ следует нажать кнопку $\times 0,03$ множителя напряжений, а стрелку индикатора с помощью ручки регулировки «Ампл.» совместить с цифрой 30, напряжение снимать с выхода 1: 100.

6.102. Для получения $t_s = 0$ нажать кнопку 0 блока «Временной сдвиг μ s»; для получения $F = \frac{1}{T} = 25$ кГц следует нажать

белую кнопку $\times 10^4$ блока «Частота повторения Hz» и совместить визир шкалы с значением 2,5; для получения $t_s = 30$ мкс следует нажать белую кнопку $\times 10$ блока «Длительность μ s» и совместить визир шкалы с цифрой 3; для получения $U_m = 12$ мВ

следует нажать кнопку $\times 0,03$ множителя напряжений, а стрелку индикатора с помощью ручки регулировки «Ампл.» совместить с цифрой 40, напряжение снимать с выхода 1 : 100.

6.103. Для получения $t_s = 1,5$ мкс следует нажать белую кнопку $\times 1$ блока «Временной сдвиг μ » и совместить визир шкалы с цифрой

1,5; для получения $F = \frac{1}{T} = 20$ кГц следует нажать белую кнопку

$\times 10^4$ блока «Частота повторения Нз» и совместить визир шкалы с значением 2; для получения $t_s = 0,5$ мкс следует нажать черную кнопку $\times 0,1$ блока «Длительность μ » и совместить визир шкалы с цифрой 5; для получения $U_m = 60$ В следует нажать кнопку $\times 1$ множителя напряжений, а стрелку индикатора с помощью ручки регулировки «Ампл.» совместить с цифрой 60, напряжение снимать с выхода 1 : 1.

6.104. $\Delta t_s = \pm 0,73$ мкс; $\Delta U_m = \pm 10$ мВ; $\gamma_{t_s} = \pm 10,4\%$; $\gamma_{U_m} = \pm 11,1\%$.

6.105. $\Delta F = \pm 1400$ Гц; $\Delta U_m = \pm 0,9$ В; $\gamma_{t_s} = \pm 10\%$; $\gamma_{U_m} = \pm 15\%$.

6.106. $\Delta t_s = \pm 0,53$ мкс; $\Delta F = \pm 1000$ Гц; $\gamma_{t_s} = \pm 10,6\%$; $\gamma_{U_m} = \pm 10\%$.

6.107. $\Delta F = \pm 10000$ Гц; $\Delta t_s = \pm 3,03$ мкс; $\gamma_{t_s} = \pm 10\%$; $\gamma_{U_m} = \pm 10,1\%$.

6.108. $\Delta U_m = \pm 0,13$ В; $\Delta t_s = \pm 0,53$ мкс; $\gamma_{t_s} = \pm 10,6\%$; $\gamma_{U_m} = \pm 13\%$.

6.109. $\Delta U_m = \pm 1,5$ В; $\Delta t_s = \pm 0,08$ мкс; $\gamma_{t_s} = \pm 12,5\%$; $\gamma_{U_m} = \pm 16\%$.

6.110. $\Delta t_s = \pm 0,23$ мкс; $\Delta t_s = \pm 0,33$ мкс; $\gamma_{t_s} = \pm 11,5\%$; $\gamma_{U_m} = \pm 11\%$.

6.111—6.119.

Номер задачи	6.111	6.112	6.113	6.114	6.115	6.116	6.117	6.118	6.119
Положение стрелки вольтметра	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кнопка ступенчатой установки амплитуды	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$

6.120—6.128.

Номер задачи	6.120	6.121	6.122	6.123	6.124	6.125	6.126	6.127	6.128
Положение стрелки вольтметра	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кнопка ступенчатой установки амплитуды	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$

6.128—6.137.

Номер задачи	6.129	6.130	6.131	6.132	6.133	6.134	6.135	6.136	6.137
Положение стрелки вольтметра	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кнопка ступенчатой установки амплитуды	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$	$>0,03$

6.138—6.146.

Номер задачи	6.138	6.139	6.140	6.141	6.142	6.143	6.144	6.145	6.146
Положение стрелки вольтметра	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кнопка ступенчатой установки амплитуды	$>0,1$	$>0,1$	$>0,1$	$>0,1$	$>0,1$	$>0,1$	$>0,1$	$>0,1$	$>0,1$

6.147—6.155.

Номер задачи	6.147	6.148	6.149	6.150	6.151	6.152	6.153	6.154	6.155
Положение стрелки вольтметра	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кнопка ступенчатой установки амплитуды	$>0,3$	$>0,3$	$>0,3$	$>0,3$	$>0,3$	$>0,3$	$>0,3$	$>0,3$	$>0,3$

6.156—6.164.

Номер задачи	6.156	6.157	6.158	6.159	6.160	6.161	6.162	6.163	6.164
Положение стрелки вольтметра	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кнопка ступенчатой установки амплитуды	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$

6.165. 0,1 ... 30 МГц. **6.166.** Синусоидальный и амплитудно-модулированный. **6.167.** Генератор электронный аналоговый ультразвуковых и высоких частот. **6.168.** $U = 0,5$ мкВ ... 0,5 В. **6.169.** $f = 0,1$... 0,18 МГц. **6.170.** $f = 0,18$... 0,35 МГц. **6.171.** $f = 0,35$... 0,75 МГц. **6.172.** $f = 0,75$... 1,7 МГц. **6.173.** $f = 1,7$... 4,0 МГц. **6.174.** $f = 4$... 10 МГц. **6.175.** $f = 10$... 20 МГц. **6.176.** $f = 20$... 30 МГц. **6.177.** $U = 0,5$... 1,58 мкВ. **6.178.** $U = 1,5$... 5,0 мкВ. **6.179.** $U = 5,0$... 15,8 мкВ. **6.180.** $U = 15$... 50 мкВ. **6.181.** $U = 50$... 158 мкВ. **6.182.** $U = 150$... 500 мкВ. **6.183.** $U = 0,5$... 1,58 мкВ. **6.184.** $U = 1,5$... 5,0 мкВ; **6.185.** $U = 5,0$... 15,8 мкВ. **6.186.** $U = 15$... 50 мкВ. **6.187.** $U = 50$... 158 мВ. **6.188.** $U = 150$... 500 мВ.

6.189. Для получения $U = 350$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное черными цифрами 10^3 , а ручку плавной регулировки — в положение 3,5 мкВ; для получения $F = 2,5$ МГц следует нажать кнопку 5 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 2,5 МГц.

6.190. Для получения $U = 2,8$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное красными цифрами 10^3 , а ручку плавной регулировки — в положение 2,8 мкВ; для получения $F = 0,5$ МГц следует нажать кнопку 3 установки

частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 0,5 МГц.

6.191. Для получения $U = 1,05$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное черными цифрами 10^3 , а ручку плавной регулировки — в положение 1,05 мкВ; для получения $F = 0,1$ МГц следует нажать кнопку 1 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 0,1 МГц.

6.192. Для получения $U = 1,5$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное черными цифрами 10^3 , а ручку плавной регулировки — в положение 1,5 мкВ; для получения $F = 1,5$ МГц следует нажать кнопку 4 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 1,5 МГц.

6.193. Для получения $U = 2,1$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное красными цифрами 10^4 , а ручку плавной регулировки — в положение 2,1 мкВ; для получения $F = 20$ МГц следует нажать кнопку 7 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 20 МГц.

6.194. Для получения $U = 14$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное черными цифрами 10^4 , а ручку плавной регулировки — в положение 1,4 мкВ; для получения $F = 10$ МГц следует нажать кнопку 6 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 10 МГц.

6.195. Для получения $U = 14$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное черными цифрами 10^4 , а ручку плавной регулировки — в положение 1,4 мкВ; для получения $F = 0,1$ МГц следует нажать кнопку 1 установку частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 0,1 МГц.

6.196. Для получения $U = 7$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное черными цифрами 10^4 , а ручку плавной регулировки — в положение 0,7 мкВ; для получения $F = 1$ МГц следует нажать кнопку 4 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 1 МГц.

6.197. Для получения $U = 0,35$ В дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное красными цифрами 10^3 , а ручку плавной регулировки — в положение 3,5 мкВ; для получения $F = 4$ МГц следует нажать кнопку 5 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 4 МГц.

6.198. Для получения $U = 0,5$ В дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное красными цифрами 10^3 , а ручку плавной регулировки — в положение 5 мкВ; для получения $F = 10$ МГц следует нажать кнопку 6 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 10 МГц.

6.199. Для получения $U = 0,5$ мВ дискретный переключатель следует установить в положение, обозначенное красными цифрами

10^3 , а ручку плавной регулировки — в положение 5,0 мкВ; для получения $F = 25$ МГц следует нажать кнопку 8 установки частоты, а визир совместить с риской шкалы, соответствующей значению 25 МГц.

6.200. $\Delta_U = 42$ мВ; $\Delta_f = 0,025$ МГц. **6.201.** $\Delta_U = 0,34$ мВ; $\Delta_f = 0,005$ МГц. **6.202.** $\Delta_U = 0,126$ мВ; $\Delta_f = 0,001$ МГц. **6.203.** $\Delta_U = 0,18$ мВ; $\Delta_f = 0,015$ МГц. **6.204.** $\Delta_U = 2,52$ мВ; $\Delta_f = 0,2$ МГц. **6.205.** $\Delta_U = 1,68$ мВ; $\Delta_f = 0,1$ МГц. **6.206.** $\Delta_U = 1,68$ мВ; $\Delta_f = 0,001$ МГц. **6.207.** $\Delta_U = 0,84$ мВ; $\Delta_f = 0,01$ МГц. **6.208.** $\Delta_U = 0,042$ мВ; $\Delta_f = 0,04$ МГц. **6.209.** $\Delta_U = 0,06$ В; $\Delta_f = 0,1$ МГц. **6.210.** $\Delta_U = 0,06$ мВ;

$\Delta_f = 0,25$ МГц. **6.211.** $F = 1000$ Гц. **6.212.** Типа RC; $F = \frac{1}{2\pi RC}$.

6.213. Типа LC; $F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Глава 7

7.1. $R_{вх} = 1$ МОм, $C_{вх} = 40$ пФ. **7.2.** $S_f = 0,1$ дел./мВ. **7.3.** $S_f = 50$ дел./мкс. **7.4.** Осциллограф электронный аналоговый универсальный однолучевой. **7.5.** Переключатель «Вольт/дел.». **7.6.** Переключатель «Время/дел.» и тумблер «Развертка». **7.7.** $U = 10$ мВ...120 В. **7.8.** $T = 0,02$ мкс...400 мс. **7.9.** $t_{\text{д}} = 0,02$ мкс...400 мс. **7.10.** $f = 2,5$ Гц...50 МГц.

7.11—7.21.

Номер задачи	7.11	7.12	7.13	7.14
Границы измерения напряжения, В	20...120	10...60	5...30	2...12

Номер задачи	7.15	7.16	7.17	7.18
Границы измерения напряжения, В	1...6	0,5...3,0	0,2...1,2	0,1...0,6

Номер задачи	7.19	7.20	7.21
Границы измерения напряжения, В	0,05...0,3	0,02...0,12	0,01...0,06

7.22—7.39.

Номер задачи	7.22	7.23	7.24	7.25
Границы измерения периода следования сигнала	10...100 мс	4...40 мс	2...20 мс	1...10 мс
	50...500 мс	20...200 мс	10...100 мс	5...50 мс

Номер задачи	7.26	7.27	7.28	7.29
Границы измерения периода следования сигнала	0,4...4,0 мс	0,2...2,0 мс	0,1...1,0 мс	0,04...0,4 мс
	2...20 мс	1...10 мс	0,5...5,0 мс	0,2...2,0 мс

Номер задачи	7.30	7.31	7.32	7.33
Границы измерения периода следования сигнала	0,02...0,2 мс	10...100 мс	4...40 мкс	2...20 мкс
	0,1...1,0 мс	50...500 мкс	20...200 мкс	10...100 мкс

Номер задачи	7.34	7.35	7.36	7.37
Границы измерения периода следования сигнала	1...10 мкс	0,4...4,0 мкс	0,2...2,0 мкс	0,1...1,0 мкс
	5...50 мкс	2...20 мкс	1...10 мкс	0,5...5,0 мкс

Номер задачи	7.38	7.39
Границы измерения периода следования сигнала	0,04...0,4 мкс	0,02...0,2 мкс
	0,2...2,0 мкс	0,1...1,0 мкс

7.40—7.50.

Номер задачи	7.40	7.41	7.42	7.43	7.44	7.45	7.46	7.47	7.48	7.49	7.50
Амплитуда напряжения сигнала, В	90	45 ⁴	22,5	9	4,5	2,25	0,9	0,45	0,225	0,09	0,045

7.51—7.61.

Номер задачи	7.51	7.52	7.53	7.54	7.55	7.56	7.57	7.58	7.59	7.60	7.61
Скос вершины импульса, В	10	5	2,5	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005

7.62—7.79.

Номер задачи	7.62	7.63	7.64	7.65	7.66	7.67
Длительность импульса	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс
	250 мс	100 мс	50 мс	25 мс	10 мс	5 мс

Номер задачи	7.68	7.69	7.70	7.71	7.72	7.73
Длительность импульса	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс	50 мкс	20 мкс	10 мкс
	2,5 мс	1 мс	0,5 мс	250 мкс	100 мкс	50 мкс

Номер задачи	7.74	7.75	7.76	7.77	7.78	7.79
Длительность импульса	5 мкс	2 мкс	1 мкс	0,5 мкс	0,2 мкс	0,1 мкс
	25 мкс	10 мкс	5 мкс	2,5 мкс	1 мкс	0,5 мкс

7.80—7.97.

Номер задачи	7.80	7.81	7.82	7.83	7.84	7.85
Время использования переднего фронта импульса	25 мс	10 мс	5 мс	2,5 мс	1 мс	0,5 мс

Номер задачи	7.86	7.87	7.88	7.89	7.90	7.91
Время использования переднего фронта импульса	0,25 мс	0,1 мс	0,05 мс	25 мкс	10 мкс	5 мкс

Номер задачи	7.92	7.93	7.94	7.95	7.96	7.97
Время использования переднего фронта импульса	2,5 мкс	1 мкс	0,5 мкс	0,25 мкс	0,1 мкс	0,05 мкс

7.98—7.115.

Номер задачи	7.98	7.99	7.100	7.101	7.102	7.103
Время установки среза импульса	10 мс	4 мс	2 мс	1 мс	0,4 мс	0,2 мс

Номер задачи	7.104	7.105	7.106	7.107	7.108	7.109
Время установки среза импульса	0,1 мс	0,04 мс	0,02 мс	10 мкс	4 мкс	2 мкс

Номер задачи	7.110	7.111	7.112	7.113	7.114	7.115
Время установки среза импульса	1 мкс	0,4 мкс	0,2 мкс	0,1 мкс	0,04 мкс	0,02 мкс

7.116—7.125.

Номер задачи	7.116	7.117	7.118	7.119	7.120	7.121	7.122	7.123	7.124	7.125
Измененное положение переключателя «Вольт/дел.»	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	-0,02	0,01

7.126—7.135.

Номер задачи	7.126	7.127	7.128	7.129	7.130	7.131	7.132	7.133	7.134	7.135
Измененное положение переключателя «Вольт/дел.»	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20

7.136—7.152.

Номер задачи	7.136	7.137	7.138	7.139	7.140	7.141	7.142	7.143	7.144
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	0,2 мс	0,5 мс	1 мс	2 мс	5 мс	10 мс	20 мс	50 мс	0,1 мс

Номер задачи	7.145	7.146	7.147	7.148	7.149	7.150	7.151	7.152
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	0,2 мс	0,5 мс	1 мс	2 мс	5 мс	10 мс	20 мс	50 мс

7.153—7.169.

Номер задачи	7.153	7.154	7.155	7.156	7.157	7.158	7.159	7.160	7.161
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс	50 мс

Номер задачи	7.162	7.163	7.164	7.165	7.166	7.167	7.168	7.169
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс

7.170—7.186.

Номер задачи	7.170	7.171	7.172	7.173	7.174	7.175	7.176	7.177	7.178
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	0,2 мс	0,5 мс	1 мс	2 мс	5 мс	10 мс	20 мс	50 мс	0,1 мс

Номер задачи	7.179	7.180	7.181	7.182	7.183	7.184	7.185	7.186
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	0,2 мс	0,5 мс	1 мс	2 мс	5 мс	10 мс	20 мс	50 мс

7.187—7.203.

Номер задачи	7.187	7.188	7.189	7.190	7.191	7.192	7.193	7.194	7.195
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс	50 мс

Номер задачи	7.196	7.197	7.198	7.199	7.200	7.201	7.202	7.203
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс

7.204—7.213.

Номер задачи	7.204	7.205	7.206	7.207	7.208	7.209	7.210	7.211	7.212	7.213
Размеры по вертикали	Уменьшаются, раз			Увеличиваются, раз						
	2,5	5	10	2	4	10	20	40	100	200
Размеры по горизонтали	Не изменяются									

7.214—7.230.

Номер задачи	7.214	7.215	7.216	7.217	7.218	7.219	7.220	7.221	7.222	
Размеры по горизонтали	Уменьшаются, раз					Увеличиваются, раз				
	2	4	10	20	40	100	2,5	5	10	
Размеры по вертикали	Не изменяются									

Номер задачи	7.223	7.224	7.225	7.226	7.227	7.228	7.229	7.230
Размеры по горизонтали	Увеличиваются, раз							
	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
Размеры по вертикали	Не изменяются							

7.231—7.241.

Номер задачи	7.231	7.232	7.233	7.234	7.235	7.236	7.237	7.238	7.239	7.240	7.241
Положение переключателя «Вольт/дел.»	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01

7.242—7.259.

Номер задачи	7.242	7.243	7.244	7.245	7.246	7.247	7.248	7.249	7.250
Положение переключателя «Время/дел.»	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс

Номер задачи	7.251	7.252	7.253	7.254	7.255	7.256	7.257	7.258	7.259
Положение переключателя «Время/дел.»	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс

7.260 — 7.277.

Номер задачи	7.260	7.261	7.262	7.263	7.264	7.265	7.266	7.267	7.268
Положение переключателя «Время/дел.»	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms

Номер задачи	7.269	7.270	7.271	7.272	7.273	7.274	7.275	7.276	7.277
Положение переключателя «Время/дел.»	50 μ s	20 μ s	10 μ s	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.278. Емкость по входу осциллографа С1-93 составляет 30 пФ, а у С1-67 — 40 пФ, значит, у прибора С1-93 шире частотный диапазон (т.е. шире полоса пропускания).

7.279. Осциллограф С1-93 двухканальный, имеет более широкий частотный диапазон и диапазон измерения длительности импульса.

7.280. Одинаковых характеристик нет.

7.281. Меньше диапазон измерения напряжения.

7.282. $R_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$; $C_{\text{вх}} = 30 \text{ пФ}$.

7.283. $S_Y = 200 \text{ дел./В}$.

7.284. $S_Y = 50 \text{ дел./мкс}$.

7.285. Осциллограф электронный аналоговый универсальный двухканальный.

7.286. Переключатель «В/дел.».

7.287. Переключатель «Время/дел.»; тумблер «Развертка».

7.288. $U = 5 \text{ мВ} \dots 80 \text{ В}$.

7.289. $T = 0,02 \text{ мкс} \dots 10 \text{ с}$.

7.290. $f = 0,1 \text{ Гц} \dots 30 \text{ МГц}$.

7.291 — 7.301.

Номер задачи	7.291	7.292	7.293	7.294
Границы измерения напряжения	10...80 В	5...40 В	2...16 В	1...8 В

Номер задачи	7.295	7.296	7.297	7.298
Границы измерения напряжения	0,5...4,0 В	0,2...1,6 В	0,1...0,8 В	0,05...0,4 В

Номер задачи	7.299	7.300	7.301
Границы измерения напряжения	0,02...0,16 В	10...80 мВ	5...4 мВ

7.302 — 7.323.

Номер задачи	7.302	7.303	7.304	7.305
Границы измерения периода следования сигнала	1...10 с	0,5...5,0 с	0,2...2,0 с	0,1...1,0 с

Номер задачи	7.306	7.307	7.308	7.309
Границы измерения периода следования сигнала	50...500 мс	20...200 мс	10...100 мс	5...50 мс

Номер задачи	7.310	7.311	7.312	7.313
Границы измерения периода следования сигнала	2...20 мс	1...10 мс	0,5...5,0 мс	0,2...2,0 мс

Номер задачи	7.314	7.315	7.316	7.317
Границы измерения периода следования сигнала	0,1...1,0 мс	50...500 мкс	20...200 мкс	10...100 мкс

Номер задачи	7.318	7.319	7.320	7.321
Границы измерения периода следования сигнала	5...50 мкс	2...20 мкс	1...10 мкс	0,5...5,0 мкс

Номер задачи	7.322	7.323
Границы измерения периода следования сигнала	0,2...2,0 мкс	0,1...1,0 мкс

7.324 — 7.345.

Номер задачи	7.324	7.325	7.326	7.327
Границы измерения периода следования сигнала	0,2...2,0 с	0,1...1,0 с	0,04...0,4 с	0,02...0,2 с

Номер задачи	7.328	7.329	7.330	7.331
Границы измерения периода следования сигнала	10...100 мс	4...40 мс	2...20 мс	1...10 мс

Номер задачи	7.332	7.333	7.334	7.335
Границы измерения периода следования сигнала	0,4...4,0 мс	0,2...2,0 мс	0,1...1,0 мс	0,04...0,4 мс

Номер задачи	7.336	7.337	7.338	7.339
Границы измерения периода следования сигнала	0,02...0,2 мс	10...100 мкс	4...40 мкс	2...20 мкс

Номер задачи	7.340	7.341	7.342	7.343
Границы измерения периода следования сигнала	1...10 мкс	0,4...4,0 мкс	0,2...2,0 мкс	0,1...1,0 мкс

Номер задачи	7.344	7.345
Границы измерения периода следования сигнала	0,04...0,4 мкс	0,02...0,2 мкс

7.346—7.367.

Номер задачи	7.346	7.347	7.348
Границы измерения частоты	0,1...1,0 Гц	0,2...2,0 Гц	0,5...5,0 Гц

Номер задачи	7.349	7.350	7.351
Границы измерения частоты	1...10 Гц	2...20 Гц	5...50 Гц

Номер задачи	7.352	7.353	7.354
Границы измерения частоты	10...100 Гц	20...200 Гц	50...500 Гц

Номер задачи	7.355	7.356	7.357
Границы измерения частоты	100...1 000 Гц	200...2 000 Гц	500...5 000 Гц

Номер задачи	7.358	7.359	7.360
Границы измерения частоты	1...10 кГц	2...20 кГц	5...50 кГц

Номер задачи	7.361	7.362	7.363
Границы измерения частоты	10...100 кГц	20...200 кГц	50...500 кГц

Номер задачи	7.364	7.365	7.366
Границы измерения частоты	100...1 000 кГц	200...2 000 кГц	500...5 000 кГц

Номер задачи	7.367
Границы измерения частоты	1...10 МГц

7.368—7.389.

Номер задачи	7.368	7.369	7.370
Границы измерения частоты	0,5...5,0 Гц	1...10 Гц	2,5...25,0 Гц

Номер задачи	7.371	7.372	7.373
Границы измерения частоты	5...50 Гц	10...100 Гц	25...250 Гц

Номер задачи	7.374	7.375	7.376
Границы измерения частоты	50...500 Гц	100...1 000 Гц	250...2 500 Гц

Номер задачи	7.377	7.378	7.379
Границы измерения частоты	500...5 000 Гц	1...10 кГц	2,5...25 кГц

Номер задачи	7.380	7.381	7.382
Границы измерения частоты	5...50 кГц	10...100 кГц	25...250 кГц

Номер задачи	7.383	7.384	7.385
Границы измерения частоты	50...500 кГц	100...1 000 кГц	250...2 500 кГц

Номер задачи	7.386	7.387	7.388
Границы измерения частоты	500...5 000 кГц	1...10 МГц	2,5...25 МГц

Номер задачи	7.389
Границы измерения частоты	5...50 МГц

7.390—7.400.

Номер задачи	7.390	7.391	7.392	7.393	7.394	7.395	7.396	7.397	7.398	7.399	7.400
Амплитуда напряжения, В	30	15	6	3	1,5	0,6	0,3	0,15	0,06	0,03	0,015

7.401—7.411.

Номер задачи	7.401	7.402	7.403	7.404	7.405	7.406
Среднеквадратическое значение напряжения	21 В	10,5 В	4,2 В	2,1 В	1,05 В	0,42

Номер задачи	7.407	7.408	7.409	7.410	7.411
Среднеквадратическое значение напряжения	0,21 В	0,105 В	0,042 В	21 мВ	10,5 мВ

7.412—7.433.

Номер задачи	7.412	7.413	7.414	7.415	7.416
Период следования сигнала	8 с	4 с	1,6 с	0,8 с	400 мс

Номер задачи	7.417	7.418	7.419	7.420	7.421
Период следования сигнала	160 мс	80 мс	40 мс	16 мс	8 мс

Номер задачи	7.422	7.423	7.424	7.425	7.426
Период следования сигнала	4 мс	1,6 мс	0,8 мс	400 мкс	160 мкс

Номер задачи	7.427	7.428	7.429	7.430	7.431
Период следования сигнала	80 мкс	40 мкс	16 мкс	8 мкс	4 мкс

Номер задачи	7.432	7.433
Период следования сигнала	1,6 мкс	0,8 мкс

7.434 — 7.455.

Номер задачи	7.434	7.435	7.436	7.437	7.438
Период следования сигнала	1,6 с	0,8 с	0,32 с	0,16 с	80 мс

Номер задачи	7.439	7.440	7.441	7.442	7.443
Период следования сигнала	32 мс	16 мс	8 мс	3,2 мс	1,6 мс

Номер задачи	7.444	7.445	7.446	7.447	7.448
Период следования сигнала	0,8 мс	0,32 мс	0,16 мс	80 мкс	32 мкс

Номер задачи	7.449	7.450	7.451	7.452	7.453
Период следования сигнала	16 мкс	8 мкс	3,2 мкс	1,6 мкс	0,8 мкс

Номер задачи	7.454	7.455
Период следования сигнала	0,32 мкс	0,16 мкс

7.456 — 7.477.

Номер задачи	7.456	7.457	7.458	7.459	7.460
Частота следования сигнала	0,125 Гц	0,25 Гц	0,625 Гц	1,25 Гц	2,5 Гц

Номер задачи	7.461	7.462	7.463	7.464	7.465
Частота следования сигнала	6,25 Гц	12,5 Гц	25 Гц	62,5 Гц	125 Гц

Номер задачи	7.466	7.467	7.468	7.469	7.470
Частота следования сигнала	250 Гц	625 Гц	1250 Гц	2,5 кГц	6,25 кГц

Номер задачи	7.471	7.472	7.473	7.474	7.475
Частота следования сигнала	12,5 кГц	25 кГц	62,5 кГц	125 кГц	250 кГц

Номер задачи	7.476	7.477
Частота следования сигнала	625 кГц	1,25 МГц

7.478 — 7.499.

Номер задачи	7.478	7.479	7.480	7.481	7.482
Частота следования сигнала	0,625 Гц	1,25 Гц	3,125 Гц	6,25 Гц	12,5 Гц

Номер задачи	7.483	7.484	7.485	7.486	7.487
Частота следования сигнала	31,25 Гц	62,5 Гц	125 Гц	312,5 Гц	625 Гц

Номер задачи	7.488	7.489	7.490	7.491	7.492
Частота следования сигнала	1250 Гц	3,125 кГц	6,25 кГц	12,5 кГц	31,25 кГц

Номер задачи	7.493	7.494	7.495	7.496	7.497
Частота следования сигнала	62,5 кГц	125 кГц	312,5 кГц	625 кГц	1,25 кГц

Номер задачи	7.498	7.499
Частота следования сигнала	3,125 МГц	6,25 МГц

7.500 — 7.509.

Номер задачи	7.500	7.501	7.502	7.503	7.504	7.505	7.506	7.507	7.508	7.509
Измененное положение переключателя «V/дел.»	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005

7.510 — 7.519.

Номер задачи	7.510	7.511	7.512	7.513	7.514	7.515	7.516	7.517	7.518	7.519
Измененное положение переключателя «V/дел.»	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10

7.520 — 7.540.

Номер задачи	7.520	7.521	7.522	7.523	7.524	7.525	7.526
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	0,5 с	0,2 с	0,1 с	50 мс	20 мс	10 мс	5 мс

Номер задачи	7.527	7.528	7.529	7.530	7.531	7.532	7.533
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	2 мс	1 мс	0,5 мс	0,2 мс	0,1 мс	50 мкс	20 мкс

Номер задачи	7.534	7.535	7.536	7.537	7.538	7.539	7.540
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	10 μ s	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.541—7.561.

Номер задачи	7.541	7.542	7.543	7.544	7.545	7.546	7.547
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	0,2 μ s	0,5 μ s	1 μ s	2 μ s	5 μ s	10 μ s	20 μ s

Номер задачи	7.548	7.549	7.550	7.551	7.552	7.553	7.554
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	50 μ s	0,1 ms	0,2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms	5 ms

Номер задачи	7.555	7.556	7.557	7.558	7.559	7.560	7.561
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	10 ms	20 ms	50 ms	0,1 s	0,2 s	0,5 s	1 s

7.562—7.582.

Номер задачи	7.562	7.563	7.564	7.565	7.566	7.567	7.568
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.569	7.570	7.571	7.572	7.573	7.574	7.575
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μ s	20 μ s

Номер задачи	7.576	7.577	7.578	7.579	7.580	7.581	7.582
Измененное положение переключателя «Время/дел.»	10 μ s	5 μ s	2 μ s	1 μ s	0,5 μ s	0,2 μ s	0,1 μ s

7.583—7.603.

Номер задачи	7.583	7.584	7.585	7.586	7.587	7.588	7.589
Измененное положение переключателя «V/дел.»	0,2 μ s	0,5 μ s	1 μ s	2 μ s	5 μ s	10 μ s	20 μ s

Номер задачи	7.590	7.591	7.592	7.593	7.594	7.595	7.596
Измененное положение переключателя «V/дел.»	50 μ s	0,1 ms	0,2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms	5 ms

Номер задачи	7.597	7.598	7.599	7.600	7.601	7.602	7.603
Измененное положение переключателя «V/дел.»	10 ms	20 ms	50 ms	0,1 s	0,2 s	0,5 s	1 s

7.604—7.613.

Номер задачи	7.604	7.605	7.606	7.607	7.608	7.609	7.610	7.611	7.612	7.613
Размеры по вертикали	Уменьшатся, раз	Увеличатся, раз								
	2	2,5	5	10	25	50	100	250	500	10 ³
Размеры по горизонтали	Не изменятся									

7.614—7.634.

Номер задачи	7.614	7.615	7.616	7.617	7.618	7.619	7.620	7.621	7.622	7.623
Размеры по горизонтали	Уменьшатся, раз							Увеличатся, раз		
	2	4	10	20	40	100	200	2,5	5	10
Размеры по вертикали	Не изменятся									

Номер задачи	7.624	7.625	7.626	7.627	7.628	7.629	7.630	7.631	7.632	7.633	7.634
Размеры по горизонтали	Увеличатся, раз										
	25	50	100	250	500	1 000	2 500	5 000	10 ⁴	2,5 · 10 ⁴	5 · 10 ⁴
Размеры по вертикали	Не изменятся										

7.635—7.655.

Номер задачи	7.635	7.636	7.637	7.638	7.639	7.640	7.641	7.642	7.643	7.644
Размеры по горизонтали	Уменьшатся, раз							Увеличатся, раз		
	2	4	10	20	40	100	200	2,5	5	10
Размеры по вертикали	Не изменятся									

Номер задачи	7.645	7.646	7.647	7.648	7.649	7.650	7.651	7.652	7.653	7.654	7.655
Размеры по горизонтали	Увеличатся, раз										
	25	50	100	250	500	1 000	2 500	5 000	10 ⁴	2,5 · 10 ⁴	5 · 10 ⁴
Размеры по вертикали	Не изменятся										

7.656. Размеры осциллограммы увеличатся по горизонтали в 5 раз, а размеры по вертикали не изменятся.

7.657—7.667.

Номер задачи	7.657	7.658	7.659	7.660	7.661	7.662	7.663	7.664	7.665	7.666	7.667
Положение переключателя «Время/дел.»	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005

7.668—7.689.

Номер задачи	7.668	7.669	7.670	7.671	7.672	7.673	7.674	7.675
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.676	7.677	7.678	7.679	7.680	7.681	7.682	7.683
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μs	20 μs	10 μs

Номер задачи	7.684	7.685	7.686	7.687	7.688	7.689
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μs	2 μs	1 μs	0,5 μs	0,2 μs	0,1 μs

7.690—7.711.

Номер задачи	7.690	7.691	7.692	7.693	7.694	7.695	7.696	7.697
Положение переключателя «Время/дел.»	1 s	0,5 s	0,2 s	0,1 s	50 ms	20 ms	10 ms	5 ms

Номер задачи	7.698	7.699	7.700	7.701	7.702	7.703	7.704	7.705
Положение переключателя «Время/дел.»	2 ms	1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms	50 μs	20 μs	10 μs

Номер задачи	7.706	7.707	7.708	7.709	7.710	7.711
Положение переключателя «Время/дел.»	5 μs	2 μs	1 μs	0,5 μs	0,2 μs	0,1 μs

Глава 8

8.1. Испытатель электронный аналоговый маломощных транзисторов и диодов. 8.2. I_B , U_C , U_{CE} , I_{C60} , h_{22} . 8.3. 1) $h_{215} = 9 \dots 200$; 2) $h_{216} = 0,9 \dots 1,0$; 3) $I_{C60} = 0,01 \dots 100$ мкА; 4) $h_{22} = 1 \dots 4$ мкс; 5) $U_{FV} = 0,1 \dots 0,3$ В; 6) $I_R = 0,01 \dots 100$ мкА; 7) $U_C = 1 \dots 30$ В. 8.4. $U_{I0} = 0,2 \dots 30$ мВ; $U_{I1} = 0,2 \dots 30$ В; $I_1 = 0,2 \dots 30$ мкА; $I_{кор} = 0,2 \dots 30$ мА. 8.5. $U_{дл.} = 1 \dots 30$ В. 8.6. $E_1 = \pm 0,25 \dots 12$ В.

8.7.1)

Входы элементов								Выходы							
1-го		2-го		3-го		4-го		3		6		8		11	
1	2	4	5	9	10	12	13	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2)

Входы элементов								Выходы							
1-го		2-го		3-го		4-го		11		12		6		8	
1	2	13	3	4	5	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

3)

Входы элементов								Выходы			
1-го				2-го				6		8	
1	2	4	5	9	10	12	13	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

4)

Входы элементов									Выходы		
1-го			2-го			3-го					
1	2	13	3	4	5	9	10	11	12	6	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

8.8. Диод не годен к использованию, так как измеренные параметры не соответствуют справочным. 8.9. Транзистор годен к использованию, так как измеренные параметры соответствуют справочным. 8.10. АИМС годна к использованию. 8.11. Электронный аналоговый испытатель ЦИМС. 8.12. 1) $U = 0,1 \dots 30$ В; 2) $I = 0,03 \dots 3,0$ мА; 3) $E_1 = \pm(3 \dots 30)$ В; 4) $E_1 = \pm(1 \dots 15)$ В; 5) $U^0 = \pm(0,2 \dots 3)$ В; 6) $U^1 = \pm(0,2 \dots 10)$ В.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные электрические единицы измерений Международной системы единиц (СИ), применяемые в электронике

Наименование	Обозначение	Единица измерения		
		Наименование	Русское обозначение	Международное обозначение
Сопротивление	R, r	ом	Ом	Ω
Ток	I, i	ампер	А	А
Напряжение и ЭДС	U, u, E, e	вольт	В	V
Мощность	P	ватт	Вт	W
Емкость	C	фарад	Ф	F
Индуктивность	L	генри	Гн	H
Частота	F, f	герц	Гц	Hz
Период	T	секунда	с	s
Длина волны	λ	метр	м	m
Сдвиг фаз	$\Delta\varphi$	радиан	рад	rad

Соотношения между кратными (дольными) и основной единицами измерений

Наименование величины	Кратные и дольные единицы измерения			Соотношение между кратными (дольными) и основной единицами
	Наименование	Русское обозначение	Международное обозначение	
Сопротивление	мегаом килоом	МОм кОм	МΩ кΩ	1 МОм = 10 ⁶ Ом 1 кОм = 10 ³ Ом
Ток	миллиампер микроампер	мА мкА	mA μA	1 mA = 10 ⁻³ А 1 мкА = 10 ⁻⁶ А
Напряжение и ЭДС	киловольт милливольт микровольт	кВ мВ мкВ	kV mV μV	1 кВ = 10 ³ В 1 мВ = 10 ⁻³ В 1 мкВ = 10 ⁻⁶ В
Мощность	гигаватт киловатт мегаватт милливатт микроватт	ГВт кВт МВт мВт мкВт	GW kW MW mW μW	1 ГВт = 10 ⁹ Вт 1 кВт = 10 ³ Вт 1 МВт = 10 ⁶ Вт 1 мВт = 10 ⁻³ Вт 1 мкВт = 10 ⁻⁶ Вт
Емкость	микрофард нанофард пикофард	мкФ нФ пФ	μF nF pF	1 мкФ = 10 ⁻⁶ Ф 1 нФ = 10 ⁻⁹ Ф 1 пФ = 10 ⁻¹² Ф
Индуктивность	миллигенри микrogenри	мГн мкГн	mH μH	1 мГн = 10 ⁻³ Гн 1 мкГн = 10 ⁻⁶ Гн
Частота	гигагерц мегагерц килогерц	ГГц МГц кГц	GHz MHz kHz	1 ГГц = 10 ⁹ Гц 1 МГц = 10 ⁶ Гц 1 кГц = 10 ³ Гц
Период	миллисекунда микросекунда наносекунда пикосекунда	мс мкс нс пс	ms μs ns ps	1 мс = 10 ⁻³ с 1 мкс = 10 ⁻⁶ с 1 нс = 10 ⁻⁹ с 1 пс = 10 ⁻¹² с
Длина волны	миллиметр сантиметр дециметр	мм см дм	mm cm dm	1 мм = 10 ⁻³ м 1 см = 10 ⁻² м 1 дм = 10 ⁻¹ м
Сдвиг фаз	градус	°	°	1° = π/180 рад

Условные обозначения систем электромеханических приборов

Условное обозначение системы	Буквенный шифр системы	Наименование системы	Область применения
	М	Магнито-электрическая	Амперметры, вольтметры
	В	Выпрямительная	Амперметры, вольтметры, частотомеры, в качестве индикатора в низко- и высокочастотных генераторах
	Т	Термоэлектрическая	Амперметры, вольтметры
	Э	Электромагнитная	Амперметры, вольтметры, частотомеры
	Д	Электродинамическая	Амперметры, вольтметры, частотомеры, фазометры
	Д	Ферродинамическая	
	С	Электростатическая	Вольтметры
	—	Вибрационная	Частотомеры

Условные обозначения, наносимые на шкалы
электромеханических приборов

Условное обозначение	Расшифровка обозначения
	Переменный однофазный ток
	Постоянный ток
	Постоянный и переменный токи
	Переменный трехфазный ток
	Вертикальное рабочее положение прибора
	Горизонтальное рабочее положение прибора
	Рабочее положение прибора с наклоном 60° к горизонтальной плоскости
0,5—1,0—1,5—2,5	Класс точности (приведенная погрешность) прибора (например, 0,5%; 1,0%; 1,5%; 2,5%)
	Измерительный механизм прибора изолирован, и сопротивление изоляции испытано, например напряжением 2 кВ
	Наличие защиты от влияния внешнего магнитного поля
	Наличие защиты от влияния внешнего электрического поля
A	Нормальные климатические условия эксплуатации: $t = (20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, влажность $(60 \pm 15) \%$, давление (750 ± 30) мм рт.ст.
Б(Б ₁ , Б ₂ , Б ₃)	Прибор предназначен для работы в неотапливаемых помещениях
В(В ₁ , В ₂ , В ₃)	Прибор предназначен для работы в полевых и морских условиях
T	Прибор предназначен для работы в условиях тропического климата
	Внимание! Смотрите дополнительные указания в паспорте

Каталоговая классификация радиоизмерительных приборов

Группа А. Приборы для измерения тока:
 А1 — установки для проверки амперметров;
 А2 — амперметры постоянного тока;
 А3 — амперметры переменного тока;
 А4 — амперметры импульсного тока;
 А7 — универсальные амперметры;
 А9 — преобразователи тока.

Группа Б. Источники питания для измерений и радиоизмерительных приборов:
 Б2 — источники переменного тока;
 Б4 — источники калиброванного напряжения и тока;
 Б5 — источники постоянного тока;
 Б6 — источники с регулируемыми параметрами;
 Б7 — источники постоянного и переменного токов универсальные.

Группа В. Приборы для измерения напряжения:
 В1 — установки или приборы для проверки вольтметров;
 В2 — вольтметры постоянного тока;
 В3 — вольтметры переменного тока;
 В4 — вольтметры импульсного тока;
 В5 — вольтметры фазочувствительные (вектометры);
 В6 — вольтметры селективные;
 В7 — вольтметры универсальные;
 В8 — измерители отношения напряжений и (или) разности напряжений;
 В9 — преобразователи напряжений.

Группа Г. Генераторы измерительные:
 Г2 — генераторы шума;
 Г3 — генераторы сигналов низкочастотные;
 Г4 — генераторы сигналов высокочастотные и сверхвысокочастотные;
 Г5 — генераторы импульсов;
 Г6 — генераторы сигналов специальной формы;
 Г8 — генераторы кажающейся частоты (свип-генераторы).

Группа Д. Атенуаторы и приборы для измерения ослаблений:
 Д1 — установки или приборы для проверки аттенуаторов и приборов для измерения ослаблений;
 Д2 — аттенуаторы резисторные;
 Д2 — аттенуаторы емкостные;
 Д3 — аттенуаторы поляризационные;
 Д4 — аттенуаторы предельные;

- Д5 — attenuаторы поглощающие;
- Д6 — attenuаторы электрические управляемые;
- Д8 — измерители ослаблений.

Группа Е. Приборы для измерения параметров компонентов в цепях с сосредоточенными постоянными:

- Е1 — меры, установки или приборы для проверки измерителей параметров компонентов и цепей;
- Е2 — измерители полных сопротивлений и (или) полных проводимостей;
- Е3 — измерители индуктивности;
- Е4 — измерители добротности;
- Е6 — измерители сопротивления резисторов;
- Е7 — измерители параметров универсальные;
- Е8 — измерители емкости конденсатора;
- Е9 — преобразователи параметров компонентов и цепей.

Группа И. Приборы для импульсных измерений:

- И1 — установки (приборы) для проверки приборов для импульсных измерений;
- И2 — измерители временных интервалов;
- И3 — счетчики числа импульсов;
- И4 — измерители параметров импульсов;
- И9 — преобразователи импульсных сигналов.

Группа К. Комплексные измерительные установки:

- К2 — установки измерительные комплексные;
- К3 — установки измерительные комплексные автоматизированные;
- К4 — приборы (блоки) комплексных измерительных установок;
- К6 — приборы (блоки) комплексных автоматизированных установок.

Группа Л. Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов:

- Л1 — измерители параметров (характеристик) электровакуумных приборов;
- Л2 — измерители параметров (характеристик) полупроводниковых приборов.

Группа М. Приборы для измерения мощности:

- М1 — установки (приборы) для проверки ваттметров;
- М2 — ваттметры проходящей мощности;
- М3 — ваттметры поглощаемой мощности;
- М5 — преобразователи приемные (головки) ваттметров.

Группа Н. Электромеханические осциллографы (светолучевые, шлейфовые, вибраторные).

Группа П. Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех:

- П1 — установки (приборы) для проверки приборов измерения напряженности поля и радиопомех;
- П2 — индикаторы поля;
- П3 — измерители напряженности поля;
- П4 — измерители радиопомех;
- П5 — приемники измерительные;
- П6 — антенны измерительные;
- П7 — измерители параметров антенн.

Группа Р. Приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными:

- Р1 — линии измерительные;
- Р2 — измерители коэффициента стоячей волны;
- Р3 — измерители полных сопротивлений;
- Р4 — измерители комплексных коэффициентов передач;
- Р5 — измерители параметров линий передач;
- Р6 — измерители добротности;
- Р9 — преобразователи параметров.

Группа С. Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы и спектра сигналов:

- С1 — осциллографы универсальные;
- С2 — измерители коэффициента амплитудной модуляции (модулометры);
- С3 — измерители девиации частоты (девиометры);
- С4 — анализаторы спектра;
- С6 — измерители нелинейных искажений;
- С7 — осциллографы скоростные, стробоскопические;
- С8 — осциллографы запоминающие;
- С9 — осциллографы специальные.

Группа У. Усилители измерительные:

- У2 — усилители селективные;
- У3 — усилители высокочастотные;
- У4 — усилители низкочастотные;
- У5 — усилители напряжения постоянного тока;
- У7 — усилители универсальные.

Группа Ф. Приборы для измерения разности фаз и группового времени запаздывания:

- Ф1 — установки (приборы) для проверки измерителей разности фаз и группового времени запаздывания;
- Ф2 — измерители разности фаз;
- Ф3 — фазовращатели измерительные;
- Ф4 — измерители группового времени запаздывания.

Группа Х. Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств:

X1 — приборы для исследования амплитудно-частотных характеристик;

X2 — приборы для исследования переходных характеристик;

X3 — приборы для исследования фазочастотных характеристик;

X4 — приборы для исследования амплитудных характеристик;

X5 — измерители коэффициента шума;

X6 — приборы для исследования корреляционных характеристик;

X8 — установки (приборы) для проверки измерителей характеристик радиоустройств.

Группа Ц. Мультиметры (тестеры).

Группа Ч. Приборы для измерения частоты:

Ч1 — стандарты частоты и времени;

Ч2 — частотомеры резонансные;

Ч3 — частотомеры электронно-счетные;

Ч5 — преобразователи частоты сигнала;

Ч6 — синтезаторы частот (делители и умножители частоты);

Ч7 — приемники сигналов эталонных частот и сигналов времени;

Ч7 — компараторы частотные, фазовые, временные.

Группа Ш. Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов:

Ш1 — измерители электрических и магнитных свойств материалов на низких частотах;

Ш2 — измерители электрических и магнитных свойств материалов на высоких частотах.

Группа Э. Измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов:

Э1 — трансформаторы;

Э2 — переходы, соединители;

Э3 — переключатели;

Э4 — модуляторы;

Э5 — ответвители;

Э5 — разветвители;

Э5 — датчики полных сопротивлений;

Э6 — вентили;

Э6 — циркуляторы;

Э7 — головки детекторные;

Э7 — головки смесительные;

Э8 — фильтры;

Э9 — нагрузки.

Группа Я. Блоки радиоизмерительных приборов:

Я2 — блоки измерителей параметров элементов, трактов с разделенными постоянными и блоки приборов для измерения мощности;

Я3 — блоки приборов для измерения частоты, времени и блоки измерителей разности фаз и группового времени запаздывания;

Я4 — блоки приборов для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала и спектра;

Я5 — блоки измерителей характеристик радиоустройств и блоки приборов для импульсных измерений;

Я6 — блоки приборов для измерения напряженности поля, радиопомех и блоки усилителей измерительных;

Я7 — блоки измерительных генераторов и приборов для измерения ослаблений;

Я8 — блоки источников питания;

Я9 — блоки измерительных преобразователей, блоки для индикации результатов измерений и блоки коммутации.

1. *Дворянин Б. В.* Основы метрологии и радионизмерения / Б. В. Дворянин. — М. : Радио и связь, 1993.
2. *Девбета Л. И.* Основы теоретической метрологии / Л. И. Девбета, В. В. Лячнев, Т. Н. Сирия ; под ред. В. В. Лячнева. — СПб. : Изд-во СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 1999.
3. Измерения в электронике : справочник / [В. А. Кузнецов, В. А. Долгов, В. М. Коневских и др.] ; под ред. В. А. Кузнецова. — М. : Энергоатомиздат, 1987.
4. Информационно-измерительная техника и технологии / [В. И. Калашников, С. В. Нефедов, А. Б. Путилин и др.] ; под ред. Г. Г. Раннева. — М. : Высш. шк., 2002.
5. *Класен К. Б.* Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / К. Б. Класен. — М. : Постмаркет, 2000.
6. Метрология и радионизмерения / [В. И. Нефедов, В. И. Хахин, В. К. Битюков и др.] ; под ред. В. И. Нефедова. — М. : Высш. шк., 2003.
7. Метрология и электрорадионизмерения в телекоммуникационных системах / [В. И. Нефедов, В. И. Хахин, Е. В. Федорова и др.] ; под ред. В. И. Нефедова. — М. : Высш. шк., 2001.
8. *Мирский Г. Я.* Электронные измерения / Г. Я. Мирский. — М. : Радио и связь, 1986.
9. *Нефедов А. В.* Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги : справочник в 12 т. / А. В. Нефедов. — М. : РадиоСофт, 2001.
10. *Нефедов В. И.* Основы радионизмерения и связи / В. И. Нефедов. — М. : Высш. шк., 2002.
11. *Петухов В. М.* Транзисторы и их зарубежные аналоги : в 3 т. / В. М. Петухов. — М. : РадиоСофт, 2001.
12. *Рабинович С. Г.* Погрешности измерений / С. Г. Рабинович. — Л. : Энергия, 1978.
13. *Рого К. Г.* Метрологическая обработка результатов технических измерений / К. Г. Рого. — Киев : Техника, 1987.
14. *Сергеев А. Г.* Метрология / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин. — М. : Логос, 2000.
15. *Тартаковский Д. Ф.* Метрология, стандартизация и технические средства измерений / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. — М. : Высш. шк., 2002.
16. *Харт Х.* Введение в измерительную технику / Х. Харт. — М. : Мир, 1999.
17. *Хрулев А. К.* Дiodы и их зарубежные аналоги : справочник в 3 т. / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. — М. : РадиоСофт, 1998.

Предисловие	3
Условные обозначения	5
Глава 1. Основные сведения по метрологии	7
Глава 2. Погрешности измерений	12
2.1. Краткие теоретические сведения	12
2.2. Примеры решения задач	16
2.3. Задачи для самостоятельного решения	21
Глава 3. Электромеханические приборы	34
3.1. Краткие теоретические сведения	34
3.2. Знаки и символы, наносимые на лицевой панели прибора	36
3.3. Сравнительный анализ приборов	37
3.4. Оценка погрешности измерений	38
3.5. Определение значения измеряемого параметра	38
3.6. Задачи для самостоятельного решения	38
Глава 4. Мультиметры	43
4.1. Краткие теоретические сведения	43
4.2. Примеры решения задач	44
4.3. Задачи для самостоятельного решения	49
Глава 5. Электронные вольтметры	61
5.1. Краткие теоретические сведения	61
5.2. Примеры решения задач	63
5.3. Задачи для самостоятельного решения	66
Глава 6. Измерительные генераторы	73
6.1. Краткие теоретические сведения	73
6.2. Примеры решения задач	77
6.3. Задачи для самостоятельного решения	81
Глава 7. Электронные осциллографы	97
7.1. Краткие теоретические сведения	97
7.2. Методика измерения параметров сигналов	98
7.3. Примеры решения задач	103
7.4. Задачи для самостоятельного решения	105

Глава 8. Измерители параметров электровакуумных и полупроводниковых приборов	122
8.1. Краткие теоретические сведения	122
8.2. Примеры решения задач	124
8.3. Задачи для самостоятельного решения	126
Ответы к задачам для самостоятельного решения	129
Глава 2	129
Глава 3	131
Глава 4	133
Глава 5	135
Глава 6	136
Глава 7	143
Глава 8	156
Приложение 1. Основные электрические единицы измерений Международной системы единиц (СИ), применяемые в электронике	159
Приложение 2. Соотношения между кратными (дольными) и основной единицами измерений	160
Приложение 3. Условные обозначения систем электромеханических приборов	161
Приложение 4. Условные обозначения, наносимые на шкалы электромеханических приборов	162
Приложение 5. Каталогная классификация радиоизмерительных приборов	163
Список литературы	168

Учебное издание

**Хрусталева Зоя Абдулвагановна
Парфенов Сергей Викторович**

Электрические и электронные измерения в задачах, вопросах и упражнениях

Учебное пособие

Редактор *В. Н. Махова*
Технический редактор *О. Н. Крайнова*
Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*
Корректор *И. В. Могилевец*

Изд. № 101112249. Печисано в печать 30.10.2008. Формат 60×90/16.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Усл. печ. л. 11,0.
Тираж 2 000 экз. Заказ № 28051.

Издательский центр «Академия». www.academii-moscow.ru
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004г.
117342, Москва, ул. Бульварова, 17-Б, к. 360. Тел./факс: (495)330-1092, 334-8337.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sarprk.ru