Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

В.А.НИКИТИН

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ»

Учебное пособие

Часть 3

Рекомендовано Ученым советом Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве дополнительного учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальности 200503 – Стандартизация и сертификация, 220501 – Управление качеством.

Оренбург
2011

УДК 389 (075.8)

ББК 30.10я 7
Н – 62

Рецензенты

кандидат технических наук, доцент А.Л. Воробьёв,

кандидат технических наук, доцент А.В. Куприянов

Никитин В.А.

Н – 62 Лабораторный практикум по курсу «Методы и средства измерений, испытаний и контроля»: учебное пособие. В 3 ч. Ч 3. Измерение физико-химического состава и свойств веществ, электрических и магнитных величин, времени и частоты / В.А. Никитин: Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2011 - 253 с.

Сборник методических указаний к лабораторным работам по курсу «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для студентов третьего курса по специальности 200503 – Стандартизация и сертификация, 220501 – Управление качеством.

УДК 389 (075.8)
ББК 30.10я 7

$Н\frac{2402000000}{6Л9-01}$

© Никитин В.А., 2011
© ГОУ ОГУ, 2011

Содержание

Введение 4

1 Раздел 6. Измерение величин вязкости 11

2 Лабораторная работа № 34 Вискозиметры …….....18

3 Перечень ЛР раздела 6 37

4 Раздел 7. Измерение электрических величин 38

Лабораторная работа № 35 Микроамперметр 58

5 Лабораторная работа № 36 Электрические измерения вольтметром ……....68

6 Лабораторная работа № 37 Измерение мультиметром
- ампервольтомметром ……87

7 Лабораторная работа № 38 Измеритель цифровой ЦР 8001.....103

8 Лабораторная работа № 39 Измерение мощности ваттметром ……..114

9 Лабораторная работа № 40 Амперметр переменного тока 128

10 Перечень ЛР раздела 7 165

11 Раздел 8. Измерение электромагнитных величин 166

11 Лабораторная работа № 41 Осциллограф 170

12 Перечень ЛР раздела 8 204

13 Раздел 9. Измерение колебаний механических величин 205

14 Лабораторная работа № 42 Хронометр 214

15 Перечень ЛР раздела 9 225

16 Раздел 10 Измерение частоты 226

17 Лабораторная работа № 43 Измерение частоты частотомером 236

18 Перечень ЛР раздела 10 260

19 Список использованных источников 261

Введение

Важнейшими проблемами, стоящими перед нашей страной, является повышение качества выпускаемой продукции, ресурсосбережение, охрана окружающей среды. Успешное их решение во многом зависит от уровня метрологии - уровня культуры измерений.

Это связано в первую очередь с тем, что измерения - единственный способ получения количественной информации о величинах, характеризующих те или иные явления и процессы в любой отрасли знания и производства.

Оценка точности производимых измерений, т.е. качество этой информационной продукции, имеет как теоретическое, так и прикладное значение. Обеспечение высокой точности измерения - сложная задача, и решение её лежит в сфере метрологического обеспечения.

Развитие рыночных отношений, перспектива вступления России в ВТО, необходимость форсированного развития отечественной науки и техники в настоящее время предъявляет непрерывно возрастающие требования к качеству подготовки технических кадров, а это, в свою очередь, выдвигает проблему повышения эффективности обучения. Эта проблема особенно остро стоит в высших учебных заведениях, занятых подготовкой специалистов в области управления качеством и умения пользоваться контрольно-измерительными приборами и средствами автоматики.

На сегодняшний день важнейшее значение приобретает применение приемов практического обучения, правильное сочетание в практическом процессе теоретических знаний с выполнением студентами практических и лабораторных работ.

Известна высокая эффективность лабораторных работ как метода обучения. В высших учебных заведениях разрабатываются и внедряются лабораторные практикумы по ряду специальных предметов. Конкретный сборник предназначен для более подробного изучения курсов «Методы и средства измерений, испытаний и контроля», «Теплотехнические измерения».

Данный сборник предназначен для выработки навыков прикладной метрологии, выбора средств измерений и испытаний по курсу «Методы и средства измерений, испытаний и контроля», «Теплотехнические измерения».

Целью сборника является научиться анализировать объект измерения; по анализу измерений научиться делать выбор средств измерения, оценку коэффициента точности и изучение устройства и конструкции средства измерения; научиться организовывать фиксацию (детерминирование) результатов наблюдения при измерениях или испытаниях, а также научиться обработке результатов наблюдения.

Получение необходимой измерительной информации с минимальными и временными затратами требует внимательного подхода к подготовке и проведению эксперимента при измерении физических величин. Важным в понимании места измерительного эксперимента является то обстоятельство, что измерения проводят не ради измерений, а для достижения цели, поставленной в том или ином исследовании. В зависимости от цели измерения решаются такие задачи: что

измерить, с какой точностью измерить, как измерить и главное чем, каким прибором измерить, какое средство измерений выбрать для выполнения более точных измерений.

Средство измерения - это техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Выбор средства измерения определяется измеренной величиной, принятым методом измерений и требуемой точности результата измерений, которая определяется нормой из нормативно-технической документации.

Измерения с применением средств измерений недостаточной точностью малоценны (даже бессмысленны). Применение излишне точных средств измерения экономически невыгодно. Необходимо при этом учитывать также диапазоны средств измерений. Кроме того, необходимо учитывать условия измерения, эксплуатационные характеристики качества средств измерения и их стоимость и самое главное основное внимание необходимо уделять погрешности измерений.

Измерения в зависимости от способа обработки экспериментальных данных - результатов наблюдений, для нахождения результата измерений, относят к прямым измерениям, косвенным или совокупным.

Выбор метода измерений определяется принятой моделью измерения и доступными или имеющимися средствами измерения. Выбор средств измерения складывается из следующих этапов: сбор исходных данных; определение первоначальной совместимости средств измерения; расчет требуемой точности измерения; выбор конкретного средства измерения из первоначальной совместимости. Сбор исходных данных необходим для четкой постановки измерительной задачи, то есть для выявления состава, характеристик и условия проведения измерений. Также определяются особенности подключения средства измерения к объекту, допустимая продолжительность измерений, возможные ограничения габаритных масс, стоимостных и других характеристик средства измерения.

При анализе условий, в которых будут проводиться измерения или измерительный контроль, определяются:

а) уровни механических нагрузок (вибраций, ударов);

б) климатические условия (температура, влажность);

в) наличие или отсутствие активной разрушающей среды, в которой будут эксплуатироваться средства измерений и их элементы;

г) наличие электрических или магнитных помех (полей).

Перечисленные исходные данные позволяют выявить совместимость средства измерения, из которых и будет произведен выбор прибора, необходимого для измерения или измерительного контроля конкретного параметра.

При этом выбранные средства измерений должны удовлетворять следующим требованиям:

- обладать требуемым уровнем безотказности, необходимым техническим ресурсом и гарантийным сроком службы;

- обеспечивать простоту, удобство и безопасность применения, технического обслуживания и ремонта;

- обладать необходимым быстродействием;

- устойчивость средства измерения к внешним воздействующим факторам, которая должна быть такой, чтобы обеспечивалась их нормальная работа в условиях измерения (измерительного контроля) параметров.

Основными характеристиками средств измерений являются погрешности. Суммарная погрешность результата измерений с входящими в её состав предельными погрешностями определяется по формуле (1):

$$\Delta_{\sum} = \Delta_{М} + \Delta_{СИ} + \Delta_{ВФ} + \Delta_{О} \leq \Delta_{Д}, \qquad (1)$$

где $\Delta_{\sum}$ - суммарная погрешность результата измерения;

$\Delta_{М}$ - предельная погрешность метода измерений;

$\Delta_{СИ}$ - предельная допускаемая погрешность используемых средств измерений;

$\Delta_{ВФ}$ - предельная погрешность, обусловленная влиянием внешних факторов условий измерений;

$\Delta_{О}$ - предельная погрешность, вносимая оператором;

$\Delta_{Д}$ - допускаемая погрешность измерений.

В данном сборнике измерения делятся по разделам на следующие области:

- геометрические измерения;
- механические измерения;
- измерения теплоты;
- измерения расхода;
- измерения давления;
- измерения вязкости материалов и жидкости;
- измерения электрических величин;
- измерения величин магнетизма;
- измерения колебаний механических величин;
- измерения колебаний электрических величин;
- измерение акустики;
- измерение лучистой энергии;
- измерения оптических величин.

Лабораторную работу выполняют в следующей последовательности:

1) выбрать свой вариант;

2) провести измерения и записать результаты наблюдений (3 и более).

Мероприятия, выполняемые перед началом измерений. Каждый человек, выполняющий измерения, выполняет обязанности оператора измерения. При подготовке к измерениям оператор должен:

- ознакомиться с методикой выполнения измерений (МВИ) и последовательностью выполнения операций. Расчет требуемой точности выбранного средства измерений должен быть приведен в методике выполнения измерений (МВИ), но если под рукой МВИ нет, то такой расчет делается на уровне метрологической экспертизы по формуле (2):

$$K_m = \frac{|\delta_{доп}|}{\Delta_{п.д.п.}}, \qquad (2)$$

где K_m - коэффициент точности;

$\delta_{доп}$ – поле допуска измерений;

$\Delta_{п.д.п.}$ – предельно допускаемая погрешность в составе НСП.

- проверить наличие необходимого комплекта СИ и вспомогательных материалов;

- должен убедиться в том, что основные и вспомогательные средства измерения имеют действующие свидетельства о поверке или калибровке. Если действующего свидетельства нет, нужно убедиться в наличие поверительного клейма или пломбы. Если и этого нет, то пользоваться таким средством измерения нельзя, так как оно может привести к заведомо неверным результатам наблюдений;

- выполнить операции по созданию необходимых условий измерений, включая требования безопасности (личной);

- опробовать средство измерения, включить, проверить действие органов управления, убедиться в том, что прибор реагирует на ручки управления, настройки. Если средства измерения снабжены средствами самоконтроля, то выполнить соответствующие операции.

- провести 2 - 3 пробных наблюдения и сравнить результаты наблюдений с ожидаемыми результатами измерений. Принять меры для устранения ошибок.

Указания по безопасности. К обслуживанию приборов должны допускаться лица, ознакомленные с их назначением, схемой и устройством.

При работе с приборами необходимо соблюдать общие правила безопасности труда.

Должна обеспечиваться безопасность прибора прочностью измерительных систем и конструкций.

Эксплуатация изделия разрешается только при наличии инструкции по безопасности.

При эксплуатации, техническом обслуживании и поверке необходимо соблюдать требования ГОСТ 12.3.019 - 80 «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и т.д.

Для проведения лабораторной работы и оформления результатов необходимо:

1) ознакомиться с теоретической частью лабораторной работы, которая содержит общие сведения о конкретном приборе, порядке проведения измерений на данном приборе;

2) следуя методическим указаниям, провести измерения с помощью данного прибора;

3) записать результаты в таблицу;

4) провести статистическую обработку результатов измерений (наблюдений).

Целью обработки результатов измерений (наблюдений) является установление значения измеряемой величины и оценка погрешности полученного результата измерения.

При статистической обработке результатов измерений (наблюдений) выполняют следующие операции:

- исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений, вводят поправку и результаты наблюдений считают исправленными;

- проводят расчет случайных погрешностей, выполняют расчёт СКО (*S(X)*);

- проводят «n» наблюдений при измерениях и если их различие по величине - $x_{\max}$ и $x_{\min}$, то поправку вводят в состав формулы (1), выполняют расчёт НСП (*θ(P)*);

- оценивают норму однократности измерений. К таким нормам относятся известные зависимости

$$\frac{\theta(P)}{S(x)} \langle\ 0{,}8 \quad ; \qquad 0{,}8 \le \frac{\theta(P)}{S(x)} \le 8 \quad ; \qquad \frac{\theta(P)}{S(x)} \rangle\ 8 ,$$

Определяем $N_{сост}$.

$N_{сост}$ – это количество составляющих погрешностей, которые влияют на результаты наблюдения. Если $N \le 3$, то НСП вычисляется по формуле (3):

$$\Theta(\mathrm{P}) = \pm \sum |Q_i| , \tag{3}$$

если $N \ge 4$, то используют формулу (4):

$$\Theta(\mathrm{P}) = K_t \sqrt{\sum \Theta_i^2} , \tag{4}$$

где K_t- коэффициент Стьюдента.

$N_{сост}$ - есть совокупность 4-х составляющих:

1-я составляющая - это предельно - допустимая погрешность СИ;

2-я составляющая – это погрешность оператора, которая равна 5 % от предельно - допустимой погрешности;

3-я составляющая – это погрешность, учитывающая все влияющие на измерения факторы (условия при измерении).

4-я составляющая – поправка от исключенной систематической погрешности;

Расчёт случайных погрешностей начинают с определения среднего квадратического отклонения, для чего определят среднее арифметичекое значение результатов наблюдений.

Среднее арифметическое определяют по формуле (5):

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + ... + X_n}{n}, \qquad (5)$$

Среднее квадратическое отклонение (СКО) результатов наблюдений обозначается S или σ и вычисляют по формуле (6):

$$S(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(x_i - \overline{\tilde{O}}\right)^2}{n-1}}, \qquad (6)$$

где $\overline{\tilde{O}}$ - среднеарифметическое значение.

Дисперсия будет равна

$$\ddot{A} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \overline{\tilde{O}})^2, \qquad (7)$$

Если делим θ_i на $S(\tilde{O})$ и получаем численное соотношение $\theta_i(P)/S(\tilde{O}) < 0.8$, то величиной $\theta_i(P)$ - НСП пренебрегают и окончательно вычисляют погрешность результата измерения по формуле (8):

$$\in (P) = Z_{p/2} \cdot S(\tilde{O}) = \Delta p, \qquad (8)$$

где $Z_{p/2}$ - значение нормированной функции Лапласа в точке *P/2* при доверительной вероятности *P* = 0.99 (таблица 1)

Таблица 1 – Значение коэффициента Лапласа

N	Значение $Z_{p/2}$ при P		
	0,9	0,95	0,99
3	1,412	1,414	1,414
4	1,689	1,710	1,728
5	1,869	1,917	1,972
6	1,996	2,067	2,161
7	2,093	2,182	2,310
8	2,172	2,273	2,431
9	2,237	2,349	2,532
10	2,294	2,414	2,616
12	2,387	2,519	2,753
14	2,461	2,602	2,855
16	2,523	2,670	2,946

Если $\theta_i(P)/S(\tilde{O}) \rangle 8$, то $S(\tilde{O})$ пренебрегают, и за погрешность принимают $\in (P) = \Delta p$.

Если $0{,}8 \le \frac{\theta(P)}{S(\tilde{O})} \le 8$, то проводят расчет по ниже приведенным формулам (9,10,11,12)

$$\Delta p = K_{\Sigma}[\Theta(P) + \in (P)], \tag{9}$$

$$K_{\Sigma} = \frac{\sqrt{1+\gamma^2}}{1+\gamma}, \tag{10}$$

$$\gamma = \frac{\Theta(P)}{\sqrt{3} \cdot \mathrm{K}_p \cdot S(x)}, \tag{11}$$

$$\in (P) = Z_{p/2} \cdot S(X), \tag{12}$$

K_{Σ} сверяют по таблице 2

Таблица 2 – Значения суммарного коэффициента

Обозначение величины	Значение величины									
γ	0	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$K_{\Sigma(\gamma)}$	1,00	0,80	0,75	0,72	0,71	0,72	0,75	0,79	0,82	0,85

5) Оформить отчет проведения лабораторной работы.

Более подробную информацию по статистической обработке результатов можно получить из сборника «Методы и средства измерений, испытаний и контроля», где подробно описан теоретический материал и приведены необходимые формулы.

Лабораторные работы далее изложены по видам измерений в соответствующих разделах.

Раздел 6

Измерение вязкости жидкостей

Вязкость жидкостей. Вязкостью называется свойство жидкостей оказывать сопротивление сдвигу. Все реальные жидкости обладают определённой вязкостью, которая проявляется в виде внутреннего трения при относительном перемещении смежных частиц жидкости. Наряду с легко подвижными жидкостями (вода, воздух – как идеальная жидкость) существуют и очень вязкие жидкости, сопротивление

сдвигу у которых достаточно высокое (тяжёлые масла – мазут, битум), но есть и другая краевая часть жидкостей, у которых сопротивление сдвигу меньше чем у воды (ацетон, эфир, бензин). Таким образом, вязкость характеризует степень текучести и испаряемости или подвижности её частиц в нормальных условиях жизни человека.

Пусть жидкость течёт вдоль плоской стенки так называемыми параллельными ей слоями с небольшой скоростью – смотри рисунок 6.1.

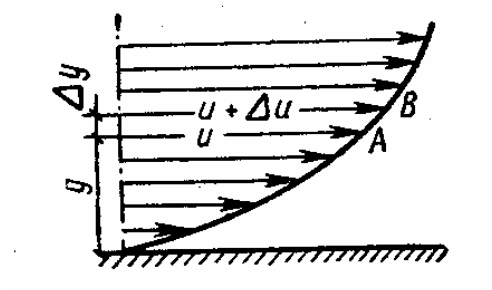


Рисунок 6.1 Распределение скоростей при течении жидкости вдоль твёрдой стенки или стенки канала, трубопровода

Так как стенка неподвижна, а жидкость течёт, то на границе со стенкой из-за тормозящего влияния самой стенки слои жидкости будут двигаться с различными скоростями, значения которых возрастают от нуля до максимальной в центре ядра потока жидкости. По какому закону будет изменяться скорость потока? Рассмотрим два слоя жидкости, двигающиеся на расстоянии Δy друг от друга. Допустим, слой в точке А движется со скоростью u, а слой В – со скоростью u + Δu. Из-за разности скоростей слой В сдвигается относительно слоя А на величину Δu (за единицу времени). Величина Δu является абсолютным сдвигом слоя А по слою В, а отношение Δu/Δy выражает градиент скорости (относительный сдвиг). При этом в процессе движения слоёв появляется касательное напряжение между слоями (сила трении на единицу площади), которую необходимо обозначить, скажем через τ. Исходя из этого рассуждения, аналогично явлению сдвига в твёрдых телах, можно получить зависимость между напряжением и деформацией:

$$\tau = \mu \cdot \frac{\Delta u}{\Delta y}; \text{ èëè } \tau = \mu \cdot \frac{\mathrm{d\,u}}{\mathrm{d\,y}}; \qquad 6.1$$

Величина μ, аналогично коэффициенту сдвига в твёрдых телах, характеризуется сопротивляемостью жидкости сдвигу и называется **динамической** или абсолютной **вязкостью.**

Для определения размерности динамической вязкости из уравнения 6.1 получим:

$$[\mu] = \left[\frac{\tau}{\frac{du}{dy}}\right] = \left[F \cdot T \cdot L^2\right] = \left[M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}\right]; \qquad (6.2)$$

В международной системе единиц СИ динамическая вязкость выражается в Н·с/м^2 или Па·с. В технической системе единиц МКГСС динамическая вязкость имеет размерность кгс·с·м$^{-2}$, а в системе CGS за единицу динамической вязкости принимается пуаз (П), эти сведения приводятся для того, чтобы студентам было удобно пользоваться старыми учебниками, изданными до 1961 года в СССР, так как в них имеются очень ценные сведения и справочные данные, но они даны в старых системах измерения и отличаются от системы СИ.

$$1Ïà \cdot ñ = 0{,}102êãñ \cdot ñ / ì^2 = 10Ï; \qquad (6.3)$$

Вязкость жидкостей и газов в сильной степени зависит от температуры, при этом, вязкость капельных жидкостей при увеличении температуры уменьшается, а вязкость газов наоборот – возрастает. Объяснение этого явления заключается в том, что природа капельных жидкостей и газов различна. Дело в том, что в газах средняя скорость (интенсивность) теплового движения молекул с повышением температуры возрастает, следовательно, возрастает и вязкость. А в капельных жидкостях молекулы не могут хаотически двигаться по всем направлениям, как в газе, они могут лишь колебаться возле своего среднего положения. С повышением температуры средние скорости колебательных движений молекул увеличиваются и в результате этого легко преодолеваются удерживающие их связи, благодаря чему жидкость приобретает большую подвижность, текучесть, что и приводит к уменьшению вязкости.

Пуазейль определил эмпирическим путём зависимость для чистой пресной воды и назвал её зависимостью динамической вязкости от температуры:

$$\mu = \frac{0{,}0179}{1 + 0{,}0368 \cdot t + 0{,}000221 \cdot t^2}; \qquad (6.4)$$

где μ – абсолютная (динамическая) вязкость жидкости в Па;

t – температура в ºС.

С увеличением температуры от 0 до 100°С вязкость воды уменьшается почти в семь раз, смотри таблицу 6.1.

Таблица 6.1- Зависимость плотности ρ, кинематической ν и динамической μ вязкость воды от температуры

Температура, ºС	**Р, кг/м^3**	**ν · 10^4, м^2/с**	**μ · 10^3. Па·с**
0	999,9	0,0179	1,79
4	1000	0.0152	1,57
20	998	0.0101	1,01
40	992	0,0066	0,65
60	983	0.0048	0,48
80	972	0,0037	0,36

90	965	0,0033	0,31
99	959	0,0028	0,27

Вода принадлежит к наименее вязким жидкостям. Лишь немногие из практически используемых жидкостей (например, эфир и спирт) обладают несколько меньшей вязкостью, чем вода. Наименьшую вязкость имеет жидкая углекислота – в 50 раз меньше вязкости воды. Все жидкие масла обладают значительно более высокую вязкость, чем вода. В таблице 6.2 приведены значения вязкости некоторых жидкостей.

Таблица 6.2 - Кинематическая и динамическая вязкость капельных жидкостей (при t = 20ºС)

Наименование жидкости	**μ , Па·с**	**ν ·10^4, м^2/с**
Вода пресная	0,00101	0,01012
Глицерин безводный	0,512	4,1
Керосин (при t = 15ºС)	0,0016-0,0025	0,02-0,03
Бензин (при t = 15ºС)	0,0006-0,00065	0,0083-0,0093
Масло касторовое	0,972	10,02
Масло минеральное	0,0275-1,29	0,313-14,5
Нефть при t = 15ºС (δ_4^{15} = 0,86)	0,007-0,008	0,081-0,093
Ртуть	0,0015	0,00111
Спирт этиловый безводный	0,00119	0,0151

Для определения величины динамической вязкости воздуха в системе МКГСС применяется формула Милликена

$$\mu = 1{,}745 \cdot 10^{-6} + 5{,}03 \cdot 10^{-9} \cdot t; \qquad (6.5)$$

что даёт при t = 15ºС μ = 1,82·10^{-6} кгс·с/м^2 (~ 1,82 · 10^{-5} Па·с).

Наряду с понятием абсолютной или динамической вязкости в практической гидравлике находит применение понятие кинематической вязкости, представляющей собой отношение абсолютной вязкости к плотности жидкости:

$$\nu = \mu / \rho; \qquad (6.6)$$

Эта вязкость названа кинематической, так как в её размерности отсутствуют единицы силы. В самом деле, подставив размерность μ и ρ, получим:

$$[\nu] = [L^2/ T];$$

В международной системе единиц кинематическая вязкость измеряется в $м^2/с$; единицей для измерения кинематической вязкости в системе CGS служит стокс, в честь английского физика Стокса: 1 Ст = 1 $см^2/с$ = 10^{-4} $м^2/с$. Сотая часть стокса называется сантистоксом (сСт): = 1 $м^2с$ = $1\cdot10^4$ Ст = $1\cdot10^6$ сСт.

Кинематическая вязкость газов зависит не только от температуры, но и от давления, возрастая с увеличением температуры и уменьшаясь с увеличением давления, смотри таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Значения кинематической вязкости ν и удельной газовой постоянной R для некоторых газов

Газ	**$\nu\cdot10^4$, $м^2/с$ при температуре в °С**				**R, Дж/(кг·К)**
	0	20	50	100	
Воздух	0,133	0,151	0,178	0,232	287
Метан	0,145	0,165	0,197	0,256	520
Этилен	0,075	0,086	0,104	0.138	296

Кинематическая вязкость воздуха для нормальных условий (температура 20°С, давление ~ 1 ат) $\nu = \mu/\rho = 1{,}57\cdot10^{-5}$ $м^2/с$, т.е. примерно в 15 раз больше, чем для воды при той же температуре. Это объясняется тем, что в знаменатель выражения для динамической вязкости 6.6 входит плотность, которая у газов значительно меньше, чем у капельных жидкостей.

Экспериментально вязкость жидкостей определяют вискозиметрами. Для определения вязкости капельных жидкостей широкое распространение получил вискозиметр Энглера, который представляет собой сосуд, окружённый водяной ванной с водой определённой температуры.

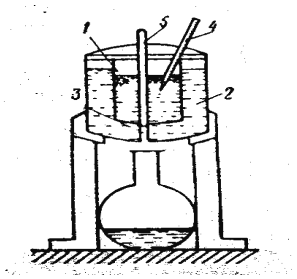


Рисунок 6.2 - Вискозиметр Энглера

Обозначения на рисунке 6.2 – вискозиметра Энглера: 1 - сосуд; 2 - водяная ванна, окружающая сосуд; 3 – латунная трубка, припаянная ко дну сосуда; 4 – термометр измеряющий температуру жидкости; 5 – Стопорный стержень, запирающий калиброванный насадок; Снизу стоит колба в которую сливают жидкость с измерением времени истечения.

За вязкость по Энглеру принимается отношение времени $t_в^ж$ истечения 200 $см^3$ испытуемой жидкости ко времени $t_в$ истечения того же объёма воды. Условная вязкость в градусах Энглера, которая обозначается обычно через «Э», определяется зависимостью:

$$^oЭ = t_в^ж / t_в \qquad (6.7)$$

Для перехода от условной вязкости в градусах Энглера к кинематической вязкости применяют несколько эмпирических формул, например формула Убеллоде:

$$\nu = \left(0{,}0732^{\circ}\acute{Y} - \frac{0{,}0631}{^{\circ}\acute{Y}}\right)\tilde{n}\grave{i}^{\,2}/\tilde{n}; \qquad (6.8)$$

Кроме формулы Убеллоде применяется формула А.Д. Альтшуля:

$$^{\circ}\acute{Y} = 24\cdot\left[2{,}3\lg\frac{\sqrt{\nu^2+0{,}0294}-\nu}{\sqrt{\nu^2+0{,}0166}-\nu} + \frac{1}{\nu}\left(\sqrt{\nu^2+0{,}0294} - \sqrt{\nu^2+0{,}0166}\right)\right]\cdot\nu; \qquad (6.9)$$

В США и в Великобритании вязкость измеряется в секундах **Сейболта** (универсальные) и обозначается - "S и в секундах **Редвуда** (торговые) и обозначаются - "R, особенно для Великобритании, а Сейболта – для США. Поэтому, если встретится в источниках таблицы с пометами сСт - ºЭ и тут же "S ↔ "R, то не следует удивляться, а использовать при необходимости источники США и Великобритании – Англии.

Капиллярные явления. Молекулы жидкости, расположенные у поверхности контакта с другой жидкостью, газом или твёрдым телом, находятся в условиях, отличных от условий внутри некоторого объёма жидкости. Внутри объёма жидкости молекулы окружены со всех сторон такими же молекулами,

вблизи поверхности ситуация меняется, молекула окружена лишь с одной стороны, а с другой – граница твёрдого тела. Поэтому энергия поверхностных молекул отличается от энергии молекул в объёме на некоторую величину, называемой поверхностной энергией. Эта энергия пропорциональна площади поверхности раздела S:

$$\acute{Y}_{\bar{I}} = \sigma \cdot S; \qquad (6.10)$$

Коэффициент пропорциональности σ, называемый коэффициентом поверхностного натяжения, зависит от природы соприкасания сред. Этот коэффициент можно представить в виде:

$$\sigma = -\frac{F}{l}; \qquad (6.11)$$

где F – сила поверхностного натяжения;

l - длина линии, ограничивающей поверхность раздела границ.

Исходя из определения, σ имеет размерность энергии на единицу площади или силы на единицу длины. Для границы раздела вода – воздух при t = 20ºС коэффициент поверхностного натяжения σ = 0,073 Дж/м^2, а для раздела ртуть – воздух, соответственно σ = 0,48 Дж/м^2. Поверхностное натяжение жидкости чувствительно к чистоте жидкости и поверхности и к температуре. Вещества, способные в значительной степени снизить силы поверхностного натяжения, называются **поверхностно - активными веществами (ПАВ).** При повышении температуры величина поверхностного натяжения уменьшается, а в критической точке перехода жидкости в пар обращается в нулевое значение. Более подробные сведения о жидкостях и газах необходимо черпать из справочных таблиц свойств конкретных материалов и веществ в инженерных справочниках.

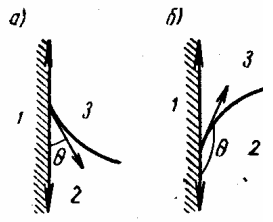


Рисунок 6.3 - К определению краевого угла

На поверхности раздела трёх фаз, например, твёрдой стенки – 1, жидкости – 2 и газа – 3 между поверхностью жидкости и твёрдой стенкой образуется так называемый краевой угол Θ, на рисунке 6.3 это хорошо видно. Величина краевого угла зависит от природы соприкасающихся сред (от поверхностных натяжений на их границах) и не зависит ни от формы сосуда, ни от действия силы тяжести. Если край жидкости приподнят, её поверхность имеет вогнутую форму (рисунок 6.3 - а) – краевой угол острый. В этом случае жидкость смачивает твёрдую поверхность. Чем хуже смачивающая способность жидкости, тем больше краевой угол. При Θ > 90º жидкость считается несмачивающей, при полном несмачивании Θ = 180º. Капли такой жидкости как бы поджимаются, стараясь уменьшить площадь контакта с твёрдой поверхностью. От явления смачивания зависит поведение жидкости в тонких (капиллярных) трубках, погружённых в эту жидкость. В случае смачивания жидкость в трубке поднимается над уровнем свободной поверхности, в случае

несмачивания наоборот опускается. Высота капиллярного поднятия (опускания) жидкости определяется по формуле:

$$\Delta h = \frac{2 \cdot \sigma}{\gamma \cdot r} \cdot \cos\Theta; \qquad (6.12)$$

где γ – удельный вес жидкости; r – радиус трубки.

Во всех явлениях, происходящих при совместном действии сил поверхностного натяжения и сил тяжести, значительную роль имеет капиллярная постоянная $\sqrt{\frac{2\sigma}{\gamma}}$, входящая в выражение 6.12 и имеющая линейную размерность. Так, для воды при 20ºС капиллярная постоянная равна 0,0039 м.

Лабораторная работа по разделу 6 - № 34 «Вискозиметры» условно предназначена для раздела 4 «измерение расхода», так как необходимость изучения расхода связана с вязкостью жидкости и её приходится учитывать в комплексе различных расчётов при определении некоторых параметров жидкостей. Хотя это определение не является обязательным, однако может дать более объёмное понимание механизма взаимовлияния вязкости от температуры и размеров сопрягаемых зазоров в деталях машин.

34 Лабораторная работа № 34 Вискозиметры
(Ознакомительная - как практическая работа)

На поверхностях раздела твердое тело – жидкость всегда создается пристенный слой жидкости, свойства которого отличаются от свойств объемной жидкой фазы вследствие действия поверхностных сил твердой подложки.

В настоящее время достаточно подробно исследованы различные свойства жидкостей: теплоемкость, оптическая анизотропия, дихроизм, вязкость, но в меньшей мере изучены свойства связанные с вязкостью.

Такой параметр как вязкость является наиболее важным физическим свойством смазочных материалов, поскольку её величина влияет на многие процессы в технике и, в частности, на износ различных механизмов.

Настоящая лабораторная работа посвящена исследованию проблемы организации процессов трения и изнашивания, а именно определению вязкости масел, которые выступают в роли смазочного материала в узлах механизмов, а также влиянию введения в них поверхностно-активных веществ (ПАВ) на их свойства.

34. 1 Жидкокристаллические слои и их особенности

34.1.1 Исследования эпитропных жидкокристаллических слоёв (ЭЖК)

Свойства пристенного слоя жидкости отличаются от свойств объемной жидкой фазы вследствие действия поверхностных сил натяжения в пограничном слое твердой подложки. Это впервые было отмечено, согласно Гарди [1], в 1801 г.

Лесли. Такие пристенные слои различны по своим параметрам. Это могут быть адсорбционные монослои, либо системы из нескольких молекулярных слоев, но могут создаваться более сложные, как и более интересные протяженные пристенные слои, примером которых являются граничные фазы (или эпитропные жидкие кристаллы). Представление об свойствах особой пристенной граничной фазе был введен Б.В. Дерягиным при анализе результатов экспериментов, проведенных совместно с В.В. Карасевым [3] по определению вязкости пристенных слоев жидкости. В этих экспериментах было установлено, что у некоторых полярных жидкостей вблизи от поверхности твердой подложки (диэлектрической или металлической) коэффициент вязкости отличается от его значения для объемной жидкости и остается постоянным до некоторой критической толщины d_s, после чего скачком изменяется до значения, соответствующего объемной (изотропной) жидкости. Постоянство свойств в пределах всего пристенного слоя и существование резкой (по типу фазовой) границы раздела, отделяющей пристенный слой от объемной жидкости позволило выделять такой слой в отдельную граничную фазу. Далее в работах З.М. Зорина [4] были исследованы адсорбционные слои ряда полярных жидкостей, образованных на твердой подложки, и было показано, что такие слои ограниченно смачиваются собственной объемной жидкостью. Это однозначно указывало на отличие их свойств от свойств объемной жидкости.

Позднее при исследованиях теплоемкости пристенных слоев полярной жидкости (нитробензола) [5,6] было показано, что теплоемкость пристенных слоев нитробензола ниже теплоемкости объемной жидкости и установлено существование теплоты фазового перехода граничная фаза – объемная жидкость. В этих работах также была определена зависимость равновесной толщины граничной фазы от температуры. Проведенные выше указанные исследования пристенных слоев позволили предположить, что структура граничных фаз отлична от структуры объемной жидкости, являясь более упорядоченной, и подобна жидкокристаллической.

Предположение о жидкокристаллическом строении граничных фаз впервые выдвинули Б.В. Дерягин и Л.М. Щербаков [7], однако, тип структуры граничных фаз указан ими не был. Интересно отметить, что к выводу об ориентационной упорядоченности в пристенных полимолекулярных слоях ранее пришли также исследователи граничного трения [8], предположившие связь между гомеотропной упорядоченностью в пристенных слоях алифатических кислот, образованных на металлической поверхности, и возрастанием противоизносных свойств граничных смазочных слоев.

Оптическую анизотропию пристенных слоев воды, толщиной $d_s \sim 20$ нм, образованных на слоистой матрице диэлектрика (пирофиллита) наблюдали Б.В. Дерягин и Грин - Келли [10]. Однако степень упорядоченности молекул в пристенных слоях и направление преимущественной ориентации молекул воды в этих опытах установлено не было. В работе [11] для выяснения вопроса о величине и типе оптической анизотропиии, существующей в граничных слоях нитробензола на поверхности стекла и кварца, был использован метод плоского световода переменной толщины [11]. Этим методом было установлено, что для молекул ряда нитробензола характерна гомеотропная ориентация молекул в пристенных слоях и

была проведена оценка равновесной толщины пристенных слоев. В последующих исследованиях этим методом была замечена корреляция между способом предварительной подготовки поверхности подложки (ее очистка хромовой кислотой, обработкой водородным пламенем) и величиной оптической анизотропии жидкой прослойки в световоде.

Прямым (и более информативным) способом изучения свойств упорядоченных пристенных слоев, измерения их структурных параметров явился метод исследования дихроизма собственных электронных полос поглощения [12].

Дипольные моменты электронных переходов в молекулах имеют определенные направления (поляризованы) и поэтому в спектрах поглощения ориентационно – упорядоченного ансамбля молекул наблюдается дихроизм поглощения. Для каждой полосы поглощения знак дихроизма определяется взаимным расположением моментов электронного перехода и электрического вектора световой волны, а величина дихроизма зависит от степени ориентационной упорядоченности молекул поглощающей среды. Мерой ориентационной упорядоченности ансамбля молекул является параметр порядка:

$$S = 0{,}5 \cdot \left(3\left\langle \cos^2 \Theta \right\rangle - 1\right), \qquad (34.1)$$

где θ – угол между осью отдельной молекулы и направлением преимущественной ориентацией, а усреднение ведется по всему ансамблю молекул. На максимуме поглощения полосы коэффициент поглощения света – μ определяется выражением:

$$\mu = K\left\langle p_i * E_i \right\rangle^2 , \qquad (34.2)$$

где p_i - дипольный момент перехода;

E_i - электрический вектор световой волны.

В частном случае гомеотропной ориентации молекул ансамбля коэффициент поглощения инвариантен к состоянию поляризации падающего света и определяется формулой:

$$\mu = \mu_{iso} * \left(1 - mS\right), \qquad (34.3)$$

где μ_{iso} - коэффициент поглощения аналогичной изотропной среды;

m – молекулярный параметр, определяющийся значением угла γ между дипольным моментом перехода и длиной осью молекулы:

$$m = 0{,}5\ (3*\cos^2 \gamma - 1).$$

В случае планарной ориентации молекул ансамбля коэффициент поглощения также инвариантен состоянию поляризации падающего света и определяется формулой:

$$\mu = \mu_{iso}\,(1 + 0.5mS)\,. \qquad (34.4)$$

Таким образом, определив величину экстинкции ориентационно – упорядоченного пристенного слоя, можно определить минимум ориентации молекул в пристенном слое и рассчитать параметр порядка в нем.

Следует отметить, что высокая экстинкция в максимумах электронно-колебательных полос поглощения (например, для жидкости ароматического ряда) позволяет надежно фиксировать поглощение света в пристенных слоях с толщинами $d \geq 40$ нм.

Для измерения локальных значений коэффициента поглощения в пределах пристенного слоя был разработан метод сканирования по толщине клиновидной прослойки исследуемой жидкости, образованной между двумя прозрачными подложками, узким световым зондом на частоте, соответствующей максимуму электронно-колебательной полосы поглощения.

В случае однородности оптических свойств прослойки зависимость логарифма интенсивности прошедшего света от толщины прослойки будет линейной:

$$\ln y = \ln I_0 - \mu d \qquad (34.5)$$

В случае же структурной (и как следствие) оптической неоднородности подложки зависимость $\ln y = f(d)$ будет нелинейной, и ее анализ позволяет установить минимум ориентации молекул в прослойке, оценить ее структурной однородности и установить характер границы раздела: пристенный слой – объемная жидкость.

Рассмотренная методика пригодна лишь для жидкостей имеющих интенсивные электронно – колебательные полосы поглощения с длиной волны $\lambda > 200$ нм. Однако, у многих жидкостей (например, алифатического ряда) такие полосы лежат в области вакуумного ультрафиолета и этот метод непосредственно не применим.

В этих случаях возможно использовать, вариант метода дихроизма с внедрением в матрицу основной жидкости примесных молекул, изоморфных основным, но обладающих значительной экстинкцией в заданной области спектра и привести измерения их экстинкции.

Другой методикой исследования дихроизма поглощения ориентационно–упорядоченных пристенных слоев является метод нарушенного полного внутреннего отражения [3]. Как известно, в этом случае луч, попадающий из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, отражается, но и частично в ней поглощается. Соответствующая геометрия оптических элементов позволяет использовать многократное повторение полного внутреннего отражения, что увеличивает чувствительность метода. Таким способом были подтверждены результаты измерений методом измерения дихроизма собственных полос поглощения степени упорядоченности, существующей в пристенных слоях нитробензола, и гомеотропного типа ориентации молекул в них. Однако этим методом затруднительно определить степень однородности пристенных слоев и установить существование границы раздела: граничная фаза – объемная жидкость.

Исследование дихроизма в клиновидных прослойках ароматических жидкостей образованных между лиофилизированными поверхностями кварца показали, что зависимость $\ln y = f(d)$ имеет вид выпуклой ломаной. Вблизи от поверхности подложки в интервале толщин 20 нм $< d <$ 60 нм коэффициент

поглощения постоянен и меньше, чем в объемной (изотропной) фазе. Это позволяет утверждать, что пристенные слои ароматических жидкостей, толщиной $d \leq 60$ нм однородно ориентационно упорядоченны, причем длинные оси молекул нормальны к поверхности кварцевой подложки. Такие слои отделены резкой (фазовой) границей раздела от изотропной (объемной) жидкости, что подтверждает выделить их выделение в особое фазовое состояние граничную фазу.

Аналогичные ориентационно упорядоченные пристенные слои жидкости ароматического ряда образуются также и на поверхности сапфира (Al_2O_3).

Исследование строения пристенных слоев алифатических жидкостей проводились этим методом путем измерения дихроизма примесных молекул. Было показано, что в этом случае ориентационно – упорядоченные пристенные слои обладают несколько большей толщиной, чем у ароматиков (d_S = 200нм), а ориентация молекул зависит от рода мономолекулярных слоев ориентантов, нанесенных на поверхность кварца, и эта ориентация может быть как гомеотропной, так и планарной.

Установленная структурная упорядоченность молекул в пристенных слоях органических жидкостей, образованных на лиофильных диэлектрических твердых подложках, однородность структуры в пределах пристенного слоя толщиной $d \leq d_s$ и существование фазовой границы раздела, отделяющей пристенные слои от объемной жидкой фазы, являются прямыми. Доказательствами того, что такие пристенные слои представляют собой отдельную, граничную фазу, с которой и связаны установленные ранее «аномалии» термодинамических и оптических свойств пристенных слоев жидкости.

Такие граничные фазы исследовавшихся немезогенных органических жидкостей ароматического и алифатического рядов ввиду существования в них дальнего ориентационного порядка молекул следует отнести к особому типу жидких кристаллов, причем по типу симметрии - к нематикам. Однако, в отличие от обычных жидких кристаллов ориентационная упорядоченность в граничных фазах может возникать в поле поверхностных сил лиофильной твердой подложки. Поэтому такие граничные, подобные жидкокристлическим фазы немезогенных жидкостей были названы эпитропными (от греч. «эпи» - поверхность) жидкими кристаллами (ЭЖК).

Отличительной особенностью ЭЖК является их пространственная ограниченность и возможность равновесного сосуществования с объемной жидкой фазой в значительном интервале температур. Убывание равновесной толщины ЭЖК фазы с ростом температуры (с одновременным умненьшением степени ориентационного порядка в ней) свидетельствует о постепенном послойном ориентационном плавлении ЭЖК фазы.

Эта фаза образуется у поверхности лиофильных твердых подложек в поле дальнодействующих поверхностных сил твердой подложки. Так как молекулы жидкостей, образующих ЭЖК фазы анизометричны, то следовательно существенную роль в организации ЭЖК играет анизотропные межмолекулярные взаимодействия (как и при образовании объемной жидкокристаллической фазы). Представления теории Майера-Заупе о механизме образования нематической фазы были положены в основу создания термодинамической модели организации вблизи подложки ЭЖК фазы.

Согласно этой теории ориентационная упорядоченность в объемной жидкокристаллической фазе возникает вследствие действия анизотропной диполь-дипольной дисперсионной составляющей молекулярных сил. Рассчитанная в рамках такого представления зависимость ориентационной составляющей свободной энергии ΔF_0 от параметра порядка S при различной температуре. При температурах $T < T_C$ - температуры фазового перехода жидкокристаллическая фаза - объемная жидкость на зависимости $\Delta F_0(S)$ существует минимум с $\Delta F < 0$, соответствующий устойчивому жидкокристаллическому состоянию. При температуре несколько большей T_c наблюдается два минимума, первый абсолютный минимум ($\Delta F_{op} = 0$ при $S = 0$), соответствующий изотропной жидкости и второй минимум ($\Delta F_{op} > 0$ при $S \neq 0$), соответствующий неустойчивому в объеме, метастабильному («перегретому») жидкокристаллическому состоянию.

Жидкости, образующие в пристенных слоях ЭЖК фазу относятся к немезогенным, т.е. при плавлении они сразу переходят в объемную жидкость, т.к. даже при температуре плавления ориентирующих сил межмолекулярных анизотропных взаимодействий недостаточно для организации стабильной в объеме ориентационно упорядоченной мезофазы. Устойчивое мезофазное состояние таких жидкостей может реализоваться (по крайней мере теоретически) лишь в переохлажденном состоянии, а при температурах выше температуры плавления жидкокристаллическое состояние в них метастабильно. Однако, вблизи твердой подложки в прилегающих к ней слоях таких жидкостей дальнодействующие поверхностные силы могут стабилизировать метастабильное жидкокристаллическое состояние в области толщин слоя $d \leq d_s$. Такие простые соображения поясняют, во - первых структурную однородность ЭЖК фазы, представляющей собой стабилизированное полем поверхностных сил жидкокристаллическое состояние, обладающее одинаковым ориентационным упорядочением и однородностью всех физических свойств, определяющихся степенью ориентационной упорядоченности. Во - вторых такое представление объясняет существование фазовой границы раздела, отделяющей ЭЖК фазу от объемной изотропной жидкости.

Далее для построения самой упрощенной микроскопической модели ЭЖК фазы была предпринята попытка использования одномерной модели Изинга, в которой система представляет собой решетку, в каждом узле которой элемент может находится в двух дискретных состояниях. В одномерной модели Изинга в отсутствии внешнего ориентирующего поля спонтанная ориентация отдельных элементов отсутствует. Во внешнем ориентирующем поле средний параметр порядка в ней $S > 0$. Для расчетов отдельные совокупности элементов – «цепочки», равноудаленные от ориентирующей твердой подложки, замыкались (периодическое граничное условие) и для каждой цепочки задавалось некоторое значение энергии поля поверхностных сил, кубически убывающей по мере удаления от поверхности.

Такая схема позволила рассчитать зависимость параметра порядка в системе элементов – молекул от расстояния до поверхности подложки и от температуры. Далее была рассчитана теплоемкость такой системы в функции от толщины слоя (числа цепочек) и температуры, и теплота перехода ЭЖК фазы в объемную жидкость.

Эта модель качественно описала основные свойства ЭЖК фазы: - существование упорядоченности (S = const) вблизи от поверхности подложки, уменьшение числа упорядоченных цепочек (толщины ЭЖК слоя) с ростом температуры, зависимость теплоты перехода ЭЖК фазы - объемная жидкость от температуры.

Необходимо отметить также, что ЭЖК фаза, существующая в неоднородном поле поверхностных сил не является полностью однородной по степени ориентационного порядка. Так в специально поставленных опытах по измерению дихроизма примесных молекул в сверхтонких (~ 10 – 15 нм) слоях нитробензола было показано, что около десяти молекулярных слоев, непосредственно прилегающих к поверхности подложки, обладают упорядоченностью повышенной по сравнению с объемом ЭЖК фазы.

Далее, при спектральных исследованиях ЭЖК фазы были отмечены изменения формы спектральных полос при уменьшении толщины слоя ЭЖК фазы.

В серии нормированных спектров ЭЖК фазы ароматических жидкостей (нитробензола и анизола) были отмечены изобестические точки, что однозначно свидетельствует о существовании в ЭЖК фазах этих жидкостей нескольких типов поглощающих центров. Для определения числа таких центров с помощью метода Грама-Шмидта серия экспериментальных спектров была преобразована в серию ортогональных спектров и было показано, что экспериментальные спектры представляют собой наложение двух независимых спектров, один из которых преобладает в тонких слоях ЭЖК, а другой - в более толстых. Поглощающие центры, ответственные за эти спектры можно сопоставить с мономерами и димерами данных жидкостей. Дальнейшие расчеты позволили получить зависимость от расстояния до подложки концентрации димеров и мономеров. Дополнительные эксперименты по исследованию зависимости диэлектрической проницаемости прослоек нитробензола от их толщины также показали, что вблизи от поверхности подложки концентрируются димеры с антипараллельной ориентацией жестких дипольных моментов.

Следует отметить, что предложенные теоретические модели ЭЖК фазы недостаточно адекватно описывают механизм ее возникновения и физические свойства.

Термодинамическая модель ЭЖК фазы в своем настоящем состоянии недостаточно разработана, не оснащена математическим аппаратом и поэтому не позволяет проводить количественных расчетов. В этой и других моделях не рассматривается роль поверхностного близкодействия, определяющегося числом и характером «активных центров», находящихся непосредственно на поверхности твердой подложки.

Далее в этих моделях совершенно не учитывается роль второй, смежной фазы, ограничивающей ЭЖК слой с внешней стороной.

Отдельно следует отметить, что при переходе от диэлектрических подложек к металлическим равновесная толщина ЭЖК фаз значительно возрастает, что, по-видимому, связано с возрастанием в этом случае запаздывающих Ван-дер-Вальсовых сил. Укажем также, что в этих моделях игнорируется пространственная неоднородность ЭЖК - фаз, отмеченная в спектральных исследованиях.

В рассмотренных моделях не говорилось о реологических свойствах ЭЖК. Поэтому рассмотрим эти свойства на примере исследования тонких неоднородных жидких прослоек на капиллярном вискозиметре.

34.2 Капиллярный вискозиметр для исследования тонких неоднородных жидких прослоек

В статье «Капиллярный вискозиметр для исследования тонких неоднородных жидких прослоек» авторов Алтоиз Б.А., Поповский Ю.М., описана конструкция капиллярного вискозиметра для исследования реологических свойств тонких (20 ÷ 50 мкм) прослоек жидкости. Опыты с рядом органических немезогенных жидкостей свидетельствуют о пространственной неоднородности таких прослоек – наличия в них пристенного структурированного слоя, толщина которого с течением уменьшается. В рамках модели «срезаемого течением жесткого слоя» проведена оценка этой толщины.

Из оптических исследований прослоек ряда немезогенных органических жидкостей алифатического ряда [1,2] установлено, что на металлической подложке эти жидкости образуют структурированные эпитропные жидкокристаллические (ЭЖК) слои, толщина которых может достигать d_s ~5 ÷ 10 мкм. Вследствие анизотропии этих слоев их вязкость должна отличаться от вязкости объемной жидкости. Очевидно, что реологические исследования ЭЖК слоев весьма актуальны для решения теоретических и прикладных задач, связанных с эксплуатацией узлов трения.

Авторами в ранних исследованиях слоев, образованных на диэлектрических подложках, неоднократно отмечалось возрастание вязкости, однако, в этих работах малые толщины слоев (d_s ~ 0,01 ÷ 0,1 мкм) затрудняли проведение вискозиметрических измерений и заставляли исследователей применять изощренную экспериментальную технику [3] или ограничиваться косвенной оценкой вязкости пристенных слоев [4]. Для изучения вязкости ЭЖК слоев, образованных на металлических поверхностях, вследствие их больших толщин можно при соответствующей модификации использовать более грубые традиционные методики, принятые в реологии.

34.2.1 Устройство капиллярного вискозиметра

С этой целью был сконструирован капиллярный вискозиметр со щелевым зазором переменной толщины, схема которого показана на рисунке 34.1.

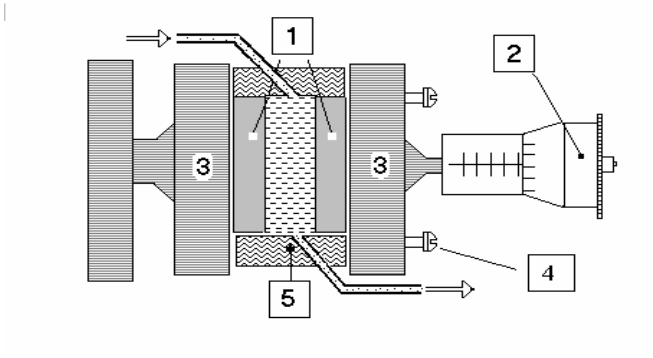


Рисунок 34.1 - Схема капиллярного вискозиметра для исследования реологических свойств тонких прослоек жидкости

Щелевой зазор создавался между двумя плоско полированными стальными пластинами 1, которые с помощью микрометрического устройства 2 могли перемещаться и фиксироваться на заданном расстоянии. Полированные, обработанные по 14-му классу точности, стальные пластины закреплялись на латунных основаниях 3, в которых размещались установочные болты 4, позволявшие в случае необходимости устранять клиновидность щелевого зазора. Герметизация зазора осуществлялась боковыми и верхними резиновыми прокладками 5, покрытыми тонкой тефлоновой пленкой.

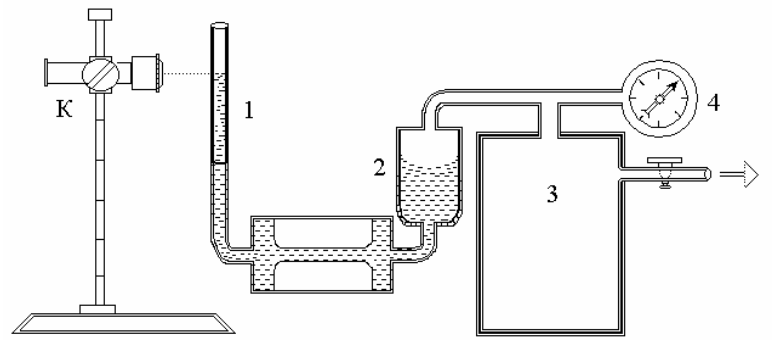


Рисунок 34.2 - Схема создания перепада давлений в капиллярном вискозиметре

Для определения объема жидкости, протекающей через щелевой зазор, использовалась (рисунок 34.2) калиброванная измерительная трубка 1, высота столба жидкости в которой фиксировалась катетометром К с точностью 0,01 мм. Для создания перепада давлений вискозиметр через балластную трубку 2 подсоединялся к ресиверу 3 с манометрическим устройством 4. При измерении давлений $P \sim 10^2 \div 10^4$ Па использовался водяной, а для больших давлений (до 20 КПа) – образцовый механический манометр. Для уменьшения объема пленки жидкости, остающейся за опускающимся мениском, диаметры измерительной трубки выбирались небольшими (~ 1 мм). Поверхности пластин, образующих зазор, и другие металлические детали, входящие в контакт с исследуемой жидкостью, перед сборкой вискозиметра для очистки от органических загрязнений промывались растворителем и просушивались.

После установки заданной величины зазора D он герметизировался. Изотермичность и малость градиентов температур (ΔT / l ≤50 К/м) контролировались системой термопар, а постоянство температуры ($\Delta T \leq 0{,}5$ К) в рабочей ячейке обеспечивалось воздушным термостатом. Для устранения ошибки, связанной с возможным шунтированием потока жидкости, ее протечкой через неплотности резиновых прокладок, предварительно проводился контрольный опыт, при котором через вискозиметр прокачивался воздух и определялась объемная скорость его протекания. Рассчитанные в таких опытах значения вязкости воздуха сравнивались с табличными данными, и в дальнейших измерениях вводилась соответствующая поправка. При зазорах $D \geq 50$ мкм поправка не превышала нескольких процентов, а при меньших зазорах становилась значительной.

После заполнения вискозиметра исследуемой жидкостью в ресивере создавалось разрежение, и при различных фиксированных перепадах давлений ΔP в диапазоне $\Delta P = 10^2 \div 10^4$ Па проводились измерения интервала времени τ протекания через прибор заданного объема жидкости Q. Разброс отсчетов времени в пределах серии измерений был ~ 1%, однако, воспроизводимость последовательных серий достигала 10%, что связано, по-видимому, с возможным попаданием в зазор отдельных частиц твердых примесей. Расход жидкости в единицу времени определял экспериментальную объемную скорость течения:

$$q_э = Q/\tau \ (м^3/с), \qquad (34.6)$$

где Q – объем протекшей через капиллярный зазор жидкости за время τ.

И среднюю (по сечению зазора S) линейную скорость:

$$\langle v_э \rangle = q_э / S \ \ (м/с). \qquad (34.7)$$

Режимы течения во всех проведенных опытах были ламинарными ($Re \leq 1$). «Объемная» вязкость исследовавшихся жидкостей измерялась стандартными вискозиметрами и сравнивалась с литературными данными.

34.2.2 Экспериментальные результаты

В работе были проведены измерения вязкости тонких ($D = 30 \div 50$ мкм) прослоек индивидуальных органических жидкостей и углеводородных технических смесей, образованных между металлическими пластинами. В случае ламинарного потока средняя скорость $\langle v_п \rangle$ течения ньютоновской жидкости через щелевой зазор толщиной D (рисунок 34.3) определяется формулой:

$$\langle v_n \rangle = \frac{D^2}{12\,\mu_0} p, \qquad (34.8)$$

где $p = \Delta P/l$ (Па/м) – градиент давления по длине зазора l;

μ_0 (Па·с) – величина коэффициента вязкости жидкости.

Существование на боковых поверхностях щелевого зазора пристенного слоя с иными реологическими характеристиками, чем объемная жидкость, было установлено в опытах с описанным вискозиметром при анализе характера возрастания скорости течения жидкости $<v_э>$ с повышением перепада давления, и сравнением таких зависимостей с теоретическими, рассчитываемыми по (34.7). Для исследуемых жидкостей при зазорах заведомо больших чем $2d_s$, т.е. в отсутствие перекрытия пристенных слоев, в области малых перепадов давления наблюдается уменьшение вязкости с ростом давления и поэтому нелинейное возрастание скорости течения жидкости, а при давлениях $(0.5 \div 1)\ 10^4$ Па вязкость становится равной вязкости объемной жидкости.

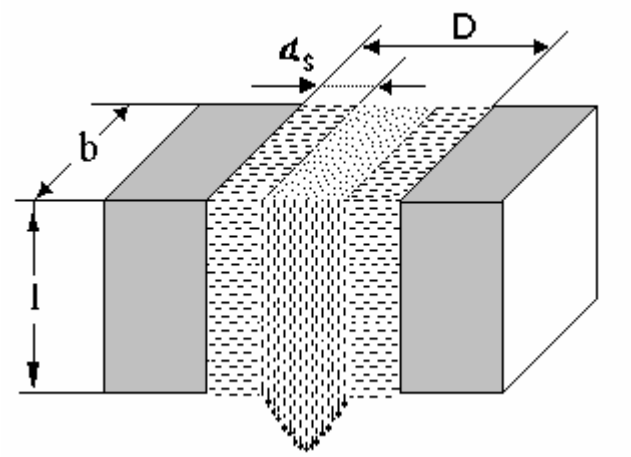


Рисунок 34.3 - Геометрия щелевого зазора вискозиметра и схема течения в нем жидкости с приповерхностным «жестким» слоем

Как пример, приведёны результаты (рисунок 34.4) опытов с технической углеводородной жидкостью МРХ-30. Для тонких (D ~ 30 ÷ 40 мкм) прослоек этого масла при небольшой скорости течения зависимость (34.7) не выполняется

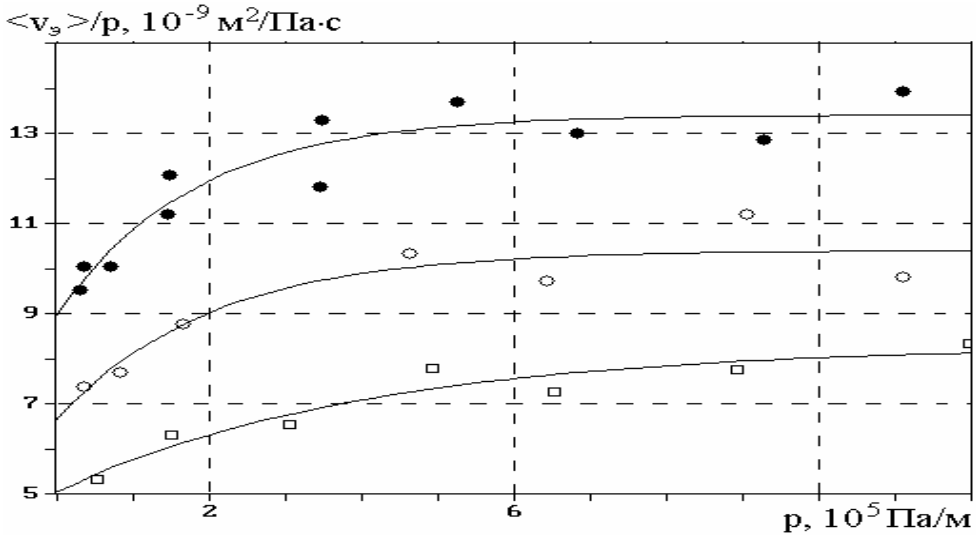


Рисунок 34.4 - Зависимость отношения $<v_э>$ / p – относительной (по отношению к градиенту давления p) экспериментальной средней скорости течения масла МРХ-30 через щелевые зазоры вискозиметра от градиента давления p. Величина зазоров: D_1 = 39,7 мкм (•), D_2 = 35 мкм (O) и D_3 = 30 мкм (обозн. –

прямоугольник). T = 294 К. Сплошные линии – аппроксимация зависимостью (34.9)

– величина $<v_э>$ возрастает не пропорционально градиенту давления p. Экспериментальные результаты трех серий вискозиметрических опытов (при температуре T = 294 К) с истечением этой жидкости через зазоры трех фиксированных толщин (D_1 = 39,7 мкм, D_2 = 35 мкм и D_3 = 30 мкм) представлены на рисунке 34.4 в виде зависимости относительной (по отношению к градиенту давления p) скорости течения – величины ($<v_э>/p$, м^2/Па·с) от p.

Экспериментальные данные аппроксимированы (сплошная линия) функцией:

$$<v_э>/p = u_\infty - u_0 \cdot exp(-p/p_\infty), \qquad (34.9)$$

где u_∞, u_0 и p_∞ – параметры аппроксимирующей зависимости (приведены в таблице 34.1).

Таблица 34.1 - Параметры аппроксимации (34.9) экспериментальной зависимости относительной (по отношению к градиенту давления p) средней скорости $<v_э>/p = f(p)$ течения масла МРХ-30 от градиента давления p в щелевых зазорах вискозиметра трех фиксированных толщин D. T = 294 К.

Толщина зазора D, мкм	Параметры аппроксимации		
	u∞,·10–9, м2/Па·с	u0 ·10–9, м2/Па·с	p∞ ·105, Па/м
39,7	13,4	4,41	1,81
35	10,4	3,74	2,02
31	8,3	3,24	4,04

Из рисунка 34.4 видно, что в области малых градиентов давления p < 0,5 МПа/м величина отношения $<v_э>/p$ с увеличением давления растет и лишь при градиентах (p > 0,5 МПа/м) с повышением давления практически не изменяется. При этом экспериментальная скорость истечения жидкости $<v_э>$ меньше расчетной $<v_п>$, а при больших перепадах давления становится равной ей.

1.2.3 Обсуждение результатов и модель «жесткого, срезаемого» пристенного слоя.

Наблюдаемый характер зависимости $<v_э>/p = f(p)$ объясняется существованием в прослойке пристенных слоев толщиной $2d_s$. Их наличие приводит к тому, что реальное проходное сечение зазора s, по которому протекает жидкость, меньше, чем геометрическое S = bD (рисунок 34.3). С ростом приложенного давления и соответственно скорости течения равновесная толщина слоя на каждой из подложек уменьшается и, начиная с какого–то значительного перепада давления, проходное сечение зазора совпадает с геометрическим.

Поэтому для расчета параметров слоя рассмотрим его простейшую реологическую модель: на поверхностях обеих пластин, ограничивающих зазор, существует неподвижный (гидродинамически «жесткий») слой, периферийная часть которого «срезается» течением (рисунок 34.3). При постепенном увеличении

скорости течения (за счет повышения перепада давления ΔP) толщина пристенного слоя убывает вплоть до нуля.

В такой модели, в соответствии с (34.8), рассматриваемая величина отношения $<v_э>/p$ может быть представлена в виде:

$$<v_э>/p = \frac{(D-2d_s)^2}{12\mu_0}, \qquad (34.10)$$

что позволяет по полученным экспериментальным зависимостям $<v_э>/p = f(p)$ рассчитать как начальную толщину слоя d_{0s} (ее значение при p = 0), так и ее текущее значение – величину d_s в функции градиента давления или возрастающей с ним скорости течения жидкости $<v_э>$.

Рассчитанные таким образом значения толщины d_s «жесткого, срезаемого» слоя в зависимости от средней линейной скорости $<v_э>$ течения жидкости в данном зазоре для каждой из трех серий экспериментов приведены на рис.5. В принятой модели пристенного слоя для количественного описания явления его «срезания» течением зависимость $d_s = f(<v_э>)$ аппроксимировалась функцией:

$$d = d_{0s} \cdot exp(-<v_э>/v_0). \qquad (34.11)$$

Здесь d_{0s} (мкм) – толщина пристенного слоя при отсутствии течения, ($<v_э>$) – средняя (по сечению зазора) линейная скорость течения жидкости, v_0 (мм/с) – параметр, характеризующий «жесткость» слоя, его способность к «срезанию» течением. Значения параметров d_{0s} и v_0 аппроксимирующей зависимости (34.11) приведены в таблице 34.2.

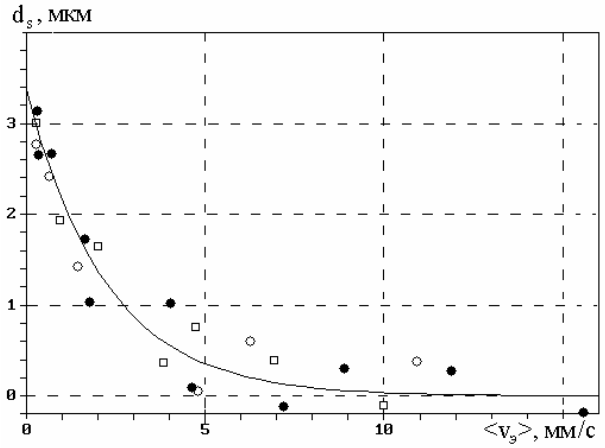


Рисунок 34.5 - Зависимость толщины пристенного слоя d_s масла МРХ-30

(T = 394 K) на стальной подложке в модели «жесткого, срезаемого течением слоя» от средней (по сечению) линейной скорости течения жидкости $<v_э>$ в зазоре. Обозначения те же, что и на рисунке 34.4. Сплошная линия – аппроксимация D_1 = 39,7 мкм (•) функцией (34.9)

Таблица 34.2

Параметры	Толщина зазора D, мкм		
МОДЕЛИ	39,7	35,0	31,0
d_{0s}, мкм	3,4	3,2	3,1
V_0, мм/с	2,2	1,9	2,6

Реологические характеристики пристенного слоя масла МРХ-30 (Т = 294 К) на поверхности стали в модели гидродинамически «жесткого, срезаемого слоя»

Как следует из рисунка 34.5 и таблицы 34.2, при отсутствии течения пристенный слой масла МРХ-30 на стальной подложке имеет толщину $d_{0s} \approx 3$ мкм. «Прочность» слоя на «срезание» сравнительно невелика – уже при скоростях течения $\langle v_э \rangle = v_0 \sim 2$ мм/с толщина слоя $d_s \sim 1$ мкм, а при $\langle v_э \rangle \sim 10$ мм/с ничтожно мала. Рассчитанная величина d_{0s} близка, но несколько меньше значений равновесной толщины ЭЖК слоя ($d_{0s} \approx 7 \div 9$ мкм) алифатических углеводородов и масел, полученных в оптических измерениях [2].

Расхождение с результатами таких измерений по толщине d_{0s} можно объяснить несовершенством модели слоя, принятой для расчетов этого его параметра. В частности, не в пользу модели гидродинамически неподвижного слоя, о его «не жесткости» свидетельствует то, что даже при наименьших зазорах в наших измерениях не было отмечено предельного напряжения сдвига.

По-видимому, модель ЭЖК слоя, участвующего в течении жидкости, более адекватно может описать его реологические свойства. Для развития такой модели представляется необходимым одновременно с вискозиметрическим опытом проведение независимого измерения (оптическими или иными способами) структурных характеристик (толщины, однородности и др.) ЭЖК слоя прослойки при ее течении.

34.3 Исследование особенности граничного трения ротационным вискозиметром

В данной экспериментальной работе, в исследованиях был использован разработанный и сконструированный в лаборатории эпитропных жидких кристаллов Одесского Национального Университета ротационный вискозиметр, предназначенный для исследования Куэтовского течения в тонких (5 ÷ 50 мкм) однородных и неоднородных (с приповерхностными структурированными слоями) жидких прослойках.

Для прямых измерений вязкости тонких прослоек смазочных жидкостей между стальными подложками в приборе применялся в качестве рабочей цилиндрической пары вискозиметра стандартный узел топливной аппаратуры - распылитель форсунки, что позволило исследовать вязкость прослоек масла и топлива толщиной до 6 мкм. Схема установки представлена на рисунке 34.6 Измерения на приборе проводились методом задания постоянной скорости Ω (от 3

до 200 об/мин) вращения наружного цилиндра - корпуса форсунки ($R_н \sim 3\cdot10^{-3}$ м). Набор штоков форсунки - сменных внутренних цилиндров различных диаметров позволял изменять толщину прослойки жидкости до 20 мкм. Пределы измерения коэффициента вязкости составляли $\eta = 5\cdot10^{-3} \div 1$ Па·с, изменения скорости деформации - $\varepsilon = 50 \div 4\cdot10^{3}$ $с^{-1}$. Измерителем крутящего момента в вискозиметре является бифилярный подвес 5 (рисунок 34.6) с регулируемой чувствительностью. Вращение наружного цилиндра в точно обработанной цилиндрической поверхности корпуса 10, играющего роль подшипника скольжения, обеспечивается реверсивным асинхронным двигателем 3 с редуктором и ременными передачами. Соосность цилиндрической пары и натяжение подвеса обеспечивается системой грузов (калиброванных по массе дисков), располагаемых на цанговом держателе внутреннего цилиндра - штока форсунки. Число устанавливаемых дисков определяет чувствительность бифилярного подвеса к крутящему моменту трения. Прецизионная регулировка чувствительности измерителя крутящего момента обеспечивается изменением длины нитей подвеса. Поверхности деталей, входящие в контакт с исследуемой жидкостью, перед сборкой вискозиметра очищались от механических и органических загрязнений путем промывки растворителями (бензин высокой очистки и эфир) и просушивались. Исследуемые жидкости отстаивались и фильтровались. После заполнения вискозиметра исследуемой жидкостью при различных фиксированных угловых скоростях вращения внешнего цилиндра (в диапазоне $= 10^{2} \div 10^{4}$ рад/с) проводились измерения угла поворота φ внутреннего цилиндра. Разброс отсчетов угла в пределах серии измерений был ~ 1%, однако, воспроизводимость последовательных серий достигала 10%, что связано, по-видимому, с возможным попаданием в зазор отдельных частиц твердых примесей. Режимы течения во всех проведенных опытах были ламинарными (Re << 1). «Объемная» вязкость исследовавшихся жидкостей измерялась стандартными капиллярными вискозиметрами.

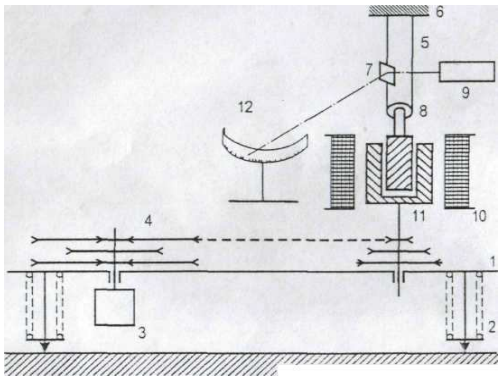


Рисунок 34.6 - Схема ротационного вискозиметра.

Исследование было организовано на применении масла CAE 30. Масло отработало 950 часов в циркуляционной системе двигателя 64A25/34. Масло было

исследовано и установлено, что на стальной поверхности образуется сравнительно толстый ЭЖК слой. Результаты измерения вязкости приведены на рисунке 34.7. На последнем этапе исследований в масло был введён 1 % алиинновой кислоты, результаты измерения вязкости приведены рисунке 34.8. Толщина слоя между цилиндрами – втулка и игла форсунки составляла D = 13.1мкм.

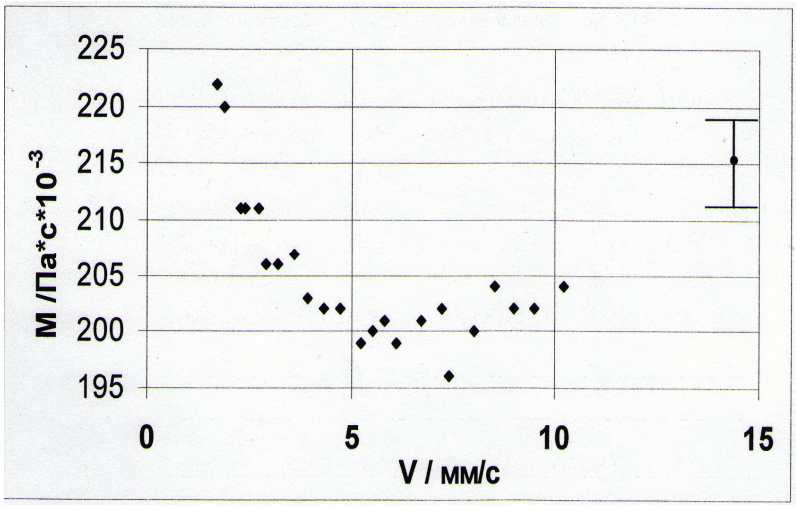


Рисунок 34.7 - Зависимость вязкости от средней скорости течения масла: CAE-30 между цилиндрами в ротационном вискози-метре.

На рисунке 34.7 мы наблюдаем, что вязкость препарата падает со скоростью и примерно при величине скорости 5 мм/с становится равной вязкости изотропной жидкости, что свидетельствует о структурированности приповерхностного слоя.

По аналогии с приведенной теоретической моделью обработки данных в работе с капиллярным вискозиметром, рисунок 34.8, была рассмотрена простейшая гидродинамическая модель «жесткого срезаемого слоя».

То есть, вязкость приграничного слоя равна бесконечности и эти слои срезаются.

Введем 51=2, 54=1, 53= r

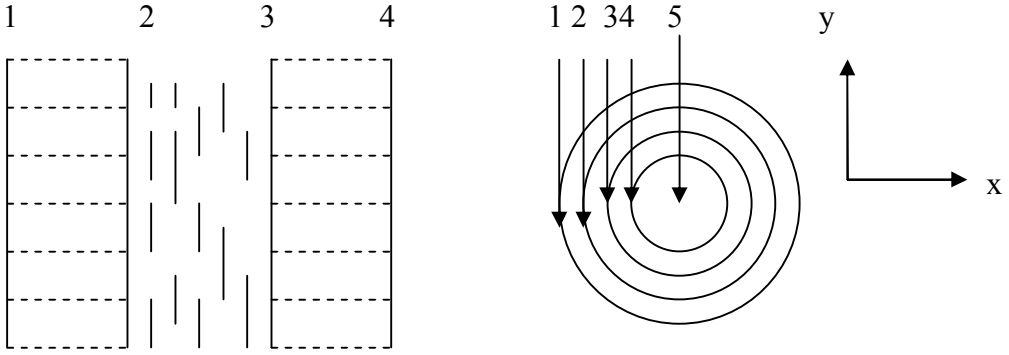


Рисунок 34.8 – Модель «жесткого срезаемого слоя»

Модель:
В полярных координатах, (рад/с):

$$x = r \cos \omega t \qquad\qquad y = r \sin \omega t$$
$$\omega = v / r$$

Найдем компоненты скорости, (рад/с):

$$V_x = -r\,\omega \sin \omega t = -\,\omega y$$
$$V_y = r\,\omega \cos \omega t = \omega x$$

Напряжение сдвига

$$S_{x \cdot y} = \eta \cdot \left(\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_x}{\partial y} \right); \text{(МПа·с/рад)}$$

Подставим скорости:

$$S_{xy} = \eta \left[\frac{\partial}{\partial x}(x\omega) - \frac{\partial}{\partial y}(y\omega) \right] = \eta \left[x \frac{\partial \omega}{\partial x} - y \frac{\partial \omega}{\partial y} \right]$$

для y = 0

$$y \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right) = 0$$
$$x \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right) = r \left(\frac{d\omega}{dr} \right)$$
$$\left(S_{xy} \right)_{y=0} = \eta r \frac{d\omega}{dr}$$

найдем момент сил (МПа·с/мкм·рад):

$$M = 2\pi r^2 l \left(S_{xy} \right)_{y=0} = 2\pi r^3 \frac{d\omega}{dr}$$
$$r^3 \left(\frac{d\omega}{dr} \right) = A$$
$$\frac{d\omega}{dr} = \frac{A}{r^3}$$
$$\omega = -\frac{A}{2r^2} + B$$
$$A = \frac{2R_1^{\,2} R_2^{\,2}}{R_2^{\,2} - R_1^{\,2}} (\omega_2 - \omega_1) \qquad\qquad B = \frac{R_2 \omega_2 - R_1 \omega_1}{R_2 - R_1}$$
$$M = \frac{4\pi l R_1^{\,2} R_2^{\,2}}{R_2 - R_1} (\omega_2 - \omega_1)$$

$$M = \frac{4\pi l \omega}{\frac{R^3}{2h+d} + (\eta - 1)\left(\frac{1}{R_1^{\ 2} - R_2^{\ 2}}\right)}$$

Получим для момента

$$M = 4\pi R^2 l \frac{\upsilon}{D} \eta_{ef} = 4\pi R^2 l \eta \frac{\upsilon}{h} \eta_0$$

$$h = \frac{\eta_0}{\eta_{ef}(\upsilon)} D$$

$$D = 2d + h \qquad\qquad h = D - 2d$$

$$h\eta_{tf} = \eta_0 (2d + h)$$

$$\frac{h\eta_{tf} - \eta_0}{2\eta_0} = d$$

$$d = \frac{h}{2}\left(\frac{\eta_{ef}}{\eta_0} - 1\right)$$

$$D - 2d = \frac{\eta_0}{\eta_{ef}} D$$

$$d = \frac{D}{2}\left(1 - \frac{\eta_0}{\eta_{ef}(\upsilon)}\right)$$

где D - толщина приповерхностного слоя (мкм).

Используя эту модель можем построить графики зависимость толщины приповерхностного слоя от скорости течения масла.

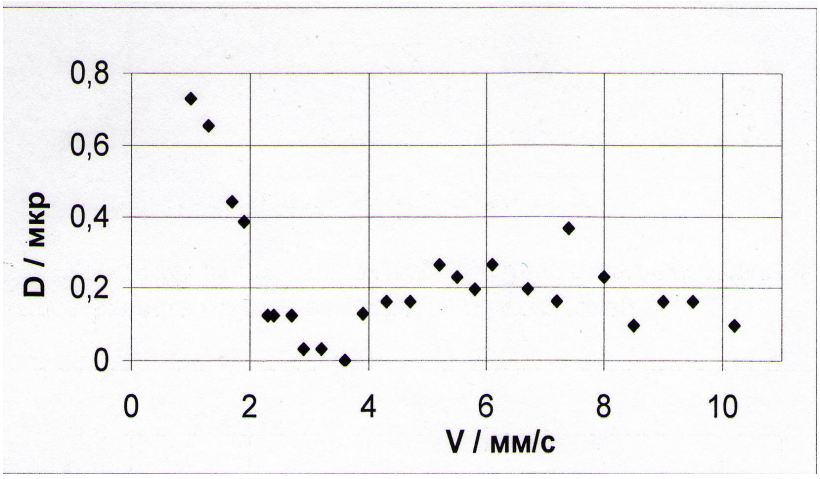


Рисунок 34.9 - Зависимость толщины приповерхностного слоя от скорости течения препарата.

На рисунке 34.9 мы видим, что со скоростью приповерхностный слой разрушается и при скорости примерно 5 мм/с он фактически разрушается полностью.

По аналогии проведем расчеты для масла САЕ-30 с добавкой 1% олеиновой кислоты, получим

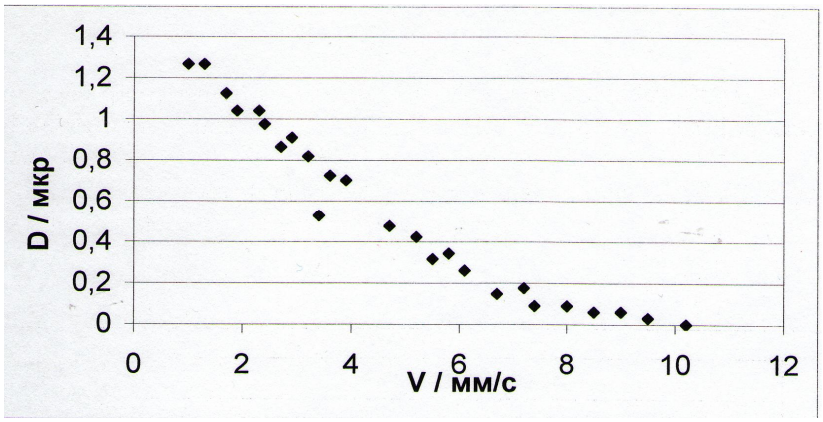


Рисунок 34.10 - Зависимость вязкости от средней скорости течения масла САЕ-30 с добавкой ПАВ между цилиндрами в ротационном вискозиметре.

Применим модель "жесткого слоя", получим:

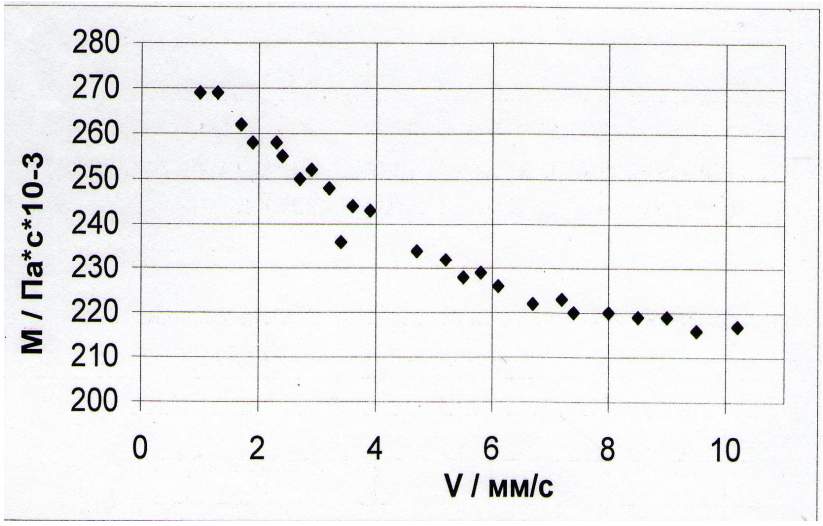


Рисунок 34.11 - Зависимость толщины приповерхностного слоя от скорости течения препарата с добавкой ПАВ.

На рисунке 34.10 мы видим, что величина коэффициента вязкости масла уменьшается с ростом скорости сдвиговой деформации более плавно, что связано, с повышение прочности структуры слоя при введении ПАВ. Заметим, что скорость, при которой величина вязкости препарата становится равной вязкости изотропной жидкости, т.е. соответствующая скорости полного разрушения структурированной прослойки более чем вдвое выше, чем для масла САЕ без добавления ПАВ (рисунок 34.7).

Зависимость на рисунке 34.11 говорит о повышении прочности структуры слоя при введении в масло ПАВ.

Механизм действия ПАВ можно представить следующим образом. Молекулы олеиновой кислоты, концентрируясь на межфазной границе раздела масло-металл, образуют мономолекулярный гомеотропно ориентационно упорядоченный слой. Этот слой, являясь ориентантом для эпитропной ЖК фазы масла, способствует повышению дальнейшего ориентационного параметра порядка ЭЖК — одного из параметров, определяющего «гидродинамическую прочность» структурированного слоя.

Выводы

1 Из ранее проведенных исследований ЭЖК слоев, следует, что такие структурно чувствительные свойства этих объектов как их вязкость, толщина, и зависимость этих свойств от скорости течения, температуры влияния ПАВ не достаточно изучена.

2 Для установление свойств собственных эпитропных жидко-кристаллических слоев необходимо использование гидродинамических моделей.

3 Проведены исследования реологических свойств моторного масла САЕ-30, на ротационном вискозиметре, при различных скоростях и температурах.

4 В рамках модели ЭЖК слоя «жестко срезаемый слой» рассчитали толщину ЭЖК слоя САЕ-30 и ее изменение со скоростью течения. С ростом скорости течения ЭЖК слой утончается и при скорости 5 мм/с этот слой разрушается. Получены зависимости. Приведены параметры толщины со скоростью и приведены аппроксимирующие параметры.

Получены зависимости коррелирующие с результатами полученных для подобного смазывающего материала в щелевом вискозиметре.

В вискозиметре исследовалось масло легированое ПАВ, установлено влияние такой присадки на структурные свойства.

Введение в качестве ПАВ олеиновой кислоты 1% , приводит к упрочнению ЭЖК слоя: повышению его толщины и разрушается при скорости 10 мкм/с.

Такое влияние ПАВ может быть практически применено для уменьшения износа сопрягаемых поверхностей при трении и для научного обоснованного подбора масла в конкретных режимных условиях эксплуатации узлов машин.

3 Перечень лабораторных работ раздела 6:

Раздел 6 Измерение вязкости жидкостей

Лабораторная работа № 34 Вискозиметры

4 Раздел 7 Измерение электрических величин

Будет полезным напомнить из международной системы единиц физических величин понятие «Силы электрического тока» - «Ампер» - А – обозначение. «АМПЕР – сила постоянного электрического тока, проходящего по двум прямолинейным параллельным проводникам бесконечной длины с ничтожно малой площадью поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии одного метра один от другого, и создающего между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н/м – ньютона на метр длины (МКМВ, 1946 г., Резолюция 2, принятая 9-й ГКМВ, 1948 г.)». «АМПЕР» - это довольно большая величина электрического тока поэтому в практике измерения постоянных токов применяются дольные его значения - «Милли» - 10^{-3} и «Микро» - 10^{-6}, а приборы называются, соответственно, - миллиамперметр и микроамперметр.

Единицы электромагнитных величин в системе СИ.

Таблица 7.1

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через единицы СИ	Обозначение единицы	
			русское	международное
Электрические величины				
Сила эл. тока	ампер	А	А	А
Количество электричества, заряд	кулон	А·с = Кл	Кл	С
Электрический потенциал, ЭДС, напряжение	вольт	кг ·м^2/(А·с^3)=В	В	V
Напряженность электрического поля	вольт на метр	кг ·м/(А·с^3)=В/м	В/м	V/mм
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	фарад на метр	А^2·с^2/(кг ·м^3)	Ф/м	F/m
Электрический момент диполя	кулон-метр	А·с·м = Кл·м	Кл м	C m
Электрическое смещение	кулон на кв. метр	А·с/м^2 = Кл / м^2	Кл/м^2	C/m^2
Поляризован-ность	кулон на кв. метр	А·с/м^2 = Кл / м^2	Кл/м^2	C/m^2
Электрическая емкость	фарад	А^2·с^4/(кг ·м^2) = с/Ом	Ф	F
Плотность тока	Ампер на кв. метр	А/м^2	А/м^2	A/m^2

7.1 Эталоны единиц электрических величин

Средства измерения, предназначенные для воспроизведения и хранения единиц измерений, для поверки и градуировки мер и измерительных приборов, делятся на эталоны и образцовые средства измерения.

Эталон — средство измерения (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера другим средствам измерений. Эталоны специально классифицируют в зависимости от метрологического назначения (рисунок 7.1). Это назначение установлено документами ГОСТ 8.057—80 и предполагает оснащение метрологической службы первичными, специальными, государственными и вторичными эталонами.

Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью.

Специальный эталон служит для воспроизведения единицы в условиях, в которых первичный эталон не может использоваться и прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима (например, на высоких и сверхвысоких частотах, в начале и конце участков диапазонов измерений и т.д.).

Первичные и специальные эталоны являются исходными для страны, их утверждают в качестве ***государственных.***

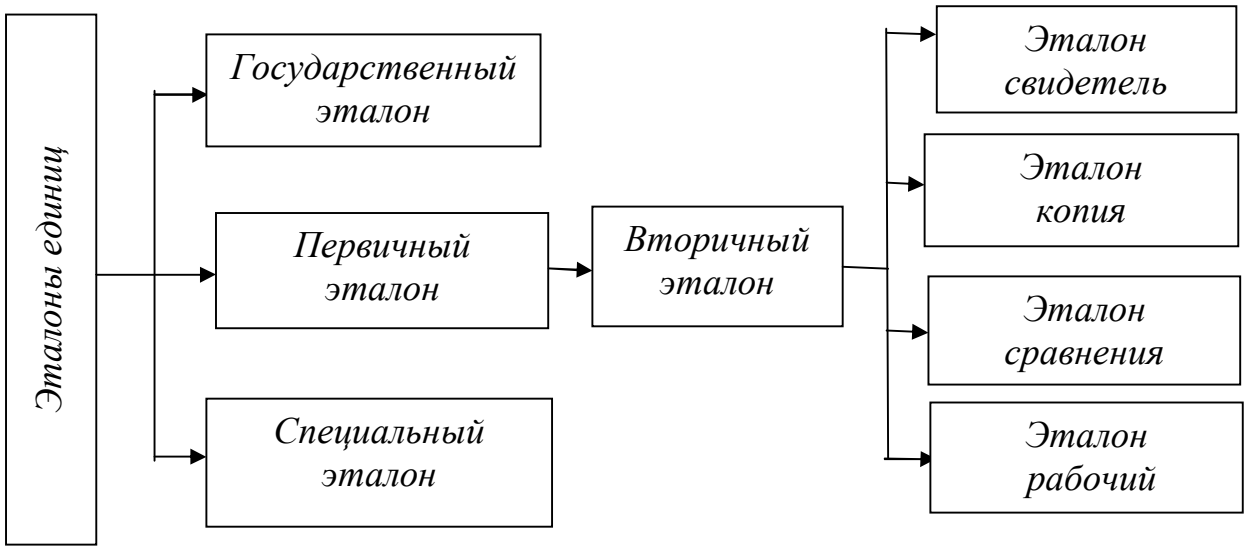


Рисунок 7.1 Классификация эталонов

Все эталоны характеризуются неисключенной систематической погрешностью воспроизведения соответствующей единицы и относительным среднеквадратическим отклонением (рассмотрены в следующих разделах) результата измерения размера этой единицы. Первая величина показывает точность эталона по отношению к принятому определению единицы и важна как для обеспечения правильности измерений, так и для их единства в международном масштабе. Вторая характеризует воспроизводимость эталоном размера единицы и является важнейшей характеристикой обеспечения единства измерений в стране.

Вторичный эталон - эталон, значение которого устанавливается по первичному эталону и он занимает подчиненное положение. Вторичные эталоны, в свою очередь, подразделяются на эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

Эталон-копия предназначен для передачи размера единицы рабочим эталонам. Благодаря этому первичный эталон разгружается от текущих работ по передаче размера единицы, что повышает срок его службы.

Эталон сравнения применяется для взаимного *сличения* эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сравнивать друг с другом (например, международные сличения эталонов).

Рабочие эталоны являются наиболее распространенной категорией вторичных эталонов, и они предназначены для поверки образцовых и наиболее точных рабочих средств измерений. Отметим, что рабочими называют такие средства, которые применяются для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

На схеме рисунке 7.2 показана метрологическая последовательность передачи размеров единиц от первичного эталона рабочим, затем от рабочих эталонов - образцовым средствам измерений различных разрядов и далее рабочим мерам и измерительным приборам, т.е. рабочим средствам измерений.

Совокупность всех перечисленных эталонов образует эталонную базу Российской Федерации. Рассмотрим в качестве примеров государственные эталоны единиц наиболее распространенных электрических величин.

В соответствии с требованиями ГСИ и СИ результаты измерений (в том числе и радиоизмерений) должны выражаться в единицах величин, допущенных к применению документами ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин». Согласно этому стандарту основной единицей электрических величин является единица силы тока - ампер (А). Производными от ампера единицами электрических величин являются:

- единица электродвижущей силы (ЭДС) и электрического напряжения - вольт (В);
- единицы частоты - герц (Гц);
- единицы электрического сопротивления - ом (Ом);
- единицы индуктивности и взаимной индуктивности двух катушек - генри (Гн);
- единицы электрической ёмкости - фарад (Ф).

Все перечисленные единицы воспроизводятся и хранятся посредством Государственных первичных эталонов.

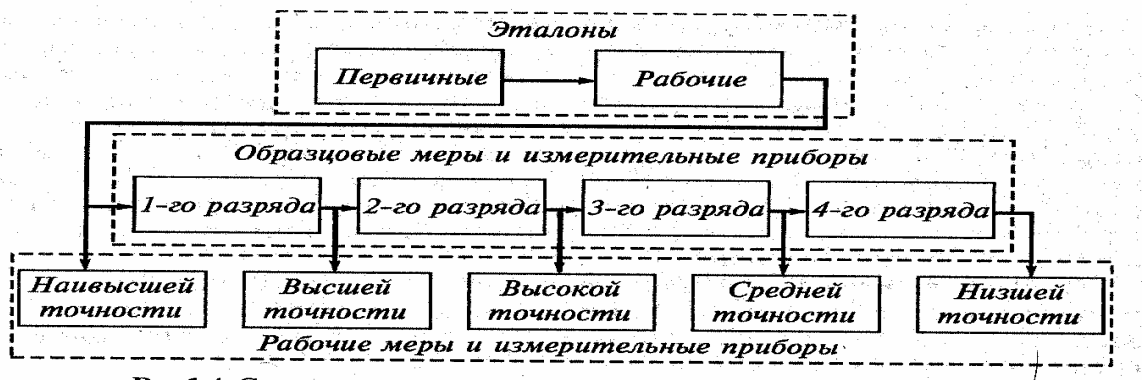


Рисунок 7.2 Структура передачи размеров единиц физических (измеримых) величин

7.1.1 Эталон единицы силы электрического тока

Государственный первичный эталон ампера (регламентируется ГОСТ 8.022-75) - это комплекс средств измерений, в состав которого входят токовые весы и мера электрического сопротивления, применяемая при передаче размера ампера (эталон сравнения). С помощью токовых весов реализуется закон взаимодействия электрических токов - закон Ампера, положенный в основу определения ампера. В токовых весах, представляющих собой рычажные равноплечие весы, с одной стороны на коромысло действует сила взаимодействия двух соленоидов, один из которых подвижен и подвешен к этому коромыслу, с другой стороны - гиря известной массы. При протекании по этим катушкам постоянного тока возникает сила их взаимодействия, которая уравновешивается силой тяжести (например, массой гири).

Итак, при равновесии весов сила тока определяется массой гири, ускорением ее свободного падения в месте расположения весов, постоянной электродинамической системы (соленоидов), которая зависит от формы и размеров соленоидов, диаметра сечения провода соленоида, значения относительной магнитной проницаемости среды и т.п., т.е. ампер воспроизводится через основные единицы - метр, секунду, килограмм. Эталон ампера воспроизводит значение силы постоянного электрического тока и обеспечивает передачу размера ампера в диапазоне 10^{-12} ... 30 А с относительным среднеквадратическим отклонением результата измерений не более $4\cdot10^{-6}$ при относительной систематической погрешности, не превышающей $8\cdot10^{-6}$.

Для воспроизведения и хранения единицы силы переменного тока разработаны и утверждены два государственных специальных эталона.

Государственный эталон силы переменного тока для диапазона частот 40...10^5 Гц и значений токов 0,01... 10 А (ГОСТ 8.183-76) состоит из набора компарирующих (от слова ***компаратор*** - сравнивающее устройство) термоэлектрических преобразователей, потенциометров постоянного тока, меры электродвижущей силы (нормального элемента), набора мер электрического сопротивления и стабилизированных источников постоянного и переменного токов. Данный эталон воспроизводит единицу силы тока с относительным среднеквадратическим отклонением не более 10^{-4} при относительной систематической погрешности, не превышающей $2\text{-}10^{-4}$.

Государственный эталон силы переменного тока для диапазона частот 0,1...300 МГц и значений токов 3...100 А (ГОСТ 8.132-74) включает электродинамический амперметр с двумя коаксиальными измерительными секциями, фотоэлектрический компаратор и измерительный трансформатор. Воспроизведение ампера осуществляется с относительным среднеквадратическим отклонением не более $5\cdot10^{-4}$ при относительной систематической погрешности, не превышающей $8{,}5\cdot10^{-4}$ (среднеквадра-тическое отклонение и относительная систематическая погрешность введены и рассмотрены во введении).

7.1. 2 Эталон единицы электродвижущей силы и напряжения

Государственный первичный эталон вольта

(регламентирован ГОСТ 8.027-81) состоит из меры напряжения на основе эффекта Джозефсона (возникновение напряжения между двумя разделенными

тонким слоем диэлектрика сверхпроводниками, помещенными в высокочастотное электромагнитное поле), группы нормальных элементов и компараторов для сличения нормальных элементов между собой и с мерой напряжения. В состав вспомогательного оборудования входит комплект, состоящий из компьютера и устройств контроля температуры нормальных элементов, автоматической регистрации результатов измерений и контроля вольт-амперных характеристик переходов Джозефсона. Таким образом, эталон базируется на стабильном эффекте Джозефсона и воспроизводит вольт абсолютным методом. Нормальные элементы, помещенные в термостат, обеспечивают хранение этой единицы. Первичный эталон вольта обеспечивает воспроизведение единицы ЭДС и электрического напряжения с относительным среднеквадратическим отклонением не более $5 \cdot 10^{-8}$ при относительной систематической погрешности, не превышающей 10^{-6}. Для воспроизведения и хранения единицы напряжения переменного тока разработаны и утверждены два государственных специальных эталона.

Государственный первичный эталон напряжения переменного тока для значений 0,1 ...10 В в диапазоне частот 20...310^{7} **Гц** (ГОСТ 8.184-76) состоит из двух наборов термоэлектрических преобразователей напряжений, потенциометров постоянного тока, меры ЭДС, делителя напряжения и стабилизированных источников постоянного и переменного токов. Эталон воспроизводит единицу напряжения с относительным среднеквадратическим отклонением не более $5 \cdot 10^{-5}$ при относительной систематической погрешности, не превышающей $8 \cdot 10^{-4}$.

Эталон напряжения переменного тока для значений 0,1... 1 В в диапазоне частот 30.. .310^{3}МГц (ГОСТ 8.072-82) включает в себя устройство формирования переменного напряжения, набор болометрических (терморезисторных) преобразователей постоянного и переменного напряжения, терморезисторный мост с автоматическим уравновешиванием, вольтметры, используемые в качестве компараторов переменного напряжения. Эталон воспроизводит единицу напряжения с относительным среднеквадратическим отклонением не более $5 \cdot 10^{3}$ при относительной аналитической погрешности, не превышающей $2 \cdot 10^{2}$.

7.1.3 Эталон единиц времени и частоты

Единица времени - секунда (с) входит в число основных единиц СИ, а единица частоты - герц (Гц) - в число производных единиц. Если обозначить частоту гармонических колебаний - f, а их период T, то $f = 1/T$(1/с).

Государственный первичный эталон времени и частоты (ГОСТ 8.129 – 83) включает комплекс следующих средств измерений:

- цезиевые меры частоты, предназначенные для воспроизведения размеров единиц времени и частоты;
- водородные меры частоты, предназначенных для хранения размеров единиц времени и частоты;
- группу квантовых часов, предназначенных для хранения шкал атомного и координированного времени России;
- аппаратуру для передачи размера единицы частоты в оптический диапазон, состоящую из группы синхронизированных лазеров и сверх

высокочастотных генераторов;

- аппаратуру для внутренних и внешних сличений, включающую перевозимые квантовые часы и лазеры;

- аппаратуру средств обеспечения (автоматическое программирование и коммутация, дистанционный контроль температуры термостатов и напряжения питания генераторов, прием, обработка и регистрация радиосигналов и т.д.).

Государственный первичный эталон времени обеспечивает воспроизведение значений интервалов времени $10^{-9}...10^{8}$ с в диапазоне частот $1...10^{14}$ Гц при среднеквадратическом отклонении не более $5\cdot10^{-14}$ и неисключенной систематической погрешности, не превышающей $2\cdot10^{-13}$. Нестабильность частоты эталона за интервалы времени измерений от 100 с до 24 часов не должна превышать $2\cdot10^{-14}$.

Таким образом, государственный первичный эталон времени и частоты - это сложный радиотехнический комплекс, обеспечивающий передачу размера единиц времени и частоты и шкал времени всем нижестоящим средствам измерений при помощи телевидения, радио и других каналов связи. Точность воспроизведения единиц времени и частоты является наивысшей по сравнению с другими единицами электрических величин, а передача их размера на любые расстояния не вызывает в настоящее время каких-либо технических затруднений. Это позволяет проектировать аппаратуру для частотно-временных измерений, обладающую высокой точностью.

7.1.4 Эталон единицы электрического сопротивления

Государственный первичный эталон ома (ГОСТ 8.028 – 75) обеспечивает воспроизведение единицы электрического сопротивления со среднеквадратическим отклонением, не превышающим 10^{-7} при систематической погрешности, не превышающей $5\cdot10^{-7}$. Единица электрического сопротивления - ом (Ом) входит в число производных единиц СИ. Эталон состоит из десяти манганиновых катушек сопротивления с номинальным значением 1 Ом и мостовой измерительной установки.

7.1.5 Эталон единицы электрической емкости.

Государственный первичный эталон электрической емкости (ГОСТ 8.371 – 80) представляет собой расчетный образцовый конденсатор, размещенный в вакуумном блоке, и емкостной мост, с помощью которого осуществляется передача размера единицы емкости на частоте 1 кГц.

Единица электрической емкости - фарад (Ф) (отметим, что часто используется термин - фарада) входит в число производных единиц СИ. Эталон обеспечивает воспроизведение фарада со среднеквадратическим отклонением, не превышающим

$2\cdot10^{-7}$ при систематической погрешности, не превышающей $5\cdot10^{-7}$.

Для воспроизведения единицы емкости в более высокочастотном диапазоне (1...100 МГц) разработан и утвержден ***государственный специальный эталон*** (ГОСТ 8.267—77). В состав эталона входят четыре коаксиальных конденсатора и высокочастотный компаратор емкости мостового типа. Номинальное значение емкости воспроизводится эталоном со среднеквадратическим отклонением, не превышающим $3\cdot10^{-5}$ при систематической погрешности, не превышающей 10^{-4}.

7.1. 6 Эталон единицы индуктивности

Государственный первичный эталон единицы индуктивности

(ГОСТ 8.029-80) состоит из четырех тороидальных катушек индуктивностей и моста, с помощью которого осуществляется передача размера единицы индуктивности - генри (Гн) - на частоте 1 кГц со среднеквадратическим отклонением, не превышающим 10^{-6} при систематической погрешности, не превышающей $5 \cdot 10^{-6}$.

7.2 Измерение напряжения и силы тока. Общие сведения.

Измерение напряжения и силы тока наиболее часто применяют в практике метрологии, электроизмерениях и радиоизмерениях. При этом в телекоммуникационных системах преобладающее значение имеет измерение напряжения, так как чаще всего этой величиной принято характеризовать режимы работы различных электротехнических и радиотехнических цепей и устройств. К тому же параллельный метод подключения вольтметра к участку цепи, как правило, не приводит к нарушению электрических процессов в ней, поскольку его входное сопротивление выбирается достаточно большим значением. При измерениях же тока приходится размыкать исследуемую цепь и в ее разрыв последовательно включать амперметр, внутреннее сопротивление которого отлично от нуля. Однако в ряде случаев необходимы прямые или косвенные измерения силы тока, поэтому вопросы измерения напряжения и силы тока рассматриваются совместно.

Измерение постоянных напряжения и силы тока заключается в нахождении их значения (величины) и полярности. Целью измерения переменных напряжения и силы тока является определение какого-либо их параметра.

Поскольку напряжение и ток связаны прямопропорциональной зависимостью, чаще проводят измерение напряжения и по его значению аналитически вычисляют силу тока.

Напряжение между точками ***A*** и ***B*** есть скалярная величина, определяемая выражением

$$u_{AB} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}; \qquad (7.1)$$

где $\vec{E}$ - напряженность электрического поля; $\vec{l}$ - расстояние между точками.

В настоящее время метрологическая техника позволяет измерять напряжения в диапазоне 10^{-10}...106 В и токи в диапазоне 10^{-18}...10^{5} А. Вместе с тем данные измерения должны осуществляться в очень широкой] полосе частот - от постоянного тока и инфранизких частот (сотые доли герца) до сверхвысоких частот (1 ГГц и более). Поэтому такие крайние значения величин требуют уникальных методов измерения и в этом учебнике не изучаются. Как уже отмечалось, приборы, измеряющие параметры сигналов с частотами до 10^{4} Гц, являются низкочастотными, до 10^{8} - высокочастотными, свыше - диапазон сверхвысоких частот, требующий специальных измерительных методов. Измерение параметров напряжения переменного тока - довольно сложная метрологическая задача, связанная с обеспечением требуемого частотного диапазона и учетом формы кривой

измеряемого сигнала. Переменное напряжение характеризуется несколькими параметрами, и его уровень может быть определен по ***амплитудному, действующему (среднеквадратическому, эффективному)*** или ***средневыпрямленному*** (постоянному) значению. Напомним некоторые характеристики и параметры напряжения переменного тока.

Мгновенные значения напряжения u(t) наблюдают на осциллографе или экране любого другого устройства (рисунок 7.3) и определяют для каждого момента времени.

Амплитуда (высота; устаревший термин - ***пиковое значение)*** U_m - наибольшее мгновенное значение напряжения за время наблюдения, или за период.

Измеряемые напряжения могут иметь различный вид, например, форму импульсов, гармонического или негармонических колебаний - суммы синусоиды с постоянной составляющей и т.д. (рисунок 7.3, *а, б, в).* При разнополярных несимметричных кривых напряжения различают два амплитудных

значения (рисунок 7.3, *г*): положительное и отрицательное: U_m^+ и U_m^-.

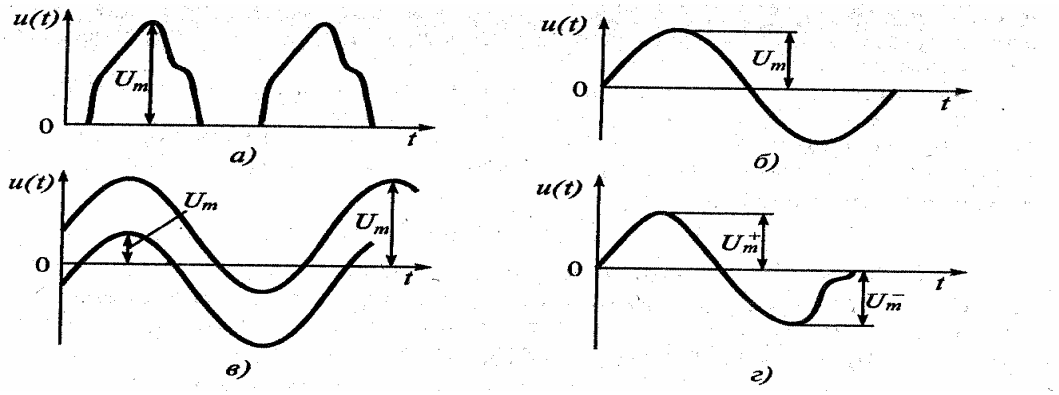


Рисунок 7.3 Иллюстрация к понятию амплитуда напряжения:

а) - импульсы положительной полярности; б) - синусоидальное напряжение;

в) - сумма синусоиды и постоянной составляющей; г) - несинусоидальное колебание.

Действующее (среднеквадратическое) напряжение определяется как корень квадратный из среднего квадрата мгновенного значения напряжения за время измерения (или за период):

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)dt}; \qquad (7.2)$$

При несинусоидальном периодическом сигнале квадрат действующего значения равен сумме квадратов постоянной составляющей и действующих значений гармоник:

$$U^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \cdots; \qquad (7.3)$$

Среднее значение напряжения равно среднему арифметическому всех мгновенных значений за период:

$$U_{ńđ.} = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)dt; \qquad (7.4)$$

Средневыпрямленное (постоянная составляющая) напряжение определяется как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период:

$$U_{ńđ.â} = \frac{1}{T}\int_0^T |u(t)|dt; \qquad (7.5)$$

Для напряжения одной полярности среднее и средневыпрямленное значения равны. В случае разнополярных напряжений эти два значения могут существенно отличаться друг от друга. Так, для гармонического напряжения $U_{ńđ.} = 0;$, $U_{ńđ.â} = 0,637\,U_m;$

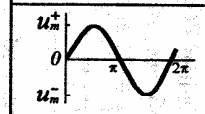
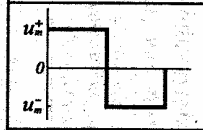
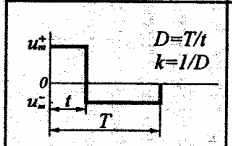
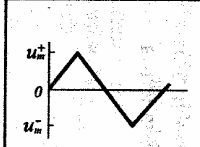
Наибольшая потребность существует в измерении действующего значения напряжения, так как этот параметр связан с мощностью, нагревом, потерями. Часто же проще измерить амплитудное или средневыпрямленное значение и произвести пересчет с применением коэффициентов амплитуды $\boldsymbol{K_a}$ и формы $\mathbf{K_ф}$:

$$K_ŕ = Um/U;\ K = U/U_{ńđ.â}; \qquad (7.6)$$

В частности, для гармонического напряжения: $\boldsymbol{K_a} = 1,41$; $\boldsymbol{K_ф} = 1,11$.

Значения этих коэффициентов для наиболее употребляемых видов сигналов и соотношения между ними приведены в таблице 7.2, где все величины напряжений обозначены буквой ***u.***

Таблица 7.2

Форма сигнала	Параметры сигнала				
	амплитуда u_m	средневыпрямленное значение $u_{ср.в} = \frac{1}{T}\int_0^T \lvert u_x \rvert dt$	среднеквадратическое значение $u = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u_x^2 dt}$	коэффициент формы $K_ф = \frac{u}{u_{ср.в}}$	коэффициент амплитуды $K_а = \frac{u_m}{u}$
	$u_m^+ = u_m^-$	$\frac{2}{\pi}u_m = 0,637u_m$	$0,707\,u_m$	$\frac{0,707u_m}{0,637u_m} = 1,11$	$\frac{u_m}{0,707u_m} = 1,414$
	$u_m^+ = u_m^-$	u_m	u_m	1	1
	$u_m^+ = u_{m1}$ $u_m^- = -u_{m2}$ $u_m^+ + u_m^- = u_{m-m}$	$2\frac{(D-1)}{D^2}u_{m-m}$ или $2k(1-k)u_{m-m}$	$\sqrt{\frac{1}{D}\left(1-\frac{1}{D}\right)}u_{m-m}$ или $\sqrt{k(1-k)}u_{m-m}$	$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{k(1-k)}}$	$\sqrt{D-1}$ или $\sqrt{\frac{1-k}{k}}$
	$u_m^+ = u_m^-$	$\frac{u_m}{2} = 0,5u_m$	$\frac{1}{\sqrt{3}}u_m = 0,577u_m$	$\frac{0,577u_m}{0,5u_m} = 1,155$	$\frac{u_m}{0,577u_m} = 1,733$

7.4 Классификация приборов, измеряющих напряжение и силу тока

Измерение напряжения или силы тока может осуществляться приборами непосредственной оценки или приборами, использующими метод сравнения (компенсаторами). По структурным схемам все приборы, измеряющие напряжение и силу тока, могут быть разделены на следующие виды:

- электромеханические;
- электронные аналоговые;
- электронные цифровые.

Электромеханические приборы.

Электромеханические приборы непосредственной оценки измеряемой величины представляют широкий класс приборов аналогового типа, обладающих рядом положительных свойств: просты по устройству и в эксплуатации, обладают высокой надежностью и на переменном токе реагируют на действующее значение сигнала. Последнее обстоятельство позволяет производить измерение наиболее информативного параметра сигнала без методических ошибок. Электромеханические измерительные приборы строятся по обобщенной структурной схеме, представленной на рисунке 7.4.

Измерительная схема осуществляет количественное или качественное преобразование входной величины x в электрическую величину x , на которую реагирует измерительный механизм. Последний, в свою очередь, преобразует электрическую величину x' в механическое угловое или линейное перемещение а, значение которого отражается по шкале отсчетного устройства, проградуированной в единицах измеряемой величины $N(x)$.

Классификация электромеханических приборов производится по типу измерительного механизма. Наиболее распространенными в практике электротехнических и радиотехнических измерений являются следующие системы: ***магнитоэлектрическая, электромагнитная, электродинамическая, электростатическая.*** Условное обозначение типа измерительной системы наносится на шкале прибора. Данные системы представлены в сводной таблице 7.3, в которой приведены также формулы передаточной функции (уравнения шкалы) измерительного механизма и некоторые его технические характеристики.

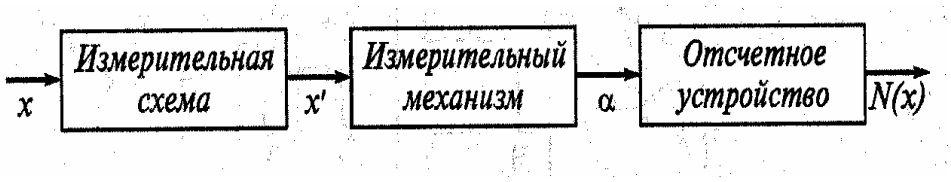


Рисунок 7.4 Структурная схема электромеханического прибора

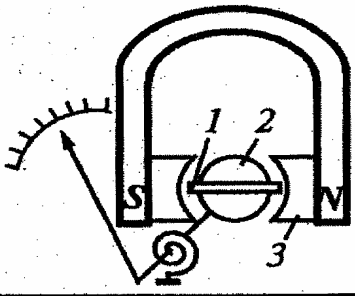
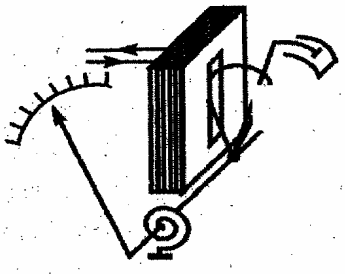
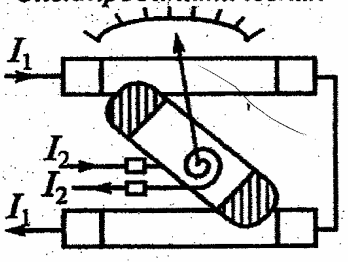
В дополнение к таблице 7.3 необходимо сделать следующие пояснения.

Магнитоэлектрическая система - измерительный механизм состоит из проволочной рамки с протекающим в ней током измерительной функции входной величины, которая помещена в поле постоянного магнита (магнитопровода). Поле в зазоре, где находится рамка, сделано равномерным за счёт особой конфигурации магнитопровода. Под воздействием тока ***I*** рамка вращается в магнитном поле, угол

поворота α ограничивается специальной пружиной, в результате чего передаточная функция оказывается линейной:

$$\alpha = \frac{\psi_0}{W}; \qquad (7.7)$$

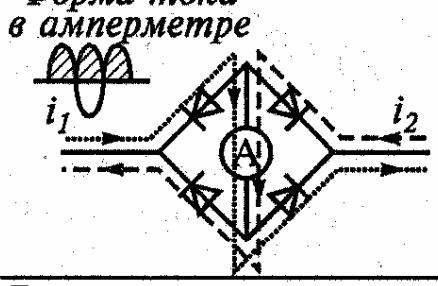
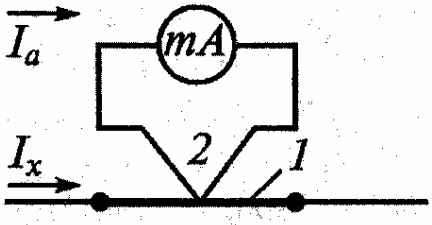
Таблица 7.3 Электромеханическая группа приборов.

Наименование системы, функциональная схема	Уравнение шкалы, применение	Частотный диапазон, потребление, класс точности
Магнитоэлектрическая: *1* – рамка с измеряемым током, *2* – неподвижный сердечник, *3* – полюсные наконечники  	$\alpha = I\frac{\psi_0}{W}$, где $\psi_0 = BS\omega$; B – индукция в зазоре; S – площадь рамки; ω – число витков рамки; W – удельный противодействующий момент, создаваемый пружинкой Переносные, лабораторные, многопредельные амперметры, вольтметры постоянного тока	Постоянный ток Класс точности 0,05...0,5 $P_{соб} \approx 10^{-5}...10^{-4}$ Вт
Электромагнитная 	$\alpha = \frac{1}{2W} I_\partial^2 \frac{dL}{d\alpha}$, где $I_\partial^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt$; L – индуктивность катушки Щитовые и лабораторные переносные низкочастотные амперметры, вольтметры	$F = 0...5$ кГц Класс точности 0,5...2,5 $P_{соб} \approx 1...6$ Вт
Электродинамическая  	$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \cos\theta \frac{dM}{d\alpha}$, где θ – угол между токами; M – коэффициент взаимной индуктивности катушек Лабораторные приборы низкочастотные высокого класса точности	$F = 0...5$ кГц Класс точности 0,1...0,2 $P_{соб} = 1$ Вт
Электростатическая 	$\alpha = \frac{1}{2W} U_\partial^2 \frac{dc}{d\alpha}$, где $U_\partial^2 = \frac{1}{T}\int_0^T u^2 dt$ Высокочастотные лабораторные и высоковольтные вольтметры	$F = 0...30$ МГц Класс точности 0,5...1,5 $P_{соб} < 1$ мВт

Магнитоэлектрические приборы с преобразователями переменного тока в постоянный ток

Описанные выше приборы не решают многих проблем, возникающих при измерении на переменном токе: электромагнитный и электродинамический - низкочастотны, электростатический обладает низкой чувствительностью. Применение магнитоэлектрического механизма в сочетании с преобразователем позволяет существенно расширить возможности измерений на переменном токе. По типу преобразователя данные приборы делятся на выпрямительные и термоэлектрические. Описание свойств таких схем представлено в таблице 7.4.

Таблица 7.4 Магнитоэлектрическая система с преобразователями (выпрямительными приборами)

Наименование системы, функциональная схема	Уравнение шкалы, применение	Частотный диапазон, собственное потребление мощности, класс точности
Выпрямительная система *Форма тока в амперметре* 	$\alpha = \frac{\psi_0}{W} I_{ср.в}$, где $I_{ср.в} = \frac{1}{T}\int_0^T \lvert i \rvert dt$ Переносные многопредельные амперметры-вольтметры на постоянный и переменный ток	$F = 0...100$ кГц Класс точности 2,5...4 на переменном токе, 1,5 на постоянном токе $P_{соб} = 10^{-4}...10^{-3}$ Вт
Термоэлектрическая система *1* – нагреватель; *2* – термопара 	$\alpha = A \cdot I_\partial^2$, где $I_\partial^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt$ *A* – коэффициент, учитывающий параметры нагревателя термопары и прибора Амперметры на повышенную частоту	$F = 0...5$ МГц Класс точности 1,5...4,0 $P_{соб} = 0{,}01...1$ Вт

Таким образом, рассматривая приборы и средства измерений по областям измерений, т. е., по разделам настоящего учебного пособия, приходится сталкиваться с проблемой наслоения терминологических понятий из одного раздела в другой и обратно, связанных с колебаниями, частотой колебаний, механических и электрических, радиоэлектронных видов воздействия и определения величин. Как разделить по разделам эти наслоения? Скорее всего, необходимо признать необходимость перетекания этих понятий из раздела в раздел и выразить отсутствие строгой такой регламентации по областям измерений, касающихся разделов 7, 8, 9, 10. Следовательно, рекомендуется изучать эти разделы в своеобразном единстве, имея в виду теоретические предпосылки по упомянутым разделам.

Для организации лабораторных работ по разделу измерения электрических величин на кафедру МСиС ТФ ГОУ ОГУ приобретена лабораторная установка «Методы измерения электрических величин МСИ 3м», - паспорт МСИ 3м ПС от Министерства образования РФ ФГО ООО «ИНТОС+» заводской № 012 по ТУ 9.459 - 2004 дата изготовления и упакована для отправки в ГОУ ОГУ на кафедру МСиС ТФ 19.09 2008 года:

1 Назначение

Установка лабораторная «Методы измерения электрических величин МСИ 3м» (далее - установка) является частью учебно-лабораторного комплекса, которая используется для проведения лабораторных работ при изучении дисциплины «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для специальностей 200503 – Стандартизация и сертификация и 220501 – Управление качеством.

Установка позволяет обучаемым развить и закрепить навыки измерения наиболее распространенных электрических величин (сопротивлений, напряжений, силы тока), экспериментального определения и исключения систематической погрешности результатов измерения, снижения случайной составляющей погрешности.

Установка должна эксплуатироваться в помещениях при температуре воздуха от+ 10°Сдо + 35°С, относительной влажности воздуха до 80 % при 25° С.

2 Основные технические данные

Установка предназначена для формирования электрических величин (сопротивлений, напряжений, токов), и их измерения средствами измерения разной точности и различными методами («Метод непосредственной оценки», «Нулевой метод»).

2.1 Потребляемая мощность, ВА не более 10

2.2 Электропитание от сети переменного тока:

напряжением, В 220 ± 22

частотой, Гц 50 ± 0,4

2.3 Характеристики

2.3.1 «Метод непосредственной оценки»

2.3.1.1 Значения формируемых электрических величин в любом из положений от " 1 " до " 5 " переключателей " Измерение V, Q " и " Измерение тА " должны быть:

сопротивление, кОм от 1,8 до 41,8

напряжение (–), (~), В от 0,26 до 20,5

ток (–), мА от 0,57 до 12,0

2.3.1.2 Значения формируемых электрических величин в положении " S " переключателей " Измерение V, Q " и "Измерение тА " должны быть:

сопротивление, кОм от 9,0 до 209

напряжение (–), (~), В 24 ± 2,4

ток (–), мА от 2,8 до 46,1

2.3.2 «Нулевой метод»

Значение формируемых сопротивлений в любом из положений от " 1 " до " 3 "переключателя " R_x" должно быть, кОм от 0,13 до 8,4

2.3.3 Погрешность стрелочных миллиамперметра и вольтметра, % не более 4,0 (справ.)

2.3.4 Погрешность мультиметра в соответствии с требованиями его паспорта.

2.4 Габаритные размеры установки, мм

длина не более 540

ширина не более 280

высота не более 380

2.5 Масса установки, кг не более 8

2.6 Наработка до отказа, ч не менее 1000

2.7 Средний срок службы до списания, лет не менее 5

2.8 Сведения о содержании цветных металлов приведены в справочном приложении А.

3 КОМПЛЕКТНОСТЬ

Комплект поставки должен соответствовать обозначений в таблице 7.5

Таблица 7.5

Наименование и условное обозначений установки МСИ 3м	Количество	Примечание
Установка лабораторная «Методы измерения электрических величин МСИ 3м»	1 шт.	-
Паспорт (документация) на установку МСИ 3м	1 экз.	-
Мультиметр (документация - паспорт М 83)	1 экз.	-

4 Устройство и принцип работы установки

4.1 Установка представляет собой настольную конструкцию на передней панели которой нанесены электрические схемы элементов, характеристики которых измеряются, органы коммутации измеряемых электрических величин, средства индикации режимов работы, встроенный промышленный цифровой мультиметр, а также стрелочные миллиамперметр и вольтметр.

Вход мультиметра подключается к установке двумя перемычками с однополюсными вилками.

4.2 На задней панели корпуса установки размещены: клавишный выключатель «Сети», предохранитель и шнур сетевого питания.

4.3 На рисунке 7.5 приведено изображение передней панели установки с органами управления и индикации.

Обозначения на рисунке 7.5 соответствуют следующей аппликации:

1 - Переключатель измеряемых токов «мА»; 2 - Индикатор подключения точек измерения «А - Б» и включения схемы 1; 3 - Переключатель пределов измерения миллиамперметра; 4 - Переключатель вида напряжения; 5 - Стрелочный миллиамперметр; 6 - Индикатор подключения точек измерения «В - Г» и включения схемы 2; 7 - Стрелочный вольтметр; 8 - Переключатель пределов измерения вольтметра по виду напряжения; 9 - Резисторы балансировки измерительного моста схемы «4» R 1; 10 - Индикатор подключения точек измерения «Ж - З»; 11 - Индикатор включения схемы «4»; 12 - Резисторы балансировки измерительного моста схемы «4» R 3; 13 - Индикатор подключения точек измерения «Л - М»; 14 - Индикатор включения схемы «5»; 15 - Резисторы балансировки измерительного моста схемы «5» R 3; 16 - Индикатор подключения точек измерения «Н - О»; 17 - Цифровой мультиметр; 18 - Проводные перемычки; 19 - Переключатель выбора схем; 20 - Переключатель точек измерения мультиметром; 21 - Индикатор подключения точек измерения «П - Р»;

22 - Переключатель коммутации измерительных мостов схем «4» и «5»;

23 - Индикатор подключения точек измерения «И - К»; 24 - Переключатель измеряемых неизвестных сопротивлений «R_x»; 25 - Индикатор подключения точек измерения «Д - Е»; 26 - Переключатель измеряемых напряжений и сопротивлений «V - Ω».

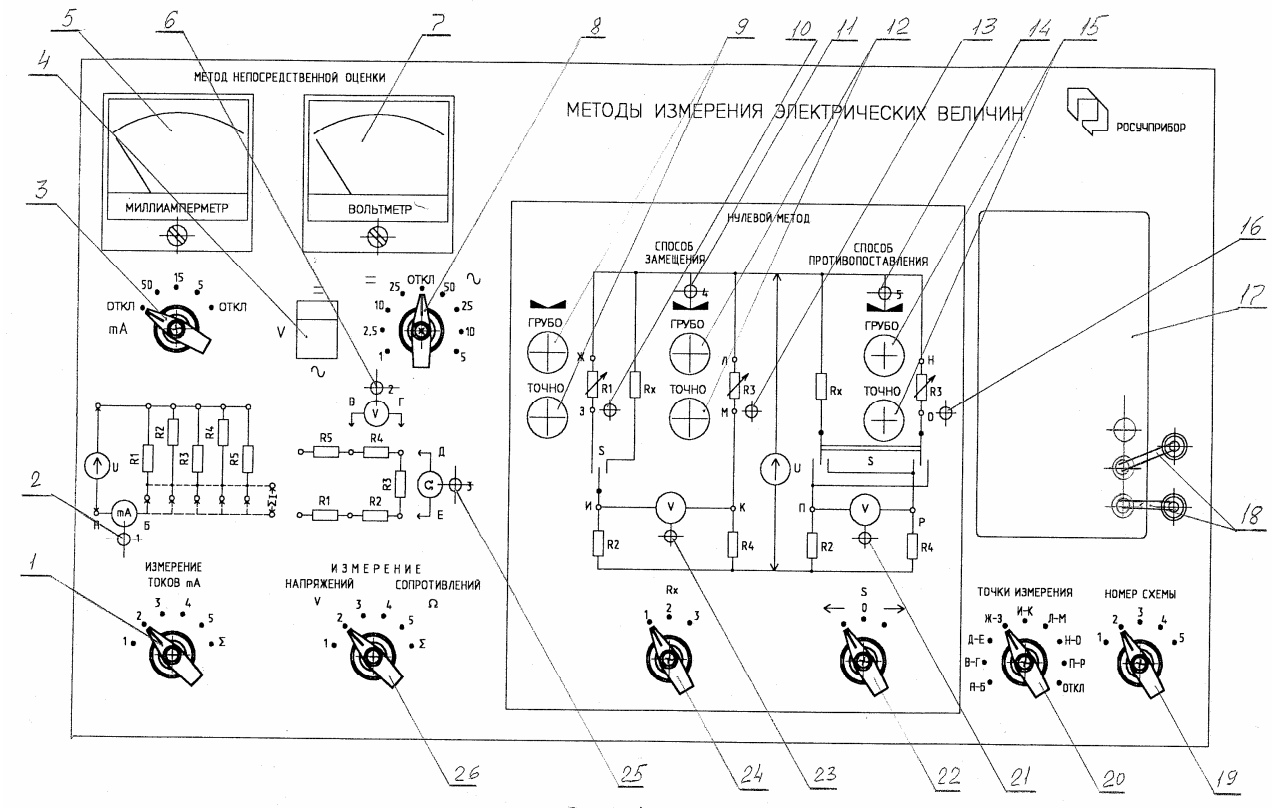


Рисунок 7.5 Изображение передней панели установки МСИ 3м

4.4 Конструктивно все элементы электрической схемы установки размещены на 2-х печатных платах, соединённых проводным жгутом между собой, а также с органами коммутации и трансформатором питания.

4.5 На плате А 1 расположена группа постоянных и переменных резисторов R2÷R11, предназначенных для формирования измеряемых величин сопротивлений,

напряжений и токов. Коммутация резисторов внутри группы производится переключателем «Номер схемы» и «Измерение токов» с помощью промежуточных реле К 1 и К 3. При установке переключателя «Номер схемы» в положение «1» мультиметр и миллиамперметр подключаются к параллельно соединённым резисторам, а при установке в положение «2» и «3» вход мультиметра и вольтметр на панели подключается к последовательно соединённым резисторам. Переключатель «Точки измерения» коммутирует точки подключения входа мультиметра и индикацию подключения, а переключатель «Номер схемы» коммутирует включение схем измерения и светодиоды индикации номера включённой схемы.

4.6 На плате А 2 расположены группы постоянных и переменных резисторов, коммутация которых осуществляется переключателями «R_x» и «S». Коммутация резисторов обеспечивает выбор исследуемых мостовых схем.

4.7 Коммутация пределов измерений стрелочных приборов осуществляется соответствующими переключателями, а вида напряжений переключателем «V».

4.8 ***Измерение тока производится только на постоянном токе, а измерение напряжений производится как на постоянном, так и на переменном токах.***

4.9 Питание узлов установки осуществляется тремя отдельными источниками питания, размещёнными на плате А 1.

5 Указание мер безопасности

5.1 К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с её устройством, принципом действия, а также с разделам 5, 6 настоящего паспорта, о чём должна свидетельствовать их личная роспись в журнале по ТБ лаборатории кафедры МСиС ТФ ГОУ ОГУ, лица, не прошедшие эту процедуру, до занятий по ЛР не допускаются.

5.2 К работам по монтажу и проверке установки на соответствие ПУЭ (Правил устройства электроустановок) допускается персонал лаборантов, зав. лабораторией каф. МСиС, обученный методам безопасной работы с электрооборудованием напряжением до 1000 В, в соответствии с требованиями действующих ПТЭ (Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей) и ПТБ (Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей).

5.3 Во избежание поражения электрическим током при монтаже каких либо термометров, а также при вскрытии установки и замене электрических ламп, пришедших в негодность, установка должна быть отключена от питающей электрической сети.

6 ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

6.1 Произвести внешний осмотр установки и убедиться в целостности светодиодных индикаторов, надежном креплении органов коммутации, целостности сетевого кабеля.

6.2 Перед подключением установки к сети установить переключатель

" СЕТЬ " в положение " О ", остальные органы коммутации могут находиться в произвольном положении.

6.3 Для включения установки необходимо перевести переключатель «СЕТЬ» в положение «I», при этом должны засветиться или светодиоды одного из режимов работы установки или точки измерения, а также засветится индикатор мультиметра, если его переключатель пределов измерения не находится в положении «OFF».

7 Порядок работы

7.1 «Метод непосредственной оценки»

7.1.1 Для проверки значений формируемых сопротивлений необходимо:

- установить переключатель пределов измерения мультиметра в положение «200к»;
- установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ» в положение «1»;
- установить переключатель «НОМЕР СХЕМЫ» в положение «3»";
- установить переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «Д - Е», при этом должен загореться индикатор «3».

По дисплею мультиметра проконтролировать значение сопротивления.

Поочередно устанавливая переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ» в положения от «1» до «5», проконтролировать значения сопротивлений.

Установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ» в положение «Е» и проконтролировать суммарное значение сопротивлений.

При необходимости, установить переключатель пределов измерения мультиметра, в соответствующее измеряемым значениям положения.

7.1.2 Для проверки значений формируемых напряжений постоянного тока необходимо:

- установить переключатель пределов измерения мультиметра в положение «200» V–;
- установить переключатель пределов измерения стрелочного вольтметра в положение «– 25»;
- установить переключатель «V» в положение «–»;
- установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ» в положение «1»;
- установить переключатель «НОМЕР СХЕМЫ» в положение «2»;
- установить переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «В-Г», при этом должен загореться индикатор «2».

По дисплею мультиметра и по шкале стрелочного вольтметра проконтролировать значение напряжения.

Поочередно устанавливая переключатель " ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИИ " в положения от «1» до «5», проконтролировать значения напряжений.

Установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ» в положение «Е» и проконтролировать суммарное значение напряжений.

При необходимости, установить переключатели пределов измерения мультиметра и вольтметра, в соответствующее измеряемым значениям положения.

7.1.3 Для проверки значений формируемых напряжений переменного тока необходимо:

- установить переключатель пределов измерения мультиметра в положение «200» V ~;
- установить переключатель пределов измерения стрелочного вольтметра в положение «~ 50»;
- установить переключатель «V» в положение «~»;
- установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ» в положение «1»
- установить переключатель «НОМЕР СХЕМЫ» в положение «2»;
- установить переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «В - Г», при этом должен загореться индикатор «2».

По дисплею мультиметра и по шкале стрелочного вольтметра проконтролировать значение напряжения.

Поочередно устанавливая переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ» в положения от «1» до «5», проконтролировать значения напряжений.

Установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ» в положение «D» и проконтролировать суммарное значение напряжений.

При необходимости, установить переключатели пределов измерения мультиметра и вольтметра, в соответствующее измеряемым значениям положения.

7.1.4 При проведении работ разница в показаниях мультиметра и вольтметра не должна превышать 4 %.

7.1.5 Для проверки значений формируемых токов необходимо:

- установить переключатель пределов измерения стрелочного миллиамперметра в положение «50 мА»;
- установить переключатель пределов измерения мультиметра в положение «200 мА»:
- установить переключатель пределов измерения стрелочного вольтметра в положение «– 25»;
- установить переключатель «V» в положение «–»;
- установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ» в положение «1»;
- установить переключатель «НОМЕР СХЕМЫ» в положение «1»;
- установить переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «А-Б», при этом должен загореться индикатор «3».

По дисплею мультиметра и по шкале стрелочного миллиамперметра проконтролировать значение напряжения.

Поочередно устанавливая переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ токов» в положения от «1» до «5», проконтролировать значения токов.

Установить переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ» в положение «Σ» и проконтролировать суммарное значение токов.

7.1.6 При проведении работ разница в показаниях мультиметра и миллиамперметра не должна превышать 4%.

7.1.7 При измерении сопротивлений, напряжений и токов сумма значений показаний приборов в положениях перключателей «Измерение» от «1» до «5» должна быть соответственно равна значениям в положении «Σ» с погрешностью не более 4%.

7.2 «Нулевой метод».

7.2.1 Для проверки значений формируемых сопротивлений при способе измерения - «СПОСОБ ЗАМЕЩЕНИЯ» необходимо:

- установить переключатель пределов измеренич мультиметра в положение «20 В»;
- установить переключатель «НОМЕР СХЕМЫ» в положение «4», при этом должен загореться индикатор «4»;
- установить переключатель «R_x» в положение «1»;
- установить переключатель «S» в положение « → »;
- установить переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «И - К».

Вращением осей ручек резисторов «R 3» «ГРУБО» и «ТОЧНО» установить по дисплею мультиметра напряжение, равное 0,00 В. Установить переключатель «S» в положение « ← » и вращением осей ручек резисторов «R 1» «ГРУБО» и «ТОЧНО» вновь установить по дисплею мультиметра напряжение равное 0,00 В.

Перключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение «Ж - З», переключатель пределов измерения мультиметра установить в положение «20 к», а переключатель «S» установить в положение «0».

По дисплею мультиметра проконтролировать значение сопротивления «R 1».

Поочерёдно устанавливая переключатель «R_x» в положение «2» и «3», провести проверки, аналогично вышеуказанным, для положения переключателя «1». По дисплею мультиметра проконтролировать значение сопротивления «R_x».

7.2.2 Для проверки значения формируемых сопротивлений при способе измерения - «СПОСОБ ПРОТИВОПОСТАВЛЕНИЯ» необходимо:

- установить переключатель пределов измерения мультиметра в положение «20 В»;
- установить переключатель «НОМЕР СХЕМЫ» в положение «5», при этом должен загореться индикатор «5»;
- установить переключатель «R_x» в положение «1»;
- установить переключатель «S» в положение « → »;
- установить переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «П - Р».

вращением осей ручек резисторов «R 3» «ГРУБО» и «ТОЧНО» установить по дисплею мультиметра напряжение, равное 0,00 В.

Переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение «Н - О», переключатель пределов измерения мультиметра установить в положение «20к», а переключатель «S» установить в положение «0».

По дисплею мультиметра проконтролировать значение сопротивления «R 3».

Установит переключатель «S» в положение « ← » и вращением осей ручек резисторов «R3» «ГРУБО» и «ТОЧНО» вновь установить по дисплею мультиметра напряжение равное 0,00 В.

Переключатель «ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение «Н - О», переключатель пределов измерения мультиметра установить в положение «20к», а переключатель «S» установит в положение «0».

По дисплею мультиметра проконтролировать значение сопротивления «R3».

Поочерёдно устанавливая переключатель «R_x» в положение «2» и «3», провести проверки, аналогично вышеописанным, для положения переключателя «1». По дисплею мультиметра проконтролировать значение сопротивления «R 3».

7.3 Оценка результатов измерений производится в соответствии с требованием методических указаний лабораторных работ раздела 7 «Измерения электрических величин». т.е ЛР №№ 35 ÷ 40.

7.4 Измерение напряжений и токов можно производить при отключённых стрелочных приборах, установив переключатели их пределов измерения в положение «Откл.», если при измерениях мультиметром или каким либо другим прибором - «осцилографом» или «частотомером» стрелочные приборы будут оказывать методические помехи и, следовательно, излишние погрешности.

8 ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Возможные неисправности и методы их устранения приведены в таблице 7.6

Таблица 7.6

Наименование неисправности, внешнее проявление и дополнительные признаки	Вероятная причина	Способ устранения
Отсутствует свечение индикаторов при включении выключателя «СЕТЬ»	Перегорание сетевого предохранителя; Пере-горание индикатора.	Заменить предохра-нитель. Заменить индикатор.
Отсутствует индикация на дисплее у мультиметра; Показания на дисплее беспорядочные или непредсказуемые.	Выход из строя муль-тиметра; разрядка батареи мультиметра.	Заменить батарею; Заменить мультиметр.

35 Лабораторная работа № 35 Микроамперметр

35.1 Цель работы

Цель лабораторной работы - ознакомиться студенту с микроамперметром, изучить устройство лабораторной установки МСИ 3м. Знакомство с основными понятиями об измерениях, методах и средствах их проведения.

35.2 Выбор метода измерения

В зависимости от способа измерения меры известной величины выделяют метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

При методе непосредственной оценки значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого преобразования, шкала которого заранее была градуирована с помощью многозначной меры, воспроизводящей известное значение измеряемой величины. В приборах прямого преобразования в процессе измерения оператором производиться сравнение положения указателя отсчетного устройства и шкалы, по которой производиться отсчет. Измерение силы тока с помощью микроамперметра – пример измерения по методу непосредственной оценки. Методы сравнения с мерой – методы, при которых производиться сравнение измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Сравнение может быть непосредственным или опосредованным через другие величины, однозначно связанные с первым. Отличительной чертой методов сравнения является непосредственное участие в процессе измерения меры известной величины, однородной с измеряемой.

Группа методов сравнения с мерой включает в себя следующие методы: нулевой, дифференциальный, замещения и совпадения.

Объектом измерения данной лабораторной работы будет сила тока. Так как прибор рассчитан на измерение силы тока в микроамперах, то и величина силы тока будет в микроамперах.

Для выполнения данной методической разработки предусмотрено одно средство измерения – микроамперметр со шкалой от 0 до 100 микроампер, шкала равномерная, класс точности – 1,0.

Основными характеристиками средств измерений являются погрешности.

35.3 Мероприятия, выполняемые перед началом измерений

Каждый человек выполняющий измерения выступает в качестве оператора измерения. При подготовке к измерениям оператор должен ознакомиться с методикой выполнения измерений и последовательностью выполнения операций. Проверить наличие необходимого комплекта и вспомогательных материалов.

Убедиться в том, что основные и вспомогательные средства измерения имеют действующие свидетельства о поверке и калибровке. Если действующего свидетельства нет, нужно посмотреть поверительное клеймо или пломбу.

Выполнить операции по созданию необходимых средств измерений, включая требования личной безопасности. Опробовать средство измерения, включить, проверить действие органов управления, убедиться в том, что прибор реагирует на ручки управления регулировки, настройки. Если средства измерения снабжены средствами самоконтроля, то выполнить соответствующие операции. Провести 2 - 3 пробных наблюдения и сравнить результаты наблюдений с ожидаемыми результатами измерений. Принять меры для устранения ошибок. Проанализировать объект измерения, выбрать средство измерений и согласовать его с методом измерений.

35.4 Обработка результатов наблюдений и оценка погрешности измерения

При статистической обработке результатов наблюдений выполняют следующие операции:

- исключение систематических погрешностей из результатов наблюдений;

- вычисление среднего арифметического исправленных результатов наблюдений, принимаемых за результат измерения, оценки среднеквадратического отклонения (СКО) результата измерения доверительных границ случайной составляющей погрешности результата измерений;

- исключение систематические погрешности результата измерений и погрешности результата измерения.

Систематические погрешности исключаются следующим путем:

- устранение источников погрешностей до начала измерений, исключение погрешностей в процессе измерения способами замещения, компенсации погрешности по знаку, противопоставления, симметричных наблюдений;

- внесение полученных и вычисленных поправок в результат измерений как составляющая часть НСП.

Существует возможность пренебречь случайными погрешностями, когда случайные погрешности доминируют, но доверительная граница погрешности результата измерений с однократными наблюдениями не превышает допустимую погрешность измерения. Под границами неисключенной систематической погрешности принято понимать границы интервала, найденные нестатистическими методами, внутри которого находится неисключенная систематическая погрешность измерения. Еще до начала наблюдений систематические погрешности более или менее исключаются, применяя тот или иной метод измерения. Поэтому, при проведении и выполнении наблюдений и оценке результатов наблюдений имеем дело с неисключительным остатком систематической погрешности (НСП). Для обнаружения НСП рекомендуется провести измерение другими методами, сменить оператора измерения, сменить время суток и т.п. При измерениях с однократными наблюдениями, оценивают коэффициент точности подбора необходимого средства измерения и за результаты наблюдений принимают однократное измерение X с введенной поправкой, если она имеется.

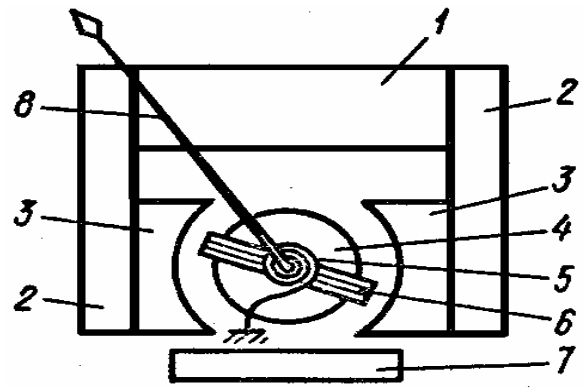
Если доверительные границы случайных погрешностей для некоторых составляющих определены экспериментально, то рассчитанные доверительные границы результата измерений будут несколько завышены. Если погрешности метода и оператора пренебрежительно малы по сравнению с погрешностью используемых средств измерений (не превышает 15 % от погрешности средств измерений), то за погрешность результата измерений принимают погрешность используемых средств измерения.

35.5 Магнитоэлектрические приборы. Микроамперметр магнитоэлектрической системы и его внутреннее строение

ГОСТ 22261 – 94 «Средства измерения электрических и магнитных величин. Общие технические условия»

Магнитоэлектрические приборы состоят из магнитоэлектрического измерительного механизма с отсчетным устройством и измерительной цепи. Эти приборы применяют для измерения постоянных токов и напряжений (амперметры и вольтметры), сопротивлений (омметры), количества электричества (баллистические гальванометры и кулонметры). Магнитоэлектрические приборы применяются также для измерения или индикации малых токов и напряжений (гальванометры). Кроме того, магнитоэлектрические приборы используют для регистрации электрических величин (самопишущие приборы и осциллографические гальванометры).

На рисунке 5.1 показано устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с подвижной катушкой.



1 – постоянный магнит,
2 – магнитопровод,
3 – полюсные наконечники,
4 – неподвижный сердечник,
5 – спиральная пружина,
6 – подвижная катушка,
7 – магнитный шунт,
8 – указатель.

Рисунок 5.1 – Внутреннее строение микроамперметра магнитоэлектрической системы

Вращающий момент в измерительном механизме магнитоэлектрического прибора возникает в результате взаимодействия магнитного поля постоянного магнита и магнитного поля катушки с током. Применяют магнитоэлектрические механизмы с подвижной катушкой и с подвижным магнитом. Наиболее распространены механизмы с подвижной катушкой.

В магнитоэлектрических амперметрах измерительный механизм включается в цепь измеряемого тока либо непосредственно, либо при помощи шунта. Непосредственное включение применяется при измерении малых токов (до 30 мА), допустимых для токоподводов (пружинок, растяжек) и обмотки подвижной катушки механизма, т.е. непосредственное включение возможно для микро- и миллиамперметров. При больших токах применяют шунты.

Вращающий момент в измерительном механизме магнитоэлектрического прибора возникает в результате взаимодействия магнитного поля постоянного магнита и магнитного поля катушки с током. Применяют магнитоэлектрические механизмы с подвижной катушкой и с подвижным магнитом. Наиболее распространены механизмы с подвижной катушкой.

В нашей лабораторной работе используется микроамперметр первого класса точности, т.е. погрешность показаний прибора составляет 1%. Изменение окружающей температуры влияет на магнитоэлектрический прибор.

Основной источник температурной погрешности в таких приборах – изменение сопротивления обмотки катушки индуктивности. Амперметры без шунта не имеют температурной погрешности. В амперметрах с шунтами температурная погрешность может оказаться значительной вследствие перераспределения токов между шунтом и подвижной катушкой. Для её уменьшения применяют различные цепи температурной компенсации. В многопредельных амперметрах для изменения пределов измерения применяют многопредельные шунты. Поэтому многопредельные амперметры снабжают переключателями диапазонов измерений или несколькими выходными зажимами.

Амперметр - электрический прибор для измерения силы тока. На рисунке 35.2 показаны некоторые виды амперметров.

1- Амперметр лабораторный, 2- Амперметр технический, 3- Амперметр демонстрационный

Рисунок 35.2 - Внешние виды некоторых амперметров.

Устройство амперметров.

Магнитоэлектрическая система состоит из проволочной катушки, соединенной со стрелкой, и постоянного магнита, под действием которого катушка поворачивается в зависимости от силы протекающего по ней тока.

Электромагнитная система состоит из катушки, создающей магнитное поле, в которую входит железная пластинка, соединенная со стрелкой.

Электродинамическая система состоит из двух катушек, одна из которых создает магнитное поле, а другая взаимодействует с первой и связана со стрелкой.

Условное обозначение на схемах.

Схема включения.

Амперметр подсоединяется (включается) в электрическую цепь последовательно с элементом, в котором он измеряет силу тока. Для качественных

измерений сопротивление амперметра должно быть сравнительно мало, для милиамперметра и микро амперметра принцип сказанного не изменяется, кроме сопротивления самого прибора.

При схеме по рисунку 35.3 через обмотку прибора «А» проходит весь ток нагрузки. Отклонение подвижной части от ее нулевого положения будет зависеть от значения величины тока «I». Будет полезным напомнить из международной системы единиц физических величин значение «Силы электрического тока» - «Ампер» - А – обозначение.

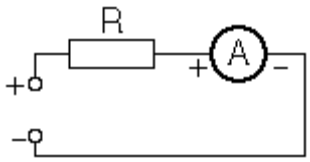


Рисунок 35.3 - Измерительная схема.

Рисунок 35.4 - Микроамперметр М2042

К таким приборам относятся - М2042, микроамперметр, миллиамперметр, милливольтметр М2027-М1, микроамперметр, миллиамперметр М1690А.

Характеристики микроамперметров М2042 следующие: многопредельные, постоянного тока. Пределы измерения от 0–10 до 0-1000 мкА, в режиме вольтметра от 0-10 до 0-250В, кл. точности 0,2.

Рисунок 35.5 - Прибор М2027

В данной лабораторной работе используется микроамперметр первого класса точности, т.е. погрешность показаний прибора составляет 1 %.

Изменение окружающей температуры влияет на магнитоэлектрический прибор. Основной источник температурной погрешности в таких приборах – изменение сопротивления обмотки катушки индуктивности. Амперметры без шунта не имеют температурной погрешности. В амперметрах с шунтами температурная погрешность может оказаться значительной вследствие перераспределения токов между шунтом и подвижной катушкой. Для ее уменьшения применяют различные цепи температурной компенсации.

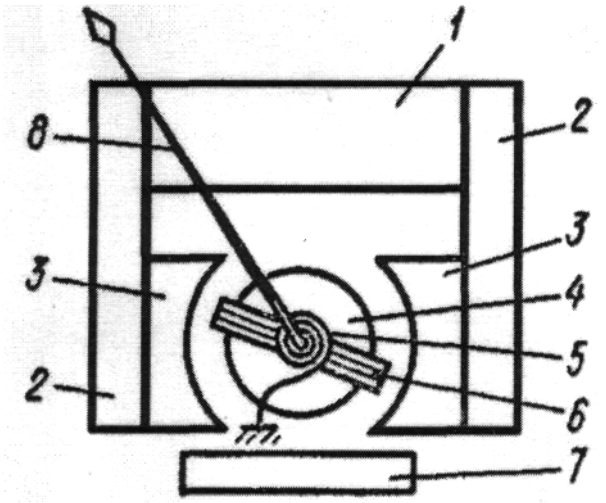
В многопредельных амперметрах для изменения пределов измерения применяют многопредельные шунты. Поэтому многопредельные амперметры снабжают переключателем диапазонов измерений или несколькими входными зажимами.

35.6 Пример отчета по лабораторной работе

Цель работы: Ознакомиться с микроамперметром. Узнать основные понятия об измерениях, методах и средствах их проведения.

По нормативно-технической документации измеряемая сила тока должна иметь значение 77 ± 0,5 мкА.

В нашей лабораторной работе предполагается использование микроамперметра первого класса точности, т.е. погрешность показаний прибора составляет 1 %.



1 - постоянный магнит; 2 - магнитопровод; 3 -полюсные наконечники; 4 - неподвижный сердечник; 5 - спиральная пружина; 6 -подвижная катушка; 7 - магнитный шунт; 8 - указатель.

Рисунок 35.6.1- Внутреннее строение микроамперметра

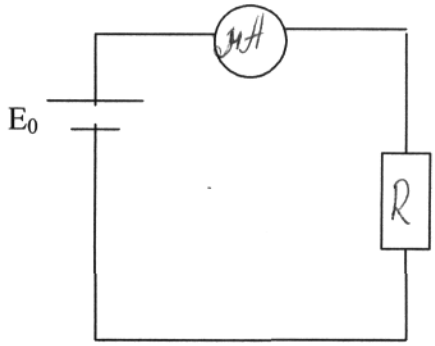


Рисунок 35.6.2-Схема цепи питания.

Вычисляем неисключённую систематическую погрешность (НСП) по формуле (35.6.1):

$$\Theta(P) = \Delta_C + \Delta_{ОП} + \Delta_{УСЛ}, \qquad (35.6.1)$$

$A_{НД}$ = 77 мкА ± 0,5 мкА;
X_N = 100 мкА;
Пусть класс точности прибора равен 1.

$$\Delta_C = 1\% \cdot \frac{100}{100\%} = 1,$$

$$\Delta_{ОП} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 1 = 0,05,$$

$$\Delta_{УСЛ}=0$$

Θ(P)=1+0,05+0 = 1,05 мкА

Данный прибор не подходит для измерения тока с необходимой точностью. Воспользуемся новым микроамперметром с классом точности, равным 0,2.

$$\Delta_C = 0,2\% \cdot \frac{100}{100\%} = 0,2,$$

$$\Delta_{ОП} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 0,2 = 0,01,$$

$$\Delta_{УСЛ}=0.$$

Θ(P)=0,2+0,01+0 = 0,21 мкА – прибор подходит

При измерении силы тока микроамперметром получили значения, приведённые в таблице 35.6.1.

Таблица 35.6.1 - Значения, полученные при измерении

1	2	3	4
77,0 мкА	77,1 мкА	77,2 мкА	76,9 мкА

Определим среднее значение $\overline{x}$:

$$\overline{\text{б}} = \frac{77{,}0 + 77{,}1 + 77{,}2 + 76{,}9}{4} = 77{,}05 \text{ мкА}$$

Определяем среднее квадратическое отклонение:

$$S(x) = 0{,}129 \text{ мкА}$$

Определяем отношение Θ(P)/ S(x):

$$\Theta(P)/S(x) = 0{,}21/0{,}129 = 1{,}628$$

Так как 0,8<1,628<8,то

$$\Delta P = K_p \left[\Theta(P) + \in P\right], \qquad (35.6.2)$$

$$\gamma = \frac{Q(P)}{\sqrt{3} \cdot K(P) \cdot S(x)}, \qquad (35.6.3)$$

$$\gamma = \frac{1{,}63}{\sqrt{3} \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}129} = 5{,}207,$$

$$К_р = \frac{\sqrt{1+\gamma^2}}{1+\gamma} = 0{,}72,$$

$$\in (P) = Z_{p/2} + S(x), \qquad (35.6.4)$$

где $Z_{p/2}$ - Коэффициент Лапласса, определяемый по таблице.

$$\in (Ð) = 1{,}71 \cdot 0{,}129 = 0{,}22$$

$$\Delta P = 0{,}72\ [0{,}21 + 0{,}22] = 0{,}309$$

Находим отношения:

$$\nu_1 = |77-77{,}05| = 0{,}05$$
$$\nu_2 = |77{,}1-77{,}05| = 0{,}05$$
$$\nu_3 = |77{,}2-77{,}05| = 0{,}15$$
$$\nu_4 = |76{,}9-77{,}05| = 0{,}15$$

Если $\nu_n < Z_{p/2} \cdot S(x)$, то наблюдение x_n не является промахом. Если же

$\nu_n \geq Z_{p/2} \cdot S(x)$, то x_n - промах и подлежит исключению.

P=0,99 и n=4
$Z_{p/2}$=1,728
$Z_{p/2} \cdot S(x)$=0,864

x_1	0,05< 0,864	не является промахом
x_2	0,05<0,864	не является промахом
x_3	0,15<0,864	не является промахом
x_4	0,15<0,864	не является промахом

Из полученных вычислений видим, что ни одно из значений, полученных в результате измерений, не является промахом.

Результат измерений теперь можно записать следующим образом:

$$A = 77{,}05 \pm 0{,}309 \text{ мкА}.$$

Вывод по проведенной лабораторной работе

Результат измерений можно записать следующей форме: A=77,05±0,309 мкА. Рекомендуется использовать прибор с классом точности, равным 0,2. Микроамперметр класс точности равным единице, даёт более грубые результаты измерения, поэтому однократные измерения неточны и можно его применять только как многократные.

35. 7 Варианты и исходные данные для выполнения лабораторной работы:

№ по списку группы	Сила тока X,x мкА	№ по списку группы	Сила тока X,x мкА
1	7,5	17	14,0
2	8,0	18	14,5
3	8,7	19	15,0
4	8,9	20	15,6
5	9,3	21	15,85
6	9,7	22	16,45
7	10,0	23	16,8
8	10,5	24	17,0
9	10,8	25	17,56
10	11,2	26	17,95
11	11,5	27	18,36
12	11,8	28	18,65
13	12,4	29	19,0
14	12,75	30	19,5
15	13,0	31	20,0
16	13,5	32	20,56

35.8 Вопросы для самоконтроля

35.8.1 Какие вы знаете виды измерений?

35.8.2 При каком методе измерения значения измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора?

а) косвенные; б) прямые; в) совокупные.

35.8.3 Из каких основных составляющих состоит суммарная погрешность?

35.8.4 Для чего проводят пробные наблюдения перед началом измерений?

35.8.5 Перечислите основные операции по исключению систематических погрешностей.

35.8.6 Что следует делать для обнаружения неисключенной систематической погрешности?

35.8.7 Какие основные величины используются в лабораторной работе?

36 Лабораторная работа № 36 Электрические измерения вольтметром

Введение

Напряжение является одной из наиболее распространённых электрических величин. Этим объясняется широкая номенклатура выпускаемых промышленностью средств измерений напряжения. Выбор средства измерений может определяться совокупностью факторов: предполагаемым размером измеряемой величины, родом тока (постоянного или переменного), частотой, требуемой точностью измерения, условиями проведения эксперемента (лабораторные, цеховые, полевые и т.д.), влиянием внешних условий (температуры, магнитного поля, вибраций и т.д.) и других. Определение значений напряжений осуществляют, как правило, прямыми измерениями.

36.1 Некоторые сведения о вольтметрах

Квалифицируют вольтметры по следующим признакам:

а) По принципу действия:

- электродинамический
- электростатический
- магнитоэлектрический и т.д.

б) По месту применения:

- лабораторные
- цеховые
- полевые и т.д.

в) По степени точности:

- сверхточные
- точные
- грубые

г) По числу диапазонов:
- однопредельные
- многопредельные

Для приборов, предназначенных для измерения двух величин - тока и напряжения (многофункциональные приборы), а также с двумя и более диапазонами измерения или с многорядными шкалами допускается установка двух и более классов точности.

В многопредельных вольтметрах используют несколько добавочных резисторов. Поэтому многопредельные вольтметры снабжают переключателем диапазонов или несколькими входными зажимами.

Вольтметры делятся на электронные (рисунок 36.1) и цифровые (рисунок 36.2). К ***электронным вольтметрам*** относятся: постоянного тока, переменного тока, универсальные, импульсные, селективные. К ***цифровым вольтметрам*** относятся: времяимпульсные, интегрирующие, вольтметры амплитуды импульсов.

Вольтметры постоянного тока. Последовательное соединение делителя напряжения и усилителя является характерной особенностью построения всех электронных вольтметров. Такая структура позволяет делать вольтметры высокочувствительными и многопредельными за счёт изменения в широких пределах их общего коэффициента преобразования.

Вольтметры переменного тока. Такие вольтметры состоят из преобразователя переменного напряжения в постоянное, усилителя и магнитоэлектрического измерительного механизма.

Универсальные вольтметры. Такие вольтметры предназначены для измерения напряжений постоянного и переменного токов.

Импульсные вольтметры. Для измерения амплитуды импульсных сигналов различной формы применяют импульсные вольтметры. Особенности работы импульсных вольтметров определяются малой длительностью измеряемых импульсов и значительной скважностью.

Селективные вольтметры. Такие вольтметры предназначены для измерения действующего значения напряжения в некоторой полосе частот или действующего значения отдельных гармонических составляющих измеряемого сигнала.

Время-импульсные вольтметры. В этих вольтметрах измеряемое напряжение предварительно преобразуется во временной интервал путём сравнения с линейно-изменяющимся напряжением.

Интегрирующие вольтметры. В этих приборах измеряемое напряжение сначала интегрируется за определённое время, т. е. преобразуется в пропорциональное напряжение на выходе интегратора. Затем на втором шаге напряжение преобразуется в пропорциональный временной интервал путём возврата интегратора в исходное состояние с постоянной скоростью.

Вольтметры амплитуды импульсов. Принцип действия этих приборов заключается в том, что амплитуда импульса преобразуется во временной интервал, который изменяется.

Промышленностью выпускаются переносные вольтметры типа МПП - 054 и щитовые показывающие приборы двух типов: с профильной шкалой МПЩПр - 54

и с плоской шкалой МПЩПл. Кроме того, выпускаются вольтметры для записи температуры на диаграммной ленте МСЩПр и регулирующий типа МР.

В зависимости от применяемых термопар милливольтметры имеют следующие градуировки:

ХК - для хромель-копелевых термопар;

ХА - для хромель-алюмелевых термопар;

ПП - для платинородий-платиновых термопар.

Помимо этого, выпускаются вольтметры с градуировками для радиационных пирометров и газоанализаторов.

Переносные электроизмерительные приборы подразделяются на две группы: приборы непосредственной оценки и приборы сравнения.

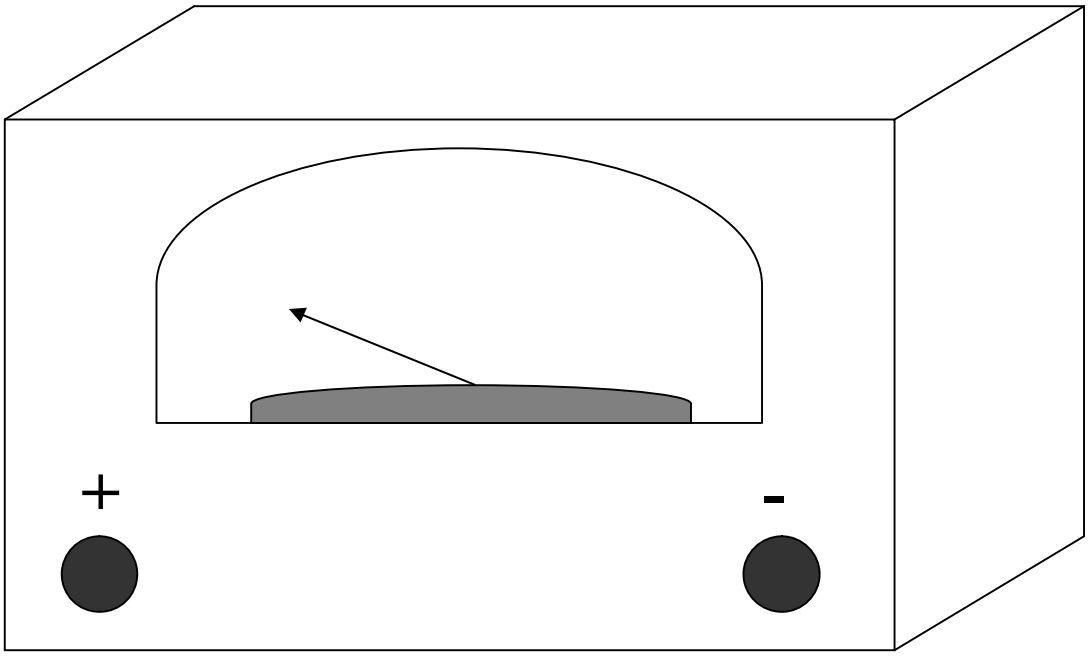


Рисунок 36.1 - Электронный вольтметр

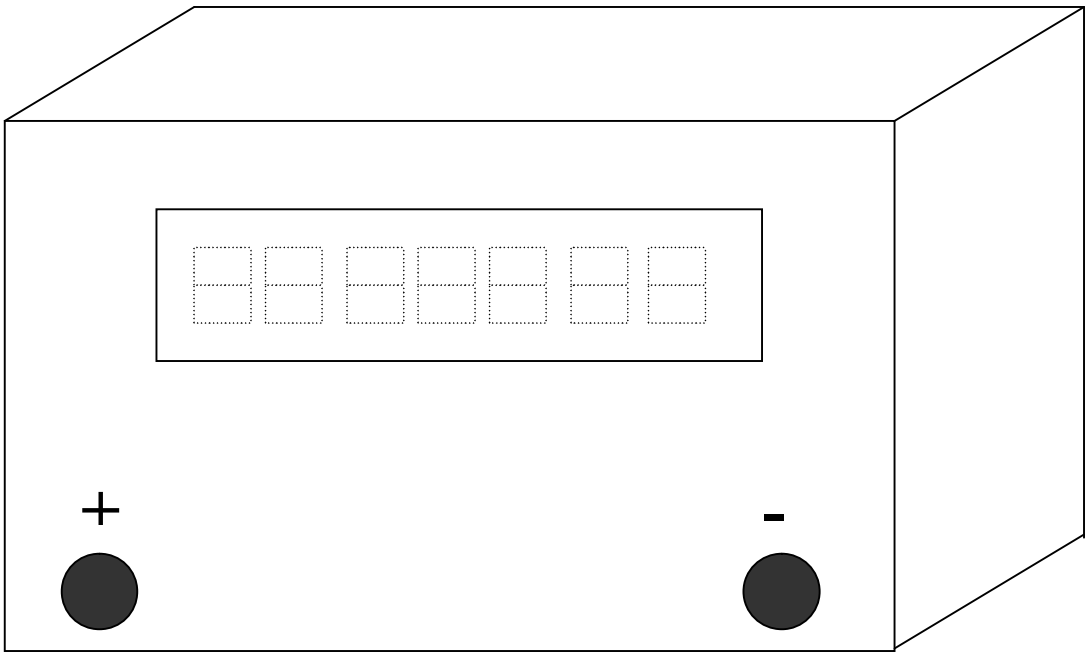


Рисунок 36.2 - Цифровой вольтметр

Основная группа приборов позволяет получить результат измерения непосредственно на шкале прибора по положению стрелки для стрелочных приборов или в цифровой форме для цифровых приборов.

Основным отличием цифровых приборов с точки зрения потребителя является форма отсчёта. Если в стрелочных приборах отсчёт снимается по положению указателя относительно шкалы, то в цифровых приборах измеряемая величина отсчитывается прямо в цифровой форме.

Предельные измерения вольтметров выбирают из ряда:

$$U = a \cdot 10^n, \qquad (36.1)$$

где a – одно из чисел: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4,5; 6; 7,5; 8;
n – любое целое число или нуль.

Классы точности вольтметров.
0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5.

36.2 Объект измерения и выбор средств измерений

Средство измерений – это техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства. От правильности выбора средства измерения зависит правильное определение значения измеряемой величины в процессе измерения.

Выбор средства измерения в данной лабораторной работе зависит от следующих причин:

- величины напряжения;
- рода напряжения;
- степени точности измерения;
- полей допусков.

Будем использовать вольтметр с пределами измерений от 0 до 250 вольт, т.к. измеряемая величина напряжения должна находится в этом диапазоне измерений.

В зависимости от рода тока (переменного или постоянного) можно использовать вольтметры двух типов: магнитоэлектрической или электродинамической системы. Мы будем использовать вольтметр электродинамической системы, т.к. наибольшее распространение для измерения на постоянном токе получили приборы магнитоэлектрической системы, а для измерения на переменном токе приборы электродинамической системы.

Объектом измерения в данной работе будет измерение напряжения в электрической цепи.

Измерение проводится следующим образом:

а) изобразить в отчёте схематически электрическую цепь;
б) занести в отчёт значения величин, используемых в данной цепи;

в) произвести необходимое число измерений;

г) дать заключение о правильности каждого измерения;

д) измерения проводятся с целью:

- индикаторного определения наличия напряжения и его примерной величины;

- нормируемое определение величины напряжения и определение величины точности и погрешности при измерениях;

е) определить наибольшее отклонение для самого точного измерения.

Для выполнения данной работы необходимо средство измерения называемое - вольтметр. Вспомогательными средствами являются провода, сопротивления и источник напряжения.

36.3 Погрешности измерений, обусловленные различными факторами для вольтметра электродинамической системы

Электродинамический прибор – это прибор, действие которого основано на взаимодействии магнитного поля, обусловленного током подвижной катушки, с магнитным полем, обусловленным током в одной или более неподвижных катушках (ГОСТ 30012.1-93).

Выбор средств измерений определяется измеряемой величиной, принятым методом измерения и требуемой точностью результата наблюдения. Измерения с применением средств измерений с недостаточной точностью малоценны. Применение же точных средств измерений экономически не выгодно. При этом необходимо учитывать диапазон средств измерений, условия измерений, эксплуатационные качества и их стоимость. Основное внимание уделяют погрешности средств измерений, то есть соблюдение условия.

Одной из основных характеристик электроизмерительного прибора является его погрешность, которая характеризует точность прибора.

Различают два вида погрешностей приборов: основные и дополнительные. Основная погрешность - это погрешность, свойственная прибору при нормальных условиях эксплуатации.

Если условия работы прибора отличаются от нормальных, то прибор может иметь дополнительные погрешности. Выражаются основные и дополнительные погрешности в процентах от конечного значения рабочей части шкалы и в процентах от суммы конечных значений.

Основную погрешность в процентах для каждой выбранной отметки шкалы рассчитывают по формуле (36.2):

$$\gamma_o = \left(\frac{B_X - B_R}{A_F} \right) \times 100, \qquad (36.2)$$

где A_F - нормирующее значение;

B_R - значение возбуждения;

B_X - отметка шкалы.

Опишем некоторые основные погрешности.

36.3.1 Погрешность, обусловленная сопротивлением используемого средства измерения

Измерения напряжений всегда сопровождаются погрешностью, обусловленной сопротивлением используемого средства измерения. Включение в исследуемую цепь средства измерения искажает режим этой цепи. Например, в цепи, представленной на рисунке 36.3, при включении вольтметра, имеющего сопротивление $R_{вн.}$, для измерения напряжения между точками *a* и *b* режим цепи тоже нарушается, так как вместо напряжения $U = I\cdot(R_ц + R_{н.})$, которое было в схеме до включения вольтметра, после его включения напряжение стало с учётом внутреннего сопротивления вольтметра равно - $U = I\cdot(R_ц+R_н)\cdot R_{вн.}/(R_ц+R_н+R_{вн.})$

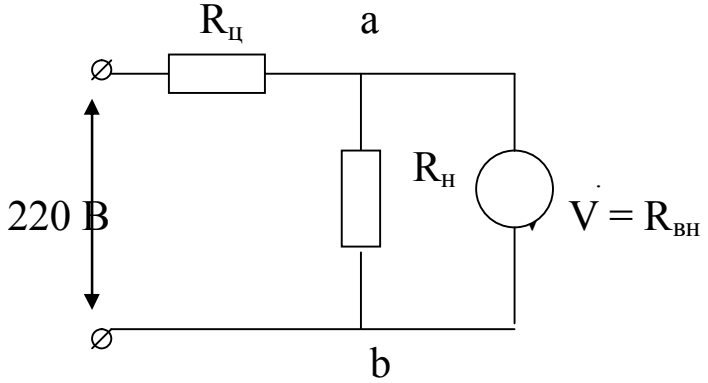


Рисунок 36.3 – Схема цепи включения вольтметра

Погрешность U тем больше, чем меньше внутреннее сопротивление вольтметра, поэтому внутреннее сопротивление вольтметров очень высокое.

Косвенным показателем сопротивления средств измерений, является мощность, потребляемая средством измерения из цепи, в которой производится измерение. Мощность, потребляемая вольтметром, определяется выражением (36.3):

$$P = U^2 / R, \qquad (36.3)$$

где U – напряжение, измеряемое вольтметром;

R - внутреннее сопротивление вольтметра.

Следовательно, погрешность от искажения режима цепи при измерении напряжения, тем меньше, чем меньше мощность, потребляемая средством измерения из цепи, где производится измерение. Из средств измерений, используемых для измерения напряжений, наименьшим потреблением мощности из цепи измерений обладают компенсаторы (потенциометры), электронные и цифровые приборы. Среди электромеханических приборов наименьшую мощность потребляют магнитоэлектрические и электростатические приборы.

36.3.2 Погрешности, обусловленные величиной напряжения

Диапазон измеряемых напряжений весьма широк. Для измерений напряжений в широком диапазоне значений отечественной промышленностью выпускаются различные средства измерений, обеспечивающие возможность измерений в

определённых поддиапазонах. Средства измерения напряжений делают, как правило, многопредельными. Для расширения пределов измерений напряжения используют делители напряжения, добавочные резисторы и измерительные трансформаторы напряжения. Наиболее обеспеченным средством измерений является поддиапазон средних значений (ориентировочно для напряжений – от единиц милливольт до сотен вольт). Именно для этого поддиапазона созданы средства измерений с наименьшей погрешностью измерений напряжений, так как при измерении малых и больших напряжений возникают дополнительные трудности.

При измерении малых напряжений эти трудности обусловлены термо-ЭДС в измерительной цепи, резистивными и ёмкостными связями измерительной цепи с посторонними источниками напряжения, влиянием внешнего магнитного поля, шумами элементов измерительной цепи и другими причинами.

При измерении больших напряжений возрастают требования к качеству изоляционных материалов, применяемых в средствах измерений, как для уменьшения погрешностей, так и для обеспечения безопасности обслуживающего персонала. Например, если для расширения пределов измерений используется делитель напряжения, то с увеличением измеряемого напряжения сопротивление делителя нужно увеличивать. При измерении больших напряжений сопротивление делителя может оказаться сравнимым с сопротивлением изоляции, что приведёт к погрешности деления напряжения и, следовательно, к погрешности измерений.

36.3.3 Погрешность, обусловленная частотой переменного тока

Всем средствам измерений переменных напряжений присуща частотная погрешность, обусловленная изменением сопротивлений индуктивных и ёмкостных элементов средств измерений с изменением частоты, потерями на перемагничивание ферромагнитных материалов, потерями на вихревые токи в металлических деталях средств измерений, влиянием паразитных индуктивностей и ёмкостей (на высоких частотах). Эти причины не позволяют получить одинаковую точность измерений во всём указанном диапазоне частот. В документации на средства измерений переменных напряжений обязательно указывается область частот, в которой гарантируется определённая точность измерений данным средством. Увеличение погрешности измерений с ростом частоты является общей закономерностью для средств измерений напряжений. При измерениях на частотах ниже 20 Гц появляются свои трудности, обусловленные недостаточной инерционностью подвижной части электромеханических приборов. Поэтому для измерения напряжения инфранизких частот требуются специальные устройства усреднения (интегрирования) измеряемых величин, где функцию интегрирования выполняет термоэлектрический преобразователь.

36.3.4 Погрешность, обусловленная родом тока

Наивысшая точность измерений постоянного напряжения определяется точностью государственных эталонов единицы электродвижущей силы (ГОСТ 8.027 – 89).

Для измерений весьма малых напряжений используют электрометры и фотогальванометрические приборы. Для измерения больших постоянных напряжений используют магнитоэлектрические и электростатические вольтметры. Электродинамические вольтметры редко используют для технических измерений напряжений в цепях постоянного тока. Их чаще применяют в качестве образцовых приборов при поверке средств измерений более низкого класса точности. В основу измерений переменных напряжений положен государственный специальный эталон, воспроизводящий напряжение 0,1 – 10 В в диапазоне частот 20 – 3·10 Гц. Среднее квадратическое отклонение результата измерений для эталона переменного напряжения S =5*10 -5*10 и при неисключённой систематической погрешности Θ = 1·10 - 3 ·10.

Таблица 36.1 – Некоторые факторы влияющие на напряжение

<table>
<tr><td>Влияющая величина</td><td colspan="3">Нормальное условие, если не установлено иное</td><td>Допускаемые отклонения нормального значения</td></tr>
<tr><td>Температура окружающего воздуха, ^{o}C</td><td colspan="3">23</td><td>2</td></tr>
<tr><td>Относительная влажность воздуха, %</td><td colspan="3">От 40 до 60</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Частота измеряемой величины переменного тока, Гц</td><td colspan="3">От 45 до 65</td><td>2 % нормального значения или 1/10 рабочей области для частоты выбирая меньшее из значений</td></tr>
<tr><td>Влияющая величина</td><td colspan="3">Нормальное условие, если не установлено иное</td><td>Допускаемые отклонения нормального значения</td></tr>
<tr><td>Положение прибора при проведении испытания</td><td colspan="3">Стационарные приборы-вертикальное, переносные – горизонтальное полож.</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Материал и толщина панели или опорной плоскости</td><td>F</td><td>Мате-риал</td><td>Толщ-на</td><td rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>39</td><td>Не фер-ромаг-нитный</td><td>Любая</td></tr>
<tr><td>Внешнее магнитное поле</td><td colspan="3">Полное отсутствие</td><td>40 А/м на частотах от постоянного тока до 65 Гц в любом направлении</td></tr>
<tr><td>Внешнее электрическое поле</td><td colspan="3">Полное отсутствие</td><td>1 кВ/м на частотах от постоянного тока до 65 Гц в любом направлении</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Вспомогательное питание</td><td colspan="2">Напряже ние</td><td rowspan="2">Номинальное знаение или номи- нальная область.</td><td>5 % номинального значения</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ч ас-тота</td><td>1 % номинального значения</td></tr>
</table>

Источниками основной погрешности прибора будут:

1) ограниченная точность образцовых мер и приборов, по которым градуировался данный прибор;
2) погрешности, возникающие при градуировке прибора;
3) изменение градуировки прибора вследствие старения входящих в прибор детелей и сопротивлений.

Источниками дополнительных погрешностей могут быть:
1) температурная погрешность;
2) погрешность от неуравновешенности;
3) погрешность от влияния внешних магнитных полей.

36.4 Устройство вольтметра

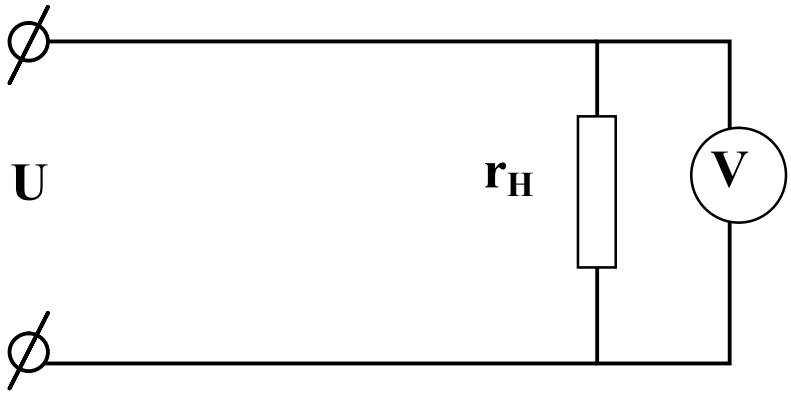


Рисунок 36.4 - Схема включения вольтметра

Для того чтобы измерить падение напряжения на нагрузке, необходимо включить вольтметр параллельно нагрузке.

Для вольтметров с добавочным сопротивлением важно иметь возможно меньший ток потребления, с тем чтобы снизить до минимума мощность, выделяемую в добавочном сопротивлении.

Электромагнитный вольтметр состоит из электромагнитного измерительного механизма и включённого последовательно добавочного резистора со стабильным сопротивлением, предназначенного для обеспечения необходимого диапазона измерений.

В показывающем электроизмерительном приборе можно выделить две части: измерительный механизм и электрическую схему (рисунок 36.5).

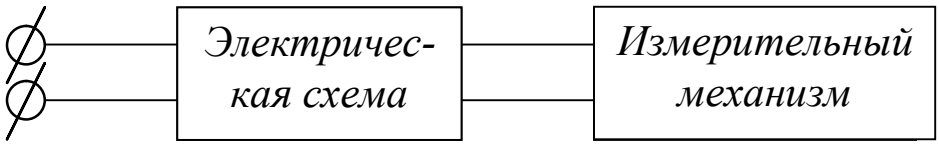


Рисунок 36.5 - Схема показывающего электроизмерительного прибора

Измерительный механизм - это совокупность деталей, предназначенных для преобразования подведённого к нему электрического тока или напряжения в перемещение указателя относительно шкалы.

Электрическая схема прибора - это совокупность электрических сопротивлений, переключателей и иных электрических элементов, соединённых определённым способом электрическими проводами, предназначенных для преобразования полного тока или напряжения, подведённого к прибору в ту его часть, которая непосредственно воздействует на измерительный механизм.

Изменение верхних пределов измерений осуществляется путём подключения различных добавочных резисторов, а также с помощью измерительных трансформаторов напряжения.

Угол отклонения подвижной части электромагнитного вольтметра:

$$\alpha = \frac{1}{2W}\frac{dL}{d\alpha}\frac{U^2}{Z^2}, \qquad (36.4)$$

где Z - полное сопротивление цепи вольтметра, т. е. сопротивлений катушки и добавочного резистора.

Шкала электромагнитного вольтметра в пределах 25 - 100 % обычно равномерна, что достигается подбором формы сердечника.

В электромагнитных вольтметрах при изменении температуры возникает температурная погрешность, обусловленная изменением сопротивления цепи вольтметра. В вольтметрах с малым верхним пределом измерений температурная погрешность может достигать больших значений.

Требования к конструкции:

1) верхний предел диапазона измерения прибора предпочтительно следует выбирать из ряда следующих числовых значений или их десятичных кратных и дольных значений: 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7,5; 8.

2) значения полного сопротивления калиброванных приборов не должно превышать 70 мОм при нормальной температуре. Значение сопротивления провода не должно отличаться более чем на 10% с установленного значения нормальной температуры.

36.5 Допускаемые перегрузки

36.5.1 Длительные перегрузки

Приборы вместе со своей невзаимозаменяемой частью, должны выдерживать длительные перегрузки равные 120% верхнего предела электрической входной величины, в течении двух часов.

После снятия перегрузки сумма временного и некоторого постоянного остаточного отклонения от нулевой отметки не должна превышать 1% длины шкалы.

После остывания до нормальной температуры приборы вместе со своими невзаимозаменяемыми вспомогательными частями, если такие имеются, должны

удовлетворять требованиям, предъявляемым к приборам данного класса точности; при этом перегрузку не следует повторять.

Испытания на длительную перегрузку не следует проводить при нормальных условиях.

Методика выполнения:

1) измеряют и записывают длину шкалы в единицах длины;

2) устанавливают на нуль и прикладывают перегрузки;

3) уменьшают возбуждение до нуля при простукивании. Немедленно измеряют и записывают отклонение указателя от нуля в единицах длины шкалы;

4) приблизительно через два часа после выполнения действий по перечислению устанавливают на нуль и повторяют определение основной погрешности.

36.5.2 Кратковременные перегрузки

Приборы вместе с их невзаимозаменяемыми вспомогательными частями, если такие имеются, должны выдерживать кратковременные перегрузки.

Значения тока и напряжения кратковременной перегрузки должны быть равны произведению соответствующего коэффициента, приведённого в таблице 36.2, и значение верхнего предела электрической входной величины, если изготовителем не установлены иные значения.

Таблица 36.2 - Кратковременные перегрузки

Обозначение класса точности	Коэффициент напряжения	Число перегрузок	Длительность каждой перегрузки, с	Интервал между последовательными перегрузками, с
0,05 - 0,5	2	5	0,5	15
1 – 3 3 - 5	2 2	9 1	0,5 5	60 -

36.6 Порядок выполнения лабораторной работы

Мероприятия, которые необходимо выполнить перед началом измерений по данной работе:

а) каждый человек, выполняющий измерения является оператором измерений. При подготовке к измерениям оператор должен ознакомиться с методикой выполнения измерений и последовательностью выполнения операций. Проверить наличие необходимого комплекта и вспомогательных материалов;

б) убедиться в том, что основные вспомогательные средства измерений имеют действующие свидетельства о поверке или калибровке метрологической аттестации. Если они отсутствуют, то необходимо проверить поверительные клейма или пломбы. Вспомогательные устройства должны пройти регламентное обслуживание;

в) выполнить операции по созданию необходимых условий измерения, включая требования безопасности;

г) подготовить объект измерений (модуль). Сверить фактические условия и создать по НД условия измерений, установить объект измерения в рабочее положение, включить питание, охлаждение, прогреть до рабочих параметров;

д) опробовать средство измерения, включить, проверить действие органов управления, убедиться в том, что прибор реагирует на ручное управление регулировки, настройки. Если средства измерений снабжены средствами самоконтроля (тестирования), то выполнить соответствующие тесты и операции;

е) провести 2-3 пробных наблюдения и сравнить результат наблюдений с ожидаемыми результатами измерений. Принять меры для устранения ошибок.

По этим пунктам расскажем более подробно.

Каждый электроизмерительный прибор работает в совокупности с другими приборами и элементами, соединёнными определённым способом в электрическую схему. В том случае, если схема будет собрана неправильно, то первое же подключение источника питания может вывести из строя один или несколько приборов. В связи с этим первому этапу работы с прибором - сборке схемы необходимо уделять наибольшее внимание.

Перед сборкой схемы целесообразно ознакомиться с техническими характеристиками входящих в схему приборов.

Размещение приборов, реостатов, переключателей и прочих элементов схемы должно быть наглядным и не требующим особого внимания. Это облегчит работу оператора и исключит возможные ошибки. Для приборов со световым отсчётом важно, чтобы они были расположены в затемнённом месте. При размещении приборов необходимо следить, чтобы вблизи них не было устройств с сильными магнитными полями. Переменные магнитные поля могут размагнитить магниты прибора, вследствии чего, нарушится градуировка прибора и его погрешность выйдет за пределы допустимой. Таким образом, прибор фактически будет выведен из строя. Постоянные магнитные поля могут исказить результат измерения.

Расстояние между приборами должно быть не менее 25 см. Следует помнить, что приборы могут изменять показания в пределах основной погрешности под влиянием помещённого вплотную с ним такого же прибора.

Следующим этапом сборки схемы будет соединение входящих в схему элементов и проверка схемы. Сборку схемы следует проводить в определённом порядке. При этом первоначально рекомендуется собрать токовые и потом потенциальные цепи.

Проверку схем рекомендуется проводить в обратном порядке. После того как схема собрана и проверена, необходимо поставить ручки и рычаги приборов в исходное положение: переключатели пределов измерения вольтметров поставить на максимальный предел измерения, ручки реостатов поставить в положение минимального тока в рабочей цепи.

В заключение рекомендуется проверить надёжность контактов, после чего можно разарретировать приборы, подключить питание к осветителям и установить указатели приборов на нулевую отметку шкалы.

При работе с прибором следует выбирать предел измерения с таким расчётом, чтобы указатель прибора при измерении по возможности находился во второй

половине шкалы. При этом относительная погрешность измерения будет тем меньше, чем ближе находится указатель к концу шкалы. Пояснить это можно следующим образом. Точность прибора характеризуется приведённой погрешностью, которая равна отношению абсолютной погрешности к верхнему пределу измерения. Таким образом, при равной абсолютной погрешности в начале и конце шкалы приведённая погрешность будет в начале и конце шкалы одинаковой, но относительная погрешность в начале шкалы будет больше, чем в конце шкалы.

По окончании работы приборы, имеющие арретиры, должны быть заарретированы.

Храниться приборы должны в футлярах или коробках в сухих и чистых помещениях.

Воздух в помещении, где хранятся приборы, не должен содержать вредных примесей, вызывающих коррозию.

36.7 Методические указания по работе на рабочем месте

На рабочем месте с использованием учебной литературы и имеющегося на нём инструмента, изучить устройство вольтметра, порядок работы с ним при измерениях. Особое внимание обратить на порядок работы при измерениях.

При проведении различного рода измерений для получения правильных результатов необходимо учитывать специфические свойства приборов. Предположим, имеется электрическая цепь, в которой установились определённые токи и напряжения. Включим в нужных нам местах цепи электроизмерительные приборы. Теперь процессы, происходящие в цепи, будут отличаться от тех, которые были до подключения приборов. Объясняется это тем, что приборы потребляют определённую энергию из цепи измерения.

При подключении приборов в цепь процессы могут изменяться не только количественно, но и качественно.

При выборе приборов следует помнить, что качественные измерения в цепи недоступны, а количественные должны быть сведены к минимуму. Чем меньше мощность потребляется прибором, тем меньшие изменения произойдут в схеме после его включения.

Меры техники безопасности:

а) К обслуживанию приборов должны допускаться лица, ознакомленные с их назначением, схемой и устройством.

б) При работе с прибором необходимо соблюдать общие правила безопасности труда, распространяющиеся на приборы, измеряющие напряжение.

в) Не допускается эксплуатация приборов в системах, напряжение в которых превышает верхнее значение диапазона.

г) Не допускается производить какие-либо работы по монтажу при включенном электрическом приводе.

д) На корпусе прибора должен быть заземляющий зажим, отмеченный знаком заземления по ГОСТу 12.2.007.0-75.

з) По способу защиты человека от поражения электрическим током, прибор должен соответствовать классу 01 по ГОСТу 12.2.007.0-75.

к) Эксплуатация изделия разрешается только при наличии инструкции по безопасности.

36.8 Пример расчёта погрешностей при выполнении отчёта

Различают измерения с однократными и многократными наблюдениями. Наиболее распространены измерения с однократными наблюдениями. Измерения с числом наблюдений n менее 4-х относятся к однократным.

Доверительная граница погрешности результата измерения с однократным наблюдением не превышает допускаемую погрешность измерения.

Как правило, для повышения точности таких измерений делают 2 или 3 наблюдения, и за результат измерения принимают среднее арифметическое значение результатов этих наблюдений.

За результат измерения принимают результат однократного наблюдения (с введением поправки), используя предварительно полученные данные о источниках, составляющих погрешность.

Для работы с вольтметром нужны следующие приборы и оборудование:

а) переносной потенциометр типа ПП или другого типа;

б) источник регулируемого напряжения ИРН;

в) магазин сопротивлений;

г) соединительные медные провода;

д) стандартные градуировочные таблицы термопар;

е) термостат для воспроизведения условий градуировки термопар по таблицам.

Стрелку поверяемого прибора корректором устанавливают на нуль. В вольтметрах, не имеющих устройства для компенсации отклонений температуры свободных концов термопары, стрелку устанавливают на отметку, соответствующую окружающей температуре.

На магазине сопротивлений устанавливают величину $R_{вн}$, равную указанному на циферблате сопротивлению внешней цепи. При поверке вольтовой шкалы сопротивление $R_{вн}$ не включают.

После установки стрелки вольтметра на нуль и проверки схемы включают источник регулируемого напряжения (ИРН) (устанавливают переключатель ИРН в положение включено).

Включают потенциометр на измерение. Плавным вращением рукоятки реостата ИРН увеличивают подаваемое напряжение на зажимы вольтметра и устанавливают стрелку на первой поверяемой отметке шкалы. Производят отсчёт и запись показаний потенциометра и поверяемого вольтметра.

Аналогично устанавливают стрелку прибора на второй оцифрованной отметке шкалы, затем на третьей и т. д. до конца шкалы. При этом производят отсчёт и запись показаний. Затем отсчёты производят при установке стрелки на те же отметки шкалы при движении её справа налево, т. е. обратным ходом.

Полученные результаты заносят в протокол работы.

Погрешность поверяемого прибора не должна превышать γ (формула 36.5):

$$\gamma = \frac{ab}{100}, \qquad (36.5)$$

где *a* - Э. Д. С. для верхнего предела шкалы поверяемого прибора;

b - класс точности поверяемого прибора.

Переменные напряжения свыше киловольта измеряют с помощью наружных измерительных трансформаторов напряжения электромагнитными, выпрямительными и электродинамическими приборами. Наиболее точные измерения действующих значений синусоидальных напряжений можно осуществить электродинамическими и цифровыми приборами и компенсаторами переменного тока.

36.9 Пример отчета по лабораторной работе

Цель работы: Ознакомиться с вольтметром. Узнать основные понятия об измерениях, методах и средствах их проведения.

Согласно нормативно - технической документации задано измерить175 ± 0,1В.

В данной лабораторной работе предполагается использование вольтметра первого класса точности, т.е. погрешность показаний прибора составляет 1 %.

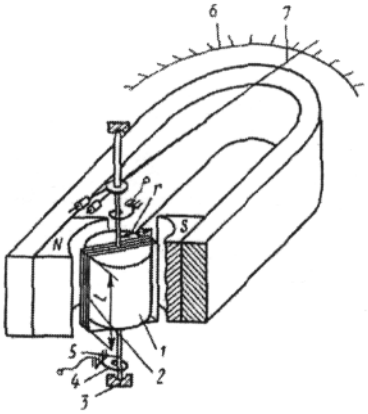


Рисунок 36.6 - Схема измерительного механизма магнитоэлектрического вольтметра

Механизм состоит из рамки *2,* вращающейся в кольцевом зазоре между полюсными наконечниками постоянного магнита NS и цилиндрическим сердечником *1* из мягкой стали. Рамка 2 вместе со стрелкой 7 для отсчета показаний по шкале *6* прибора закреплены на кернах *5,* опирающихся на подпятники *3.* Установленные на кернах спиральные пружинки *4,* создающие противодействующий повороту рамки момент, крепятся одним концом к оси *5,* а другим - к неподвижной части прибора. Рамка представляет собой прямоугольник длиной *l* и шириной *2г* и состоит из *n* витков тонкой медной проволоки, скрепленных между собой лаком.

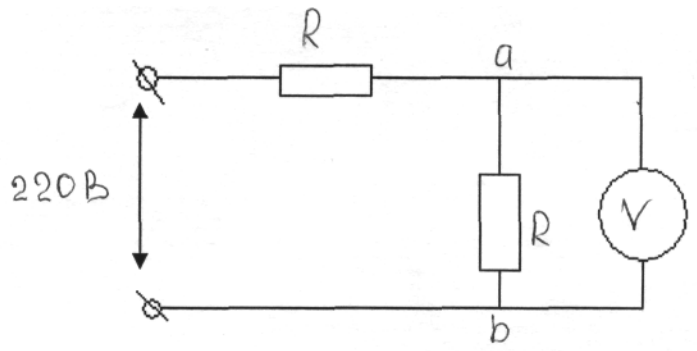


Рисунок 36.7 - Схема цепи включения вольтметра

Вычислим неисключённую систематическую погрешность:

$$\Theta(P)=\Delta_C+\Delta_{ОП}+\Delta_{УСЛ}, \qquad (36.6)$$

Пусть класс точности прибора равен 1.

$A_{НТД}$ =148 ± 0,1 В

X_N = 150 В; $\Delta_C = 1\% \cdot \frac{150}{100\%} = 1{,}5$ В,

$\Delta_{ОП} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 1{,}5 = 0{,}075$ В. Составляющих НСП только два - Δ_C и $\Delta_{ОП}$

$\Theta(Д) = \sum_{i=1}^{N} |\pm\Theta_i|$; при N ≤ 3 составляющих НСП; Θ(P) =1,5+0,075 =1,575 В > 0,1 В;

Исходя из требований НД о точности измерения (± 0,1 В), данный прибор с классом точности 1,0 не подходит для измерения, так как достижение необходимой точности не обеспечивается. Воспользуемся новым вольтметром с классом точности, равным 0,02.

Пусть класс точности прибора равен 0,02.

$\Delta_C = 0{,}02\% \cdot \frac{150}{100\%} = 0{,}03$ В, $\Delta_{ОП} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 0{,}03 = 0{,}0015$ В.

Θ(P)=0,03 + 0,0015 = 0,0315 В < 0,1В - прибор подходит.

Коэффициент точности $К_т$ = 0,2/0,0315 = 6,349, что вполне достаточно.

В результате проведения измерений получили результаты наблюдений:

x_1 = 148,02 В;
x_2 = 148,01 В;
x_3 = 148,02 В;

Определим среднее значение $\bar{x}$:

$$\tilde{o} = \frac{148{,}02 + 148{,}01 + 148{,}02}{3} = 148{,}006 \text{ В}; \qquad (36.7)$$

Определяем среднее квадратическое отклонение:

$$S(x) = \sqrt{\frac{(148{,}02 - 148{,}006)^2 + (148{,}01 - 148{,}006)^2 + (148{,}02 - 148{,}006)^2}{3-1}} = 0{,}015 \text{ В};$$

Определяем отношение Θ(P)/ S(x):

Θ(P)/S(x) = 0,0315/0,015 = 2,1

Так как 0,8 < 2,1 < 8,0 то:

$$\Delta P = K_p \left[\Theta(P) + \in P\right], \qquad (36.8)$$

$$\gamma = \frac{Q(P)}{\sqrt{3} \cdot K(P) \cdot S(x)}, \qquad (36.9)$$

$$\gamma = \frac{0{,}0315}{\sqrt{3} \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}015} = 0{,}933;, \qquad К_р = \frac{\sqrt{1+\gamma^2}}{1+\gamma} = 0{,}71,$$

$$\in (Д) = Z_{p/2} \cdot S(x), \qquad (36.10)$$

где $Z_{p/2}$ - Коэффициент Лапласса, определяемый по таблице.

$\in (Д) = 1{,}414 \cdot 0{,}015 = 0{,}021$ В;

ΔP = 0,71 [0,0315 + 0,021] = 0,0373 = 0,037 В ;

Результат измерений теперь можно записать следующим образом:

A = 148 ± 0,037 В

Вывод по проведенной лабораторной работе

В результате проведения лабораторной работы измерили напряжение, рассчитали СКО. С доверительной вероятностью 0,95 определили, что реальное значение напряжения находиться в доверительных границах 148±0,037 В.

36.10 Варианты и исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ по списку группы	Напряжение, U = X,x (В)	№ по списку группы	Напряжение, U = X,x (В)
1	75	17	140
2	80	18	145
3	87	19	150
4	89	20	156
5	93	21	158
6	97	22	164
7	100	23	168
8	105	24	170
9	108	25	175
10	112	26	179
11	115	27	183
12	118	28	186
13	124	29	190
14	127	30	195
15	130	31	200
16	135	32	205

36.11 Вопросы для самоконтроля

- К каким видам измерений относятся измерения по лабораторной работе:

а) прямым;

б) косвенным;

в) нет правильного ответа.

- К какой области измерений относятся измерения по лабораторной работе:

а) линейно-угловым;

б) электрическим;

в) механическим;

г) нет правильного ответа.

- Какие вспомогательные средства измерений необходимы для выполнения лабораторной работы:

а) микрометр;

б) переносной потенциометр;

в) термометр;

г) нет правильного ответа.

- Какими величинами оперируют в лабораторной работе:

а) мм. Рт. Столба;

б) паскаль;

в) вольт;

г) нет правильного ответа.

- Данная работа относится к измерениям с:

а) однократными наблюдениями;

б) многократными наблюдениями.

- Какая формула нужна для вычисления СКО:

а) $S(x)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n_2} S_i^2(x)}$;

б) $S(x)=K(P)\sqrt{\sum_{i=1}^{n_1} \Theta_i^2}$;

в) $S(x)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(X_{i0}-\overline{X}\right)^2\cdot P_i}$;

г) нет правильной формулы.

- Какими методами измерений необходимо выполнять лабораторную работу?

а) косвенными;

б) прямыми;

- Какой объект измерения предусмотрен лабораторной работой?

а) метр;

б) напряжение;

в) сила тока.

- Какие параметры из НД являются нормой для результатов измерений для сравнения при испытании и контроле?

а) два вольта;

б) пять вольт;

в) десять вольт.

37 Лабораторная работа № 37 Измерение мультиметром - ампервольтомметром

Введение

Для точных измерений величин в метрологии разработаны приемы использования принципов и средств измерений, применение которых позволяет исключить из результатов измерений ряд систематических погрешностей и тем самым освобождает экспериментатора от необходимости определять многочисленные поправки для их компенсации, а в некоторых случаях вообще является предпосылкой получения сколько-нибудь достоверных результатов.

Многие из этих приемов используют при измерении только определенных величин, однако существуют и некоторые общие приемы, названные методами измерения.

Методы измерений в метрологической практике и в общем приборостроении часто применяются специальные приемы для исключения самих источников систематических погрешностей или их компенсации.

Многие методы и приемы исключения систематических погрешностей в настоящее время все в большей степени реализуются схемами самих измерительных средств. В результате разработка методологии измерений приобретает все большее значение непосредственно для проектирования измерительной аппаратуры.

37.1 Цель работы

Цель работы состоит в приобретении студентами навыков практических расчетов погрешностей при измерениях мультиметром, изучить устройство лабораторной установки МСИ 3м и применить её в данной лабораторной работе.

37.2 Измерение

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств.

Раскрывая техническую сторону измерения, это определение не отвечает на вопрос о его метрологической сущности. Несмотря на то что измерения непрерывно развиваются, становятся всё более и более сложными, а само определение дополняется с использованием терминологии кибернетики и теории информации, их метрологическая суть остаётся без изменения и сводится к уравнению измерения:

$$X = Q\,[x], \tag{37.1}$$

или

если Q = n, то

$$n = \frac{X}{[x]}, \tag{37.2}$$

где X – измеряемая величина;

[x] – единица величины.

Поэтому необходимо понимать, что любое измерение как познавательный процесс заключается в сравнении путём физического эксперимента данной величины с некоторым её значением, принятым за единицу сравнения, т.е. с мерой.

Такой подход выработан практикой измерений, исчисляемой сотнями лет. Ещё великий математик Л. Эйлер утверждал: "Невозможно определить или измерить одну величину иначе как в качестве известной другой величины этого же рода и указав соотношение, в котором они находятся".

Возвращаясь к описанию типов шкал, констатируем, что данному условию (т.е. понятию измерение) отвечают лишь процедуры определения разностей величин по шкале интервалов или величины по шкале отношений.

Основываясь на приведённом определении измерения, можно формально утверждать, что понятию "измерение" соответствует лишь такой информационный процесс, при котором измерительная информация, возникающая при взаимодействии средства измерения с объектом измерения, преобразуется так, чтобы в итоге получить результат измерения в виде именованного числа (220 В, 15 см) в явном виде. Однако в технике широко распространены информационные структуры и процессы, в которых измерительная информация необходима и используется в форме сигнала измерительной информации (например, электрического) и является исходной для решения задач, конечной целью которых является не получение оценки значения физической величины в принятых единицах, а формирование на основе обработки и анализа этого сигнала определённых суждений, логических заключений об объекте (типа "годен – не годен", "исправен – неисправен", "больше – меньше"). К числу таких задач относятся контроль качества, диагностирование технического состояния систем и машин, управление технологическими процессами и др. Процессы получения измерительной информации в форме сигнала измерительной информации также относятся к измерениям при условии, что эта информация получена с помощью технических средств путём сравнения измеряемой физической величины с её единицей.

Измерения, как экспериментальные процедуры весьма разнообразны и классифицируются по разным признакам.

По способу нахождения искомого значения измеряемой величины различают прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения.

Значение физической величины может быть найдено посредством однократного её измерения, либо путём нескольких, следующих друг за другом измерений с последующей статистической обработкой их результатов. В первом случае измерения называют однократным или простыми, во втором – измерениями с многократными наблюдениями или статистическими. При этом под наблюдением понимают однократный отсчёт показания средства измерений.

37.3 Многообразие мультиметров и применение мультиметров

37.3.1 Цифровые мультиметры серии VC 890

Цифровые мультиметры серии VC 890 предназначены для использования в цехах и лабораториях, для радиолюбителей и для работы в домашних условиях. Модель имеет все базовые функции и возможность измерения емкости конденсаторов непосредственно в схеме. Мультиметр имеет большой информативный ЖК-дисплей, разрядностью $3_{½}$ (максимальное индицируемое число 1999). Прибор соответствует классу точности 1,5, разработан в соответствии со стандартом безопасности IEC – 1010 категории II.

37.3.2 Цифровой мультиметр SE8302

Цифровой мультиметр SE8302 предназначен для использования в цехах и лабораториях, для радиолюбительства и для работы в домашних условиях. Мультиметр имеет ЖК-дисплей с разрядностью $3_{1/2}$ (максимальное индицируемое

число 1999). Особенностью мультиметра является очень широкий диапазон измерения емкостей.

37.3.3 Цифровой мультиметр SE8301

Цифровой мультиметр SE8301 предназначен для использования в цехах и лабораториях, для радиолюбительства и для работы в домашних условиях. Мультиметр имеет ЖК-дисплей с разрядностью $3_{1/2}$ (максимальное индицируемое число 1999). Особенностью мультиметра является измерение индуктивностей и измерение ёмкостей от 0,1 пикофарады.

37.3.4 Цифровые мультиметры серии 400Р

Малогабаритные цифровые мультиметры серии 400Р предназначены для радиолюбительства и для работы в домашних условиях. Особенностью серии является сочетание очень большого набора измерительных функций и малых размеров мультиметра. Мультиметры имеют ЖК-дисплей, разрядностью $3_{3/4}$ (максимальное индуцируемое число 3999), пределы измерения выбираются как вручную, так и автоматически. Приборы снабжены схемой автоматического отключения через 15 минут простоя.

37.3.5 Цифровой мультиметр 4000ZA

Цифровой мультиметр 4000ZA предназначен для использования в цехах и лабораториях, для радиолюбительства и для работы в домашних условиях. Особенностью модели является режим относительных измерений и режим измерения скважности импульсов. Мультиметр имеет ЖК-дисплей, разрядностью $3_{3/4}$ (максимальное индицируемое число 3999), пределы измерения выбираются автоматически.

Прибор снабжён схемой автоматического. Прибор соответствует 2 классу точности, разработан в соответствии со стандартом безопасности IEC-1010 категории II.отключения через 15 минут простоя.

37.3.6 Профессиональный цифровой мультиметр HC-506

Профессиональный цифровой мультиметр HC-506 (Protek 506) выпускается в течении ряда лет, но до сих пор является одним из самых популярных профессиональных мультиметров. Его отличает великолепное качество и надёжность, присущая дорогим мультиметрам Fluke и развитый набор измерительных функций в сочетании с низкой ценой. Прибор имеет весьма малые погрешности измерений.

Наличие порта RS232 позволяет выводить и обрабатывать результаты измерений на компьютере, режим реального измерения среднеквадратичных значений для переменных сигналов позволяет получать точные результаты измерений, не задумываясь о форме исследуемого сигнала.

Прибор имеет 10 ячеек памяти для записи измеренных значений, а также функции обработки входных сигналов с отображением результатов измерений на дополнительной шкале: МИН/МАКС/СРЕДНЕЕ/ОТНОСИТ.

Режим измерения в децибелах (дополнительная шкала) позволяет проводить быстрый анализ уровней сигналов звукового диапазона в широком динамическом диапазоне.

Мультиметр имеет двойной ЖК-дисплей разрядностью по $3_{3/4}$ (максимальное индицируемое число 3999), а также 38-сегментную графическую шкалу. Выбор диапазона осуществляется как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Прибор имеет высокоточный генератор прямоугольных сигналов и таймер на установку времени от 0 до 10 часов.

Мультиметр соответствует классу точности 1,5, разработан в соответствии со стандартом безопасности IEC-1010 категории II и UL1244.

37.3.7 Цифровой мультиметр М 83

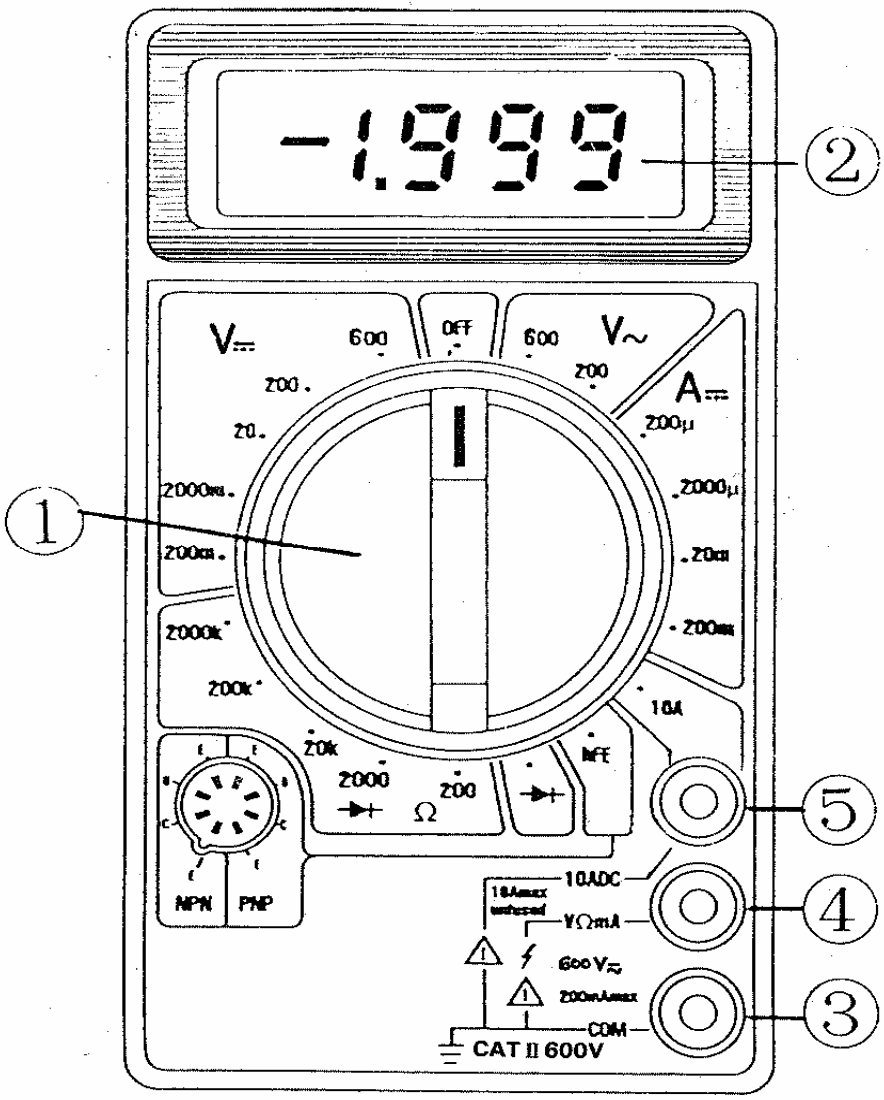


Рисунок 37.1 - Мультиметр типа М 83

Обозначения на рисунке 37.1 соответствуют следующей аппликации:

1 - переключатель вида изменений и диапазона измерений; 2 - Табло - дисплей мультиметра; 3 - Гнездо для щупа измерения или проводного интерфейса с нулевым или заземлённым потенциалом; 4 - Гнездо для щупа вида измерения - тока, напряжения, сопротивления с типом электрического измерения - постоянный ток (–), переменный ток (~); 5 - Гнездо для измерения электрического тока больших параметров - до 10 А.

37.4 Ампервольтомметр типа ТЛ - 4М

37.4.1 Назначение

Ампервольтомметр типа ТЛ - 4М предназначен для измерения постоянного синусоидального тока и напряжения частотой 50 Гц, переменного синусоидального тока частотой 50 Гц, переменного синусоидального напряжения частотой 40 – 15000 Гц, сопротивления постоянному току и параметров транзисторов малой мощности:

$I_{ко}$ – обратного тока коллекторного перехода (переход коллектор - база);

$I_{эо}$ – обратного тока эмиттерного перехода (переход эмиттер - база);

$I_{кн}$ – начального тока коллектора;

ß – статического коэффициента усиления по току.

Прибор предназначен для радиолюбителей, а также может быть использован в лабораторных и цеховых условиях.

Прибор рассчитан на работу от минус 10 °С до плюс 50 °С и относительной влажности до 80 %.

37.4.2 Пределы измерений

Конечному значению шкалы соответствует:

- при измерении силы постоянного тока
  0,1-0,3-1-3-30-300 и 3000 мА;
- при измерении силы переменного тока
  3-30-300 и 3000 мА;
- при измерении постоянного напряжения
  0,1-1-3-10-30-100-300 и 1000 В;
- при измерении переменного напряжения
  1-3-10-30-100-300 и 1000 В.

При измерении сопротивлений конечному значению рабочей части шкалы (цифра 300)соответствует:

0,3	кОм при множителе		* 1
3	кОм	-	* 10
30	кОм	-	* 100
0,3	МОм	-	* 1000
3	МОм	-	* 10 000

Последний оцифрованной точке шкалы 500 (в нерабочей части шкалы) соответствует 0,5 кОм, 5 кОм, 50 кОм, 0,5 МОм, 5 МОм при тех же множителях. Примечание – Измерения при множителе *10 000 производится с помощью внешнего источника постоянного тока напряжением 24 –30 В.

Параметры транзисторов определяются в интервалах:

$I_{ко}$ – 0 – 100 мкА $I_{эо}$ – 0 – 100 мкА

$I_{кн}$ – 0 – 100 мкА ß – 0 – 500

37.4.3 Погрешность прибора

Основная погрешность прибора составляет от конечного значения рабочей части шкалы при измерении:

- силы постоянного тока на пределах 0,1; 0,3; 1 и 3 мА не более ± 2,5 %, на - пределах 30, 300, 3000 мА не более ± 4,0 %;
- силы переменного тока синусоидальной формы частотой 50 Гц не более ±4,0 %;
- постоянного напряжения не более ± 4,0 %;
- переменного напряжения синусоидальной формы в пределах нормальной области частот (таблица 37.4.1) не более ± 4,0 %.

Основная погрешность при измерении омических сопротивлений не более ± 2,5 % от длины рабочей части шкалы (длина рабочей части шкалы омметра 68 мм)

Таблица – 37.4.1 – Область частот

Пределы измерения, В	Области частот (нормальная и рабочая), Гц
3, 10, 30	40-50-1000-15000
1, 100	40-50-1000-4000
300	40-50-500-2000
1000	40-50-500-700

При измерении $I_{ко}$, $I_{эо}$, $I_{кн}$ основная погрешность не превышает ± 2,5 % от конечного значения шкалы; при определении коэффициента усиления β погрешность не нормируется. Прибор соответствует классу точности 1,5.

Основная погрешность прибора не превышает указанных величин при пользовании им в следующих нормальных условиях:

а) температура окружающего воздуха плюс (20 ± 5) °С;

б) положение прибора горизонтальное;

в) коэффициент переменной составляющей постоянного тока и напряжения не более 3 %;

г) переменные ток и напряжение должны изменяться практически синусоидально (коэффициент искажения не более 2 %);

д) частота переменного тока 50 Гц, напряжения – в пределах нормальной области частот с точностью ± 2 %;

е) практическое отсутствие электрических и магнитных полей (кроме земного) и ферромагнитных масс вблизи прибора.

Изменение показаний прибора, вызванное отклонением:

- температуры окружающего воздуха от плюс 20 ± 5 °С до любой температуры в интервалах от минус 10 °С до плюс 50 °С на каждые 10 °С не должно превышать основной погрешности, при измерении сопротивлений – половины основной погрешности;
- частоты от границы нормальной области при измерении переменного напряжения до любого значения частоты в рабочей области (см. таблицу 4.1) не должно превышать основной погрешности.

37.4.4 Потребление и внутреннее сопротивление

Потребление прибора при использовании его для измерения напряжения характеризуется величиной тока, проходящего через измерительную систему при номинальном напряжении, равном пределу измерения, на который включён прибор.

Величина потребляемого тока при измерении постоянного напряжения составляет 100 мкА, переменного – 300 мкА.

Потребление прибора при использовании его для измерения тока характеризуется небольшим падением напряжением при номинальном токе, равном пределу измерения, на который включён прибор.

Величина падения напряжения при измерении постоянного тока составляет:

- на пределе 100 мкА 0,1 В;
- на остальных пределах не более 0,9 В;
- при измерении переменного тока не более 1,2 В.

Входное сопротивление прибора постоянному напряжению 10 кОм/В, переменному – 2,5 кОм/В.

37.4.5 Устройство прибора

Конструктивно прибор состоит из следующих основных частей:

а) измеритель магнитоэлектрической системы (микроамперметр 100 мкА) с подвижной частью на кернах;

б) передняя панель (крышка) прибора, к которой крепятся измеритель, клеммы, два переменных резистора (для установки нуля и установки тока базы), четыре переключателя:

IUR – вид работ,

npn-pnp – тип транзистора,

⎓ - ~ - род тока,

$I_к$ – $I_б$ – цепь транзистора,

в) дисковый переключатель (пределов измерения) с подвижными контактными;

г) монтажная плата, на которой также установлены неподвижные контакты дискового переключается;

д) кожух прибора с держателями встроенных элементов и со съёмной крышкой для доступа к ним.

37.4.6 Подготовка к работе

Для получения правильных результатов при измерении и для предупреждения возможных повреждений прибора при пользовании им следует придерживаться следующих общих правил:

а) перед измерением прибор установить в горизонтальное положение;

б) стрелку прибора установить при помощи корректора на "0";

в) переключатели: вид работ, род тока, тип транзистора, цепь транзистора установить в нужное положение;

г) переключатель пределов измерения установить в положение, соответствующее измеряемой величине.

Если последняя неизвестна даже приблизительно, следует начинать измерения с максимального предела, постепенно переходя на наиболее подходящий предел;

д) включение прибора в измерительную схему и подключение транзисторов производить в соответствии с маркировкой зажимов;

е) не следует производить переключения прибора под напряжением;

ж) по окончании измерений необходимо установить переключатель пределов измерения в положении "0".

Включение прибора в измерительную цепь производят посредством прилагаемых к прибору соединительных проводов.

37.5 Порядок работы ампервольтомметра ТЛ-4М

37.5.1 Измерение тока и напряжения

Переключатель вид работ находится в положение "IUR", переключатель род тока – установить в положение соответствующее роду измеряемого тока (напряжения), дисковый переключатель – на требуемый предел измерения (положение переключателей тип транзистора и цепь транзистора безразлично).

Измерение постоянного тока на пределе 100 мкА и постоянного напряжения на пределе 100 мВ производится при общем положении дискового переключателя "-100 mV μA".

Отсчёт измеряемой величины производится на всех пределах, за исключением предела "1V" переменного напряжения и пределов переменного тока по двум равномерным верхним шкалам с делениями от 0,1 до 3 и 0,2 до 10, имеющим общее обозначение ≃ V – A.

Если применяется предел измерения, кратный трём (например, 0,3 мА, 3 МА, 30 мА и т.д.), отсчёт измерений производится по шкале с делениями от 0,1 до 3; если кратный десяти - по шкале с делениями от 0,2 до 10.

Для предела измерения "1 V" переменного напряжения предусмотрена шкала, обозначенная "~1V". Рабочая часть этой шкалы имеет 8 делений и начинается от 0,2 В.

Для переменного тока предусмотрена шкала, обозначенная "~А".

Вся шкала соответствует пределу измерения. При равномерной шкале цену одного деления шкалы получим делением величины применяемого предела измерения на число делений.

При наличии в проверяемой цепи напряжения постоянной и переменной составляющих прибор подключается через разделительный конденсатор. При этом измеряется только переменная составляющая напряжения.

37.5.2 Измерение сопротивлений

Измерение сопротивлений следует производить только при обесточенных цепях. Этим обеспечивается правильность результатов измерений и исключается возможность повреждения прибора.

Измерение сопротивлений производится при помощи встроенного сухого элемента 1,5 В на пределах

$\times 1, \times 10, \times 100,$

двух элементов по 1,5 В на пределе

$\times 1000,$

внешнего источника постоянного тока напряжением 24 – 30 В на пределе

$\times 10000.$

При помощи встроенных сухих элементах измерение проводится следующим образом:

а) переключатель вид работ находится в положении "IUR", переключатель род тока установить в положение " – " (постоянный ток), дисковый переключатель – на требуемый предел измерения;

б) замкнуть общие клеммы " – " и " + ";

в) отрегулировать стрелку при помощи ручки "Уст. 0" на нуль по шкале омметра;

г) разомкнуть клеммы " – " и " + ", подключить к ним измеряемое сопротивление и произвести отсчёт по шкале омметра. Показания стрелки по шкале омметра в омах необходимо умножить на множитель переменного предела измерения.

При помощи внешнего источника постоянного тока измерение производится следующим образом:

а) установить предел измерения

$\times 10000$ (остальные переключатели остаются в том же положении);

б) подключить к общим зажимам " – " и " + " источник постоянного тока напряжением 24 –30 В;

в) отрегулировать стрелку при помощи ручки "Уст. 0" на нуль по шкале омметра;

г) отсоединить источник от зажима " + " и включить измеряемое сопротивление (рисунок 37.2).

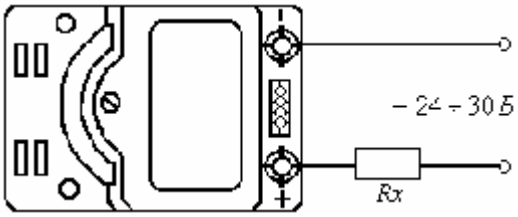


Рисунок 37.2

Показания стрелки по шкале омметра в омах необходимо умножить на $\times 10000$.

С целью удлинения срока службы элементов не рекомендуется излишне долго держать свободные штепсельные концы проводов прибора подключёнными к измеряемому сопротивлению или замкнутыми между собой накоротко.

37.5.3 Измерение параметров транзистора

Отсчёт показаний при измерении параметров транзисторов производится (по верхней шкале) при установке переключателя вид работ в положении транзистор.

37.5.3.1 Измерение $I_{ко}$

Обратный ток коллекторного перехода измеряется по схеме (рисунок 37.3) с разомкнутой цепью эмиттера. Установить следующее положение переключателей:

- тип транзистора – согласно типу поверяемого транзистора;
- в положение "$I_к$";
- род тока – положение " – ";
- дисковый – положение " $I_{ко}$".

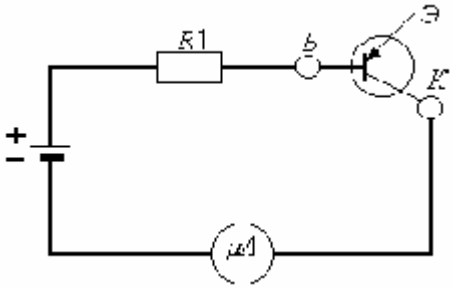


Рисунок 37.3

Проверяемый транзистор устанавливается в соответствии с маркировкой клемм (Э, К, Б, Э) – коллектор к клемме "К", база к клемме "Б". Эмиттерный вывод не подключается. Стрелка измерительного прибора показывает $I_{ко}$ на пределе 100 мкА.

37.5.3.2 Измерение $I_{эо}$

Обратный ток эмиттерного перехода измеряется по схеме (рисунок 37.4) с разомкнутой цепью коллектора.

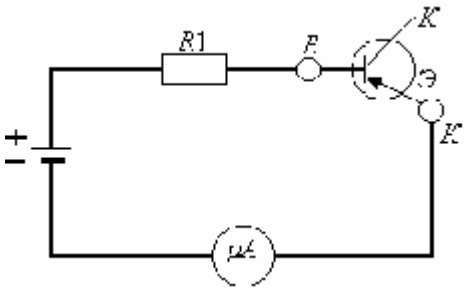


Рисунок 37.4

Положение переключателей то же, что и при измерении $I_{ко}$. База транзистора подключается к клемме "Б", эмиттер к клемме "К". Коллекторный вывод не подключается. При этом стрелка измерительного прибора показывает значение $I_{эо}$ на пределе 100 мкА.

37.5.3.3 Измерение $I_{кн}$

Начальный ток коллектора измеряется в схеме с общим эмиттером и базой (база соединена с эмиттером) (рисунок 37.5).

Положение переключателе то же, что и при измерении $I_{ко}$. База и эмиттер транзистора подключается к клемме "Б", коллектор – к клемме "К".

При этом стрелка измерительного прибора показывает значение $I_{кн}$ на пределе 100 мкА.

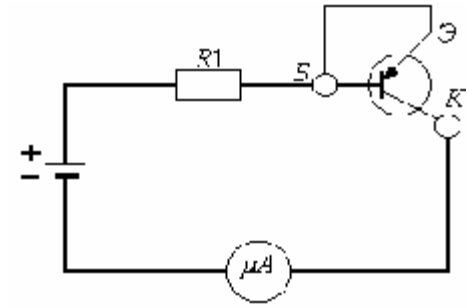


Рисунок 37.5

37.5.3.4 Определение статического коэффициента усиления

При определении статического коэффициента усиления "β" выводы транзистора подключаются к клеммам Э, К, Б или К, Б, Э (в зависимости от расположения выводов) (рисунок 37.6). При измерении необходимо учесть проводимость транзистора (p-n-p или n-p-n).

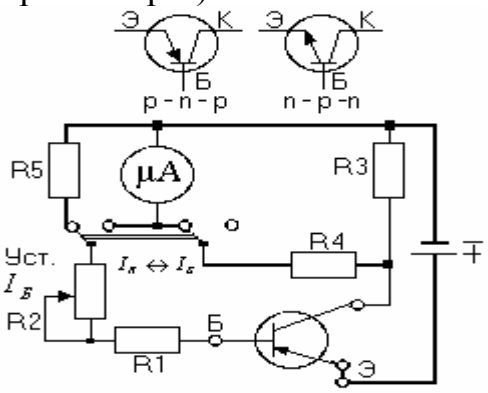


Рисунок 37.6

Статический коэффициент усиления β определяется по формуле:

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_Б} = \frac{I_{K2} - I_{K1}}{I_{Б2} - I_{Б1}}\ , \qquad (37.1)$$

Дисковый переключатель устанавливается в положение "$I_Б$, $I_к$", переключатель цепь транзистора положение "$I_Б$", положение остальных переключателей остаётся, как при измерении $I_{ко}$. При этом конечное значение шкалы соответствует 100мкА.

Измерение производить в следующем порядке:

Задать такую величину тока базы, при котором удобно определить ток коллектора (около 50мкА).

Для измерения тока коллектора переключатель $I_Б$ - $I_к$ следует установить в положение $I_к$. При этом конечное значение шкалы соответствует 10 мА. Далее переключатель $I_Б$ -$I_к$ снова переключают в положение $I_Б$ и увеличивают ток базы на 20 – 40 мкА. При последующем переключении $I_Б$ - $I_к$ в положение $I_к$ снова определяется величина тока коллектора.

При всех измерениях параметров транзисторов отсчет производится по верхней шкале.

37.6 Пример отчета по лабораторной работе

Цель работы: Измерить сопротивление цепи переменного тока. Найти СКО и доверительную границу НСП.

Сделав необходимое число измерений, результат оформим в виде таблицы.

Таблица 37.6.1 – Результаты измерений

Таблица 37.6.1

Показания прибора, (Ом)	Погрешность, допустимая по НТД, Ом	Среднее значение, Ом
49,53 49,50 49,55	± 0,0343	49,53

Находим среднее значение измеряемой величины:

$$\bar{x} = \frac{49{,}53 + 49{,}50 + 49{,}55}{3} = 49{,}53\ \text{Ом}, \qquad (37.6.1)$$

Вычисляем дисперсию:

$$D = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 = \left[(49{,}53 - 49{,}53)^2 + (49{,}5 - 49{,}53)^2 + (49{,}55 - 49{,}53)^2\right] = 0{,}0013; \qquad (37.6.2)$$

Вычисляем СКО результата наблюдения:

$$S(X)=\sqrt{\frac{D}{n-1}}=\sqrt{\frac{0{,}0013}{2}}=0{,}0255\text{ Ом};\qquad S(\overline{X})=\frac{S(X)}{\sqrt{3}}=\frac{0{,}0255}{\sqrt{3}}=0{,}0147\text{ Ом}\qquad(37.6.3)$$

Определяем погрешность метода измерения:

Ток в цепи:

до включения амперволтомметра:

$$\mathrm{I}=\frac{\mathrm{E}}{R_E+R},\qquad(37.6.4)$$

где $I_к$ – верхний предел измерения, 100мкА;

R_A – внутреннее сопротивление, R_A =2500 Ом;

E – напряжение цепи, 27 В;

R_E = 190 Ом;

R = 1900 Ом.

$$I=\frac{27}{190+1900}=13{,}4\text{ мкА}$$

после включения амперволтомметра:

$$\mathrm{I}_A=\frac{\mathrm{E}}{R_E+R+R_A},\qquad(37.6.5)$$

$$\mathrm{I}_\mathrm{A}=\frac{27}{110+1900+2500}=5{,}9\text{ мкА}$$

Погрешность метода измерения тока, обусловленная внутренним сопротивлением амперволтомметра:

$$\gamma_M=\frac{1}{1+\frac{R_{BX}}{R_A}},\qquad(37.6.6)$$

$$\gamma_{\grave{I}}=\frac{1}{1+\frac{2010}{2500}}\cdot100\%=\frac{1}{1{,}804}\cdot100\%=55{,}4\%$$

где $R_{вх}$ – входное сопротивление цепи со стороны измерителя тока.

$$R_{BX}=R_E+R,\qquad(37.6.7)$$

$$R_{BX}=190+1900=2010\text{ Ом}$$

Приведенная погрешность прибора:

$$\gamma=\frac{\Delta\cdot100}{X_N},\qquad(37.6.8)$$

где X_N – нормирующее значение.

$$\gamma=\Delta=2{,}5\Rightarrow K_{точ}=2{,}5$$

$$\Delta\mathrm{I}_{\max}=\pm\frac{K_A}{100}\cdot100\%,\qquad(37.6.9)$$

$$\Delta\mathrm{I}_{\max}\pm0{,}025$$

Относительная погрешность показания прибора:

$$\gamma_n = \pm \frac{\Delta I_{max}}{I_A} \ , \qquad (37.6.10)$$

$$\gamma_n = \pm \frac{0.025}{5.9} = \pm 0.0042 = 0.42\ \%$$

Находим доверительную границу НСП результата измерений Θ(P) согласно РМГ 29-99:

$$\Theta(P) = \pm \left| \sum \Theta_i \right| \ , \qquad (37.6.11)$$

$$\Theta(P) = \pm(\Delta_{пред} + \Delta I_{max}) \ , \qquad (37.6.12)$$

$$\Delta_{пред.} = 1.372 дел. \times 0{,}025 B = 0{,}0343\ \text{Ом}$$

$$\Theta(P) = \pm 2{,}5343\ \text{Ом}$$

Вычисляем доверительную границу погрешности результата измерений:

$$\frac{\Theta(p)}{S(x)} = \frac{2{,}5343}{0{,}0147} = 172{,}4 \ >> \ 8{,}0$$

Так как $\frac{\Theta(P)}{S(P)} > 8$, то доверительную границу погрешности результата измерений будем вычислять по формуле:

$$\Delta(P) = \Theta(P), \qquad (37.6.13)$$

$$\Delta(\text{P}) = 2{,}5 \ = \ 2{,}53\ \text{Ом}$$

Результаты измерения записываются в виде:

$$A = \bar{x} \pm \Theta(P), \qquad (37.6.14)$$

$$A = (49{,}53 \pm 2{,}5)\ \text{Ом}$$

Вывод по проведенной лабораторной работе

В результате проведения лабораторной работы мы измерили сопротивление цепи, рассчитали СКО и определили, что ампервольтомметр годен к применению в области определения сопротивления не одном пределе.

37.7 Вопросы для самоконтроля

- К каким видам измерений относятся измерения по лабораторной работе:

а) прямым;

б) косвенным;

в) нет правильного ответа.

- К какой области измерений относятся измерения по лабораторной работе:

а) линейно-угловым;

б) электрическим;

в) механическим;

г) нет правильного ответа.

- Какие вспомогательные средства измерений необходимы для выполнения лабораторной работы:

а) микрометр;

б) переносной потенциометр;

в) термометр;

г) нет правильного ответа.

- Какими величинами оперируют в лабораторной работе:

а) мм. Рт. Столба;

б) паскаль;

в) вольт;

г) нет правильного ответа.

- Данная работа относится к измерениям с:

а) однократными наблюдениями;

б) многократными наблюдениями.

37.8 Варианты и исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ по списку группы	Сопротивление, Ω, (Ом)	№ по списку группы	Сопротивление, Ω, (Ом)
1	7,5	17	15,5
2	8,0	18	16,0
3	8,5	19	16,5
4	9,0	20	17,0
5	9,5	21	17,5
6	10,0	22	18,0
7	10,5	23	18,5
8	11,0	24	19,0
9	11,5	25	19,5
10	12,0	26	20,0
11	12,5	27	20,5
12	13,0	28	21,0
13	13,5	29	21,5
14	14,0	30	22,0
15	14,5	31	22,5
16	15,0	32	23,0

38 Лабораторная работа № 38 Измеритель цифровой ЦР 8001

Введение

Прогресс науки и техники в настоящее время предъявляет непрерывно возрастающие требования к качеству подготовки технических кадров, а это в свою очередь выдвигает проблему повышения эффективности обучения. Эта проблема особенно остро стоит в высших учебных заведениях, занятых подготовкой бакалавров и специалистов по контрольно - измерительным прибором и автоматике.

На сегодняшний день важнейшее значение приобретает применение средств практического обучения, правильное сочетание в учебном процессе теоретических знаний с выполнением студентами практических занятий и лабораторных работ.

Известна высокая эффективность лабораторных работ как метода обучения. В высших учебных заведениях разрабатываются и внедряются лабораторные практикумы по ряду специальных предметов.

38.1 Цель работы

38.1.1 Ознакомиться с устройством и работой измерителя цифрового ЦР 8001, изучить устройство лабораторной установки МСИ 3м и применить её в выполнении данной лабораторной работе.

38.1.2 Научиться выполнять алгоритм - процесс измерения прибором; обрабатывать результаты наблюдений при измерении и рассчитывать результаты измерений, оценивать погрешности на примере цифрового измерителя ЦР 8001.

38. 2 Технические данные и инструкция по эксплуатации прибора ЦР 8001

38.2.1 Техническое описание

Для исключения влияния помехи, возникающей при коммутации измерителем силовых цепей, необходимо выполнять следующие условия:

- провода, подключающие ЦР 8001 (выводы 1 и 2 измерителя) к питающей сети, должны присоединяться в вашем оборудовании непосредственно к клеммам на силовом вводе переменного напряжения - 220 В;
- не допускается вместе с входными проводами укладывать провода других цепей, например, цепей питания переменного напряжения - 220 В с проводами цепей измерительных датчиков или эталонных магазинов сопротивления.

Если при выполнении указанных выше требований сбои все же наблюдаются, необходимо подключить последовательную цепь, состоящую из резистора сопротивлением 100 Ом и конденсатора емкостью 0,01 мкФ, параллельно обмотке подключаемого к измерителю ЦР 8001 внешнего реле.

Пример схемы подключения цифрового измерителя ЦР 8001

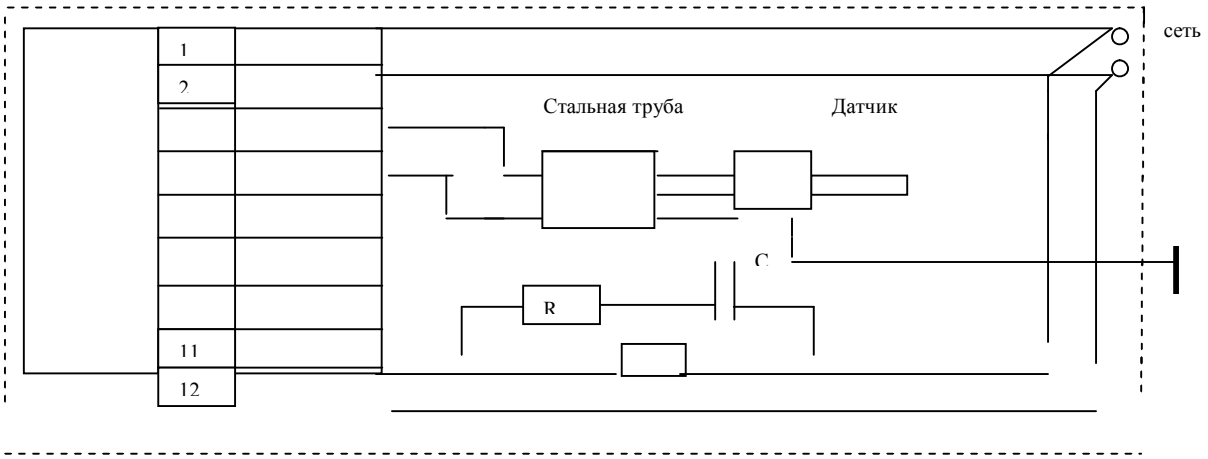


Рисунок 38.1 – Схема подключения ЦР 8001 на объекте

38. 2. 2 Технические характеристики

Таблица 38. 1 – Технические данные измерителя

Тип измерителя	ЦР 8 001
Диапазон измеряемых температур, °С	от - 60 до + 180
Основная погрешность, %	± 0,5
Гистерезис показаний, %	±0,25
Погрешность переключений электрических цепей, %	± 0,5
Время установления рабочего режима, мин	30
Напряжение питания, В	110/220
Частота, Hz (Гц)	до 60
Тип датчика	Ni 100 DiN

Мощность, потребляемая измерителем от цепи питания, не превышает - 8 В·А. Масса измерителя не более 0,6 кг. Измеритель является тепло – холодо - устойчивым. Предел допускаемого значения дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от (20±5) °С до минус 10 °С и плюс 50 °С, не превышает допускаемого значения основной погрешности на каждые 10 °С. Измеритель является влагоустойчивым. Электрическая изоляция измерителя выдерживает действие испытательного напряжения переменного тока частотой 50Hz (Гц), в нормальных условиях применения при температуре окружающего воздуха (20±5) °С и относительной влажности от 30 до 80 процентов, значение которого равно 1,5 кВ, между входными цепями и цепью питания, а также между всеми цепями и щитом, и 0,5кВ между входными и выходными цепями.

Номинальные статистические характеристики преобразования термопреобразователей сопротивления для диапазона температур от минус 60 °С до плюс 199 °С должны соответствовать указанным в таблице 38.2.

Таблица 38.2 –Характеристики термопреобразователей сопротивления

Температура, °С	Статистическая характеристика	
	Ni 100 DiN	5 Ом
	Значение сопротивления, Ом	
-60	69,5	
-50	-	39,24
-40	79,1	41,41
-20	89,3	45,71
-10	98,5	47,86
0	100	50,00
20	111,3	54,28
40	123	56,56
60	135,3	62,84
80	148,2	67,12
100	161,7	71,40
120	175,9	75,68
140	190,9	79,96
160	206,7	84,24
180	223,1	88,52
199	-	92,58

38. 2. 3 Комплектность

Таблица 38. 3 - Комплект поставки измерителя ЦР 8001

Наименование	Количество
Измеритель	1
Винт ВМ 3-6д*8.32.036	1
ГОСТ 17473-80	1
Скоба	1
Паспорт	1
Техническое описание и инструкция по эксплуатации	1

38. 2. 4 Устройство и работа ЦР 8001

Измеритель конструктивно состоит из корпуса крышки и лицевой панели, на которой находятся ручки правления и цифровое табло (смотри рисунок 38.2).

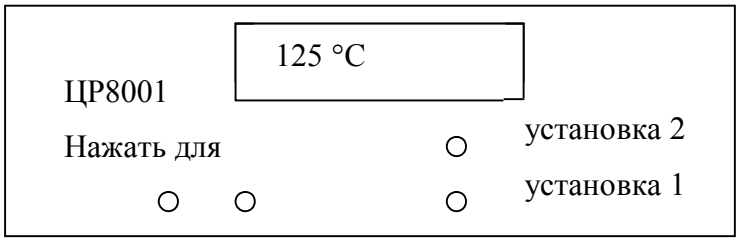


Рисунок 38.2 - Лицевая панель измерителя ЦР 8001

В корпусе измерителя в специальных пазах закреплены три платы с радио элементами.

Для внешнего подключения имеется клеммная колодка, нумерация контактов расположенных на корпусе измерителя.

Значение температуры индицируется на отчетном устройстве.

П р и м е ч а н и е - 1 Отсутствие индикации младших разрядов означает, что контролируемая температура объекта превышает максимальную температуру измерения;

2 Индикация символа " □ " в измерителях ЦР 8001 означает, что контролируемая температура объекта ниже 100 °С;

3 Отсутствие индикации в измерителях ЦР 8001 означает обрыв цепи датчика.

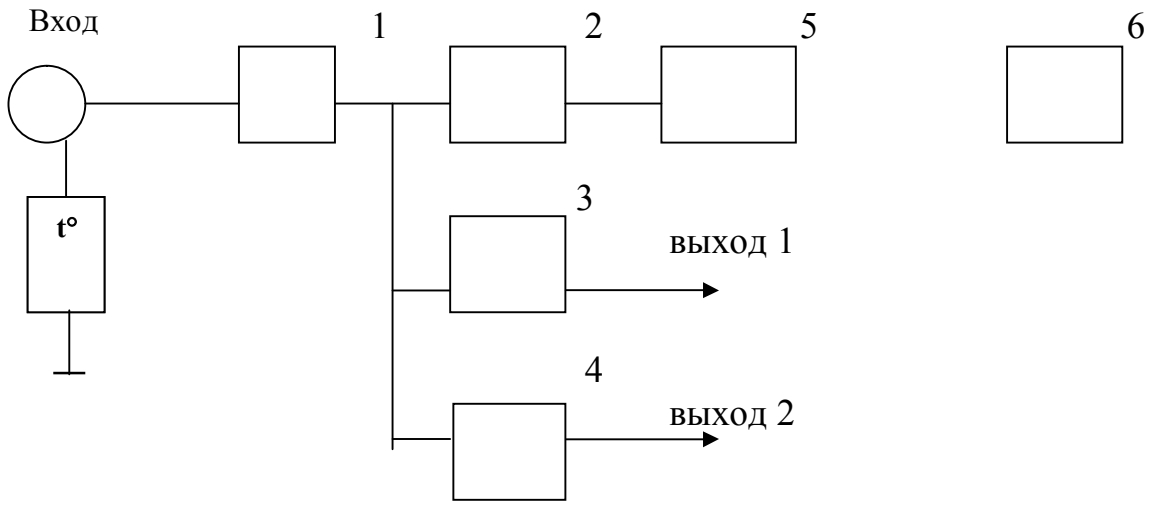
Значение температуры переключение электрических цепей индицируется при нажатии кнопок 1 или 2, расположенных под надписью " нажать для установки " и устанавливается путем вращения ручек 1 и 2 (только при нажатии соответствующей кнопки).

При температуре контролируемого объекта ниже установленной оператором светится соответствующий индикатор 1 или 2, при этом в исполнительной цепи 1 или 2 (выход 7,8,9 и (или) 10,11,12 клеммой колодки) замкнуты контакты 7 - 9 или 10 - 12.

При превышении температуры объекта выше установленной оператором гаснет соответствующий индикатор 1 или 2 и переключаются контакты исполнительной цепи, то есть замыкаются выводы 8 – 9 или 11 – 12 клеммой колодки (контакты 7 – 9 или10 – 12 размыкаются).

Измеритель ЦР 8001 изготавливается со вспомогательной частью, в которой размещены контакты для подключения термоэлектрического преобразователя.

Структурная схема измерителя приведена на рисунке 38. 3



t - термопреобразователь ; 1 - согласующий усилитель; 2 - аналого-цифровой преобразователь; 3,4 - сравнивающее устройство; 5 - отсчетное устройство; 6 - блок питания

Рисунок 38.3 – Структурная схема измерителя

Согласующий усилитель предназначен для преобразования входной величины – измерения технического сопротивления или термоЭДС внешнего термопреобразователя в напряжение, обеспечивающее работу аналогоцифрового преобразователя.

Кроме того, согласующий усилитель позволяет значительно уменьшить влияния сопротивления проводов, соединяющих термопреобразователь сопротивления, и компенсировать изменение температуры свободных концов термоэлектрического преобразователя.

В измерителе имеются два идентичных сравнивающих устройства, управляющих двумя реле, встроенных в измеритель и предназначенных для управления исполнительными внешними механизмами.

Аналого-цифровой преобразователь предназначен для преобразования напряжения согласующего усилителя в цифровой код, который управляет отсчетным устройством.

Отсчетное устройство выполнено на светодиодных семи сегментных индикаторах Н1 – Н3 и расположено на лицевой панели измерителя (смотри рисунок 38. 2. 2).

Источник питания предназначен для обеспечения питанием активных элементов и светодиодных индикаторов измерителя.

38. 2. 5 Указание мер безопасности

Персонал, допущенный к работе с измерителем должен знать измеритель в объеме настоящего технического описания и инструкции по эксплуатации.

Иметь квалифицированную группу по электробезопасности не ниже третьей или группу допуска до 1000 В.

Помнить, что при работе имеется опасность поражения электрическим током напряжения 110 и 220 В, а также опасность возникновения пожара.

Запрещается:

- эксплуатировать измеритель при обрывах проводов внешнего присоединения;

- проводить внешние присоединения при подключенном напряжении питания.

В случае возникновения аварийных условий и режимов работы измеритель отключить от цепи питания.

38. 2. 6 Техническое обслуживание

Эксплуатационный надзор за работой измерителей производится лицами, за которыми закреплено данное оборудование.

Порядок проведения планово-предупредительного осмотра (ППО):

- отключить напряжение питания, снять входной сигнал;

- провести внешний осмотр измерителя, удалить с корпуса сухой ветошью пыль, грязь, влагу;

- убедиться в отсутствии механических повреждений;

- подключить измеряемую цепь, включить напряжение питания.

В программу плановой ревизии входят все пункты ППО, кроме того, проводят проверку электрической прочности изоляции, электрического сопротивления изоляции и определение основной погрешности.

38. 3 Пример отчета по лабораторной работе

Познакомится с устройством и работой измерителя цифрового ЦР 8001, научиться выполнять измерения прибором.

Объект измерения - сопротивление; по НТД задано измерить сопротивление 86 ± 0,1 Ом.

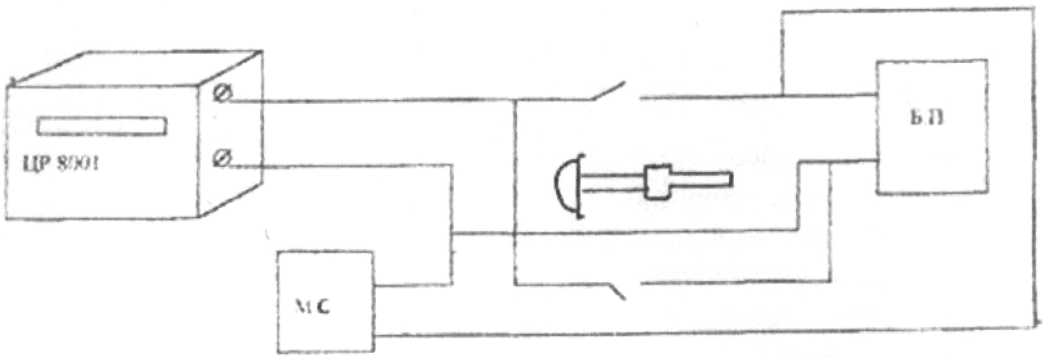


Рисунок 38.4 - Схема устройства подключения прибора ЦР 8001

Выбераем класс точности 0,02 = 0,02% приведённой погрешности

γ = 0,02 % = $\Delta \cdot 100/X_N$, так как задано измерить 86 Ом, то выбираем шкалу прибора с предельным значением 100 Ом, что и является значением X_N.

X_N = 100 Ом; $\Delta_C = 0{,}02\% \cdot \frac{100}{100\%} = 0{,}02$ Ом;

$\Delta_{ОП} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 0{,}02 = 0{,}001$ Ом.

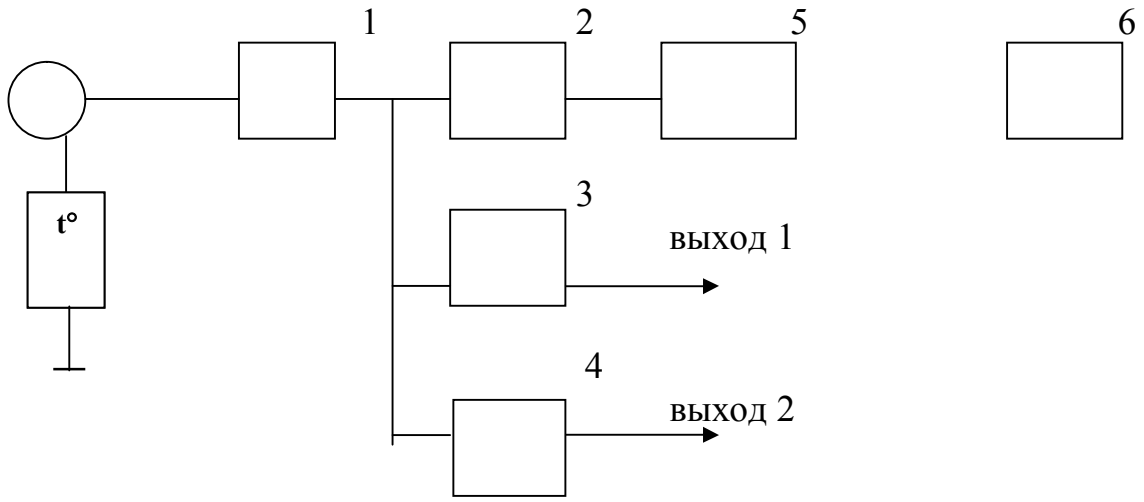
$\Theta(P) = 0{,}02 + 0{,}001 = 0{,}021 < 0{,}1$ - этот класс точности подходит.

По классу точности можно использовать прибор типа ЦР8001.

Напоминаем, что техническая характеристика измерителя ЦР 8001.

Таблица 38.4

Тип измерителя	ЦР 8001
Диапазон измеряемых температур, ^oC	от - 60до +180
Основная погрешность, %	±0,5
Гистерезис показаний, %	±0,25
Погрешность переключения электри-ческих цепей, %	±0,5
Время установления рабочего режима, мин	30
Напряжение питания, В	110/220
Частота, Гц	до 60
Тип датчика	Ni 100 DIN



t - термопреобразователь ; 1 - согласующий усилитель; 2 - аналого-цифровой преобразователь;3,4 - сравнивающее устройство; 5 - отсчетное устройство; 6 - блок питания

Рисунок 38. 5 – Структурная схема измерителя

При проведении измерений были получены значения в таблице 38.5

Таблица 38. 5 - Результаты наблюдений при измерении

№ наблюдения	Показания результатов наблюдений, Ом
1	86,0
2	86,1
3	85,9

Определим среднее значение $\overline{x}$:

$$\overline{X} = \frac{86{,}0+86{,}1+85{,}9}{3} = 86{,}0 \quad \text{Ом};$$

Определяем среднее квадратическое отклонение:

$$S(X) = \sqrt{\frac{(86{,}0-86{,}0)^2+(86{,}1-86{,}0)^2+(85{,}9-86{,}0)^2}{2}} = 0{,}1 \quad \text{Ом};$$

Определяем отношение Θ(P)/ S(x):

Θ(P)/S(x) = 0,021/0,1 = 0,21;

Так как 0,21 < 0,8, то неисключенными систематическими погрешностями пренебрегают и принимают в качестве погрешности результата измерения доверительные границы случайных погрешностей.

Вычисляем доверительную границу случайной погрешности:

$$\in (Đ) = Z_{p/2} \cdot S(x)\,, \qquad (38.1)$$

где $Z_{p/2}$ - Коэффициент Лапласса, определяемый по таблице.

$\in (Đ) = 1{,}414 \cdot 0{,}1 = 0{,}1414 = 0{,}141;$ $\Delta P = 0{,}141$ Ом;

$$\nu_i = |x_i - \tilde{o}|, \qquad (38.2)$$

$\nu_1 = 0$ $\nu_2 = 0{,}1$ $\nu_3 = 0{,}1$

x_1 0 < 0,141 не является промахом

x_2 0,1 < 0,141 не является промахом

x_3 0,1 < 0,141 не является промахом

Вывод по проведенной лабораторной работе

Результат измерений при доверительной вероятности P = 0,95 можно записать в следующей форме

A = 86 ± 0,141 Ом.

38. 4 Вопросы для самопроверки

- К каким видам измерений относятся измерения по лабораторной работе?

а) к косвенным;

б) к прямым;

в) к относительным.

- К какой области измерений относятся измерения по ЛР?

а) механические;

б) электрические;

в) геометрические.

- Какими величинами необходимо оперировать в ЛР?

а) физическими;

б) научными;

в) нефизическими.

- Каким методом измерений выполняется ЛР?

а) методом непосредственного сравнения с мерой;

б) методом опосредованного сравнения с мерой.

- Какой объект измерений предусмотрен ЛР?

а) резистор;

б) термопара.

- Какие СИ необходимы и достаточны для выполнения ЛР?

а) измеритель;

б) датчик;

в) соединительные провода.

- Какие вспомогательные средства необходимы для выполнения ЛР?

а) соединительные провода;

б) термопара.

- Какое необходимое и достаточное число наблюдений, выполнение которых с достаточной достоверностью требуются для выполнения ЛР?

а) 10;

б) 1;

в) 3.

- Какие измерения Вы выполняете в ЛР?

а) многократные;

б) однократные.

- Какую формулу вычисления суммы систематической и случайной составляющих погрешности Вы выбрали в измерениях по ЛР?

а) $\Delta_{\Sigma}(P)=E(P)$;

б) $\Delta_{\Sigma}(P)=Kp\cdot[\theta(P)+E(P)]$;

в) $\Delta_{\Sigma}(P)=\theta(P)$.

38. 5 Внешний вид измерителя ЦР 8001.

Рисунок 38. 6 Измеритель цифровой ЦР 8001

Технические характеристики

Таблица 38.6

Модификация	**Диапазон измерения(в комплекте с термо-преобразователем)**	**Класс точности**	**Тип применяемого термо-преобравазователя**	**Номинальная статистическая характеристика преобразователя**
ЦР 8001/1	От – 60 до +180°С	0,5	ТСМ	NI 100 Din
ЦР 8001/2	От – 50 до +199°С	0,5	ТСМ	50М
ЦР 8001/3	От 0 до 600°С	3,0	ТХА	ХА(К)
ЦР 8001/4	От 100 до 299°С	2,5	ТХК	ХК(L)
ЦР 8001/6	От 0 до 1200°С от 0 до 1000°С вкл. св. от 1000 до 1200°С	1,5 4,0	ТХА	ХК(К)
ЦР 8001/7	От 20 до 400°С от 20 до 49°С от 50 до 99°С от 100 до 400°С	5 4 1,5	ТХК	ХК(L)
ЦР 8001/8	От – 50 до +180°С	0,5	ТСМ	50М
ЦР 8001/9	От – 50 до +199°С	0,5	ТСМ	50М
ЦР 8002	От – 50 до +1200°С	0,5	ТСМ ТХА ТХК ТСП	50М ХА(К) ХК(L)
Напряжение питания переменного тока:				
		ЦР8001	220В;110В, частота 50Гц; 60Гц.	
		ЦР8002	230В, частота 50Гц	
Температурный режим эксплуатации измерителей			от - 10°С до + 50°С	
Габаритные размеры, мм:				
- измеритель			73 х 73 х 125	
- вспомогательная часть			47 х 31 х 73 (ЦР 8001/3,4,6,7)	
Масса, кг				0,65

38. 6 Варианты и исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ по списку группы	Сопротивление, Ω, (Ом)	№ по списку группы	Сопротивление, Ω, (Ом)
1	75	17	140
2	80	18	145
3	87	19	148
4	89	20	152
5	93	21	158
6	97	22	162
7	100	23	166
8	105	24	200
9	108	25	204
10	112	26	208
11	115	27	212
12	119	28	216
13	124	29	220
14	127	30	225
15	130	31	230
16	135	32	235

39 Лабораторная работа № 39 Измерение мощности ваттметром

Введение

Часто механизмы, созданные человеком для выполнения одной и той же работы, отличаются по своим свойствам. Так, добротный лифт в старом доме поднимает вас на пятый этаж за минуту, в то время как современному скоростному лифту в высотном доме для этого потребуется всего несколько секунд. Работа обоих механизмов против силы тяжести, очевидно, одна и та же, однако произведена она за разное время. Для характеристики скорости выполнения механизмом работы введено понятие мощности.

Мощность, потребляемая нагрузкой в цепи переменного тока, равна среднему по времени произведению мгновенных значений напряжения и тока нагрузки. Если ток и напряжение изменяются синусоидально (как обычно и бывает), то мощность P можно представить в виде:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi, \qquad (39.1)$$

где V и I – эффективные значения напряжения и тока;

φ – фазовый угол (угол сдвига) синусоид напряжения и тока.

Если напряжение выражается в вольтах, а ток в амперах, то мощность будет выражаться в ваттах. Множителем cos φ, называемый коэффициентом мощности, характеризует степень синхронности колебаний напряжения и тока.

39. 1 Постановка задачи

Данная лабораторная работа предназначена для ознакомления студентов с выбранным средством измерения для измерения мощности, изучить правила проведения измерений, необходимые условия, соответствующие правильности измерений. Необходимо изучить устройство лабораторной установки МСИ 3м и дать предложение к её использованию с точки зрения измерений мощности по методу амперметра и вольтметра электрической цепи.

Предлагается воспользуемся электронным трехфазным ваттметром типа ЦЭ 680 2 ТУ 25 - 7565.010 - 93, предназначенный для измерения активной и реактивной мощности и электроэнергии в цепях переменного тока.

39. 2 Теоретическая часть

39. 2. 1 Измерения. Основные понятия и постулаты

Измерения – сложный процесс, включающий в себя взаимодействие целого ряда его структурных элементов. К ним относятся:

- измерительная задача;
- объект измерения;
- принцип, метод и средство измерения и его модель;
- условия измерения;
- субъект измерения;
- результат и погрешность измерения;

Начальным элементом каждого измерения является его задача (цель). Задача любого измерения заключается определении значения выбранной (измеряемой) физической величины с требуемой точностью в данных условиях. Объект измерения – это реальный физический объект, свойства которого характеризуются одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

Метод измерения – это совокупность физических принципов, на которых основаны измерения, например, применение эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения или эффекта Доплера для измерения скорости.

Метод измерения – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения. Метод измерения должен по возможности иметь минимальную погрешность и способствовать исключению систематических погрешностей или переводу их в разряд случайных.

Правильность измерений – это характеристика измерений, отражающая близость к нулю систематических погрешностей результатов измерений.

Субъект измерения – человек.

39.2.2 Постулаты теории измерений

Как и любая другая наука, метрология строится на основе ряда основополагающих постулатов, описывающих ее.

Первым постулатом метрологии является постулат α: в рамках принятой модели объекта исследования существует определенная измеряемая физическая величина и ее истинное значение. Если, например, считать, что деталь представляет собой цилиндр (модель – цилиндр), то она имеет диаметр, который может быть измерен.

Так как при различных целях исследований данному объекту могут быть сопоставлены различные модели, то из постулата α вытекает следствие α1: для данной физической величины объекта измерения существует множество измеряемых величин.

Постулат β: истинное значение измеряемой величины постоянно. Следствие β1: для измерения переменной физической величины необходимо определить ее постоянный параметр – измеряемую величину.

Постулат γ: существует несоответствие измеряемой величины исследуемому свойству объекта (пороговое несоответствие измеряемой величины) пороговое несоответствие принципиально ограничивает достижимую точность измерений при принятом определении измеряемой физической величины. Следствие γ1: истинное значение измеряемой величины отыскать невозможно. Следствие γ2: достижимая точность измерения определяется априорной информацией об объекте измерения.

39..2. 3 Сведения о средстве измерения

Понятие «средство измерения» является одним из важнейших в теоретической метрологии. РМГ 29 - 99 определяет средство измерения как техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Средство измерения содержит устройства (блоки, модули), которые выполняют эти элементарные операции. Такие устройства называются элементарными средствами измерений. В их число входят измерительные преобразователи, меры и устройства сравнения.

Измерительный преобразователь – это техническое устройство, построенное на определенном физическом принципе и выполняющее одно частное измерительное преобразование, т.е. операцию преобразования входного сигнала X в выходной X1, информативный параметр которого с заданной степенью точности функционально связан с информативным параметром входного сигнала и может быть измерен с достаточной степенью точности.

Мера – это средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины одного (однозначная мера) или нескольких (многозначная мера) размеров, значение которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Устройство сравнения (компаратор) – это средство измерений, дающее возможность выполнять сравнение мер однородных величин или же показаний измерительных приборов.

Средства измерений, используемые в различных областях науки и техники, чрезвычайно многообразны. Однако для этого множества можно выделить некоторые общие признаки, присущие всем средствам измерений независимо от области применения.

По роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений, средства измерений делятся на:

- метрологические, предназначенные для воспроизведения единицы и ее хранения или передачи размера единицы рабочим средствам измерений;
- рабочие, применяемые для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Подавляющее большинство используемых на практике средств измерений принадлежат ко второй группе. Метрологические средства измерений весьма немногочисленны. Они разрабатываются, производятся и эксплуатируются в специализированных научно-исследовательских центрах.

По уровню автоматизации все средства измерений делятся на:

- неавтоматические;
- автоматизированные, производящие в автоматизированном режиме одну или часть измерительной операции;
- автоматические, производящие в автоматическом режиме измерения и все операции, связанные с обработкой их результатов, регистрацией, передачей данных или выработкой управляющих сигналов.

В настоящее время все большее распространение получают автоматизированные и автоматические средства измерений. Это связано с широким использованием в средствах измерений электронной и микропроцессорной техники.

По уровню стандартизации средства измерений подразделяются на:

- стандартизованные, изготовленные в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта;
- нестандартизированные, предназначенные ля решения специальной измерительной задачи, в стандартизации требований в которых нет необходимости.

По отношению к измеряемой физической величине средства измерений делятся на:

- основные это средства измерений той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей;
- вспомогательные – это средства измерений той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерения необходимо учесть для получения результатов измерения требуемой точности.

39. 2. 4 Принцип действия ваттметра

Принцип действия ваттметра основан на взаимодействии токов, протекающих по двум рамкам (катушкам), одна из которых подвижная (обмотка напряжения) 2 - 2, включаемая в цепь параллельно.

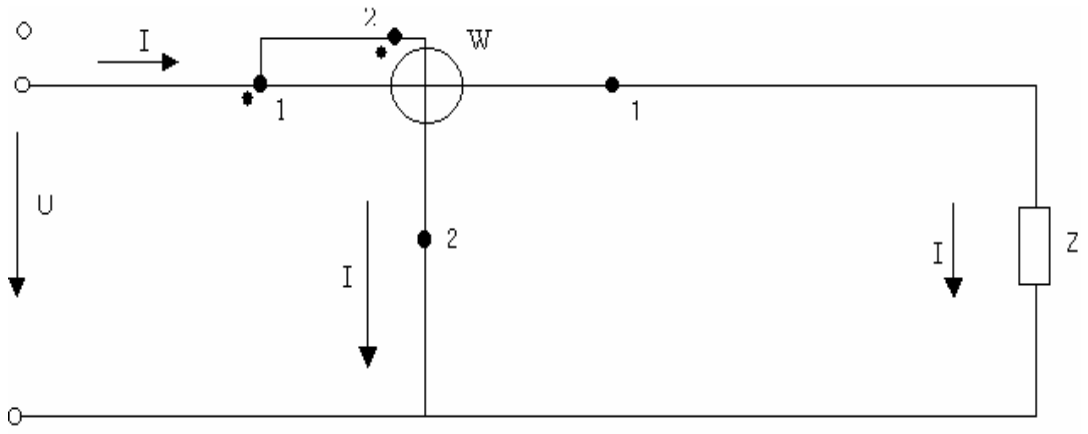


Рисунок 39. 1 – Схема включения ваттметра

Ток I_2 в обмотке напряжения 2 - 2 пропорционален напряжению в контролируемой цепи и совпадает с ним по фазе. Ток совпадает по фазе с напряжением, потому что цепь обмотки напряжения ваттметра обладает практически чисто активным сопротивлением, а ток Iρ равен току I нагрузки. Момент, действующий на подвижную обмотку, равен:

$$M_{в\,р} = C\,U\,I\cos\varphi = CP, \qquad (39.\ 2)$$

где C – коэффициент пропорциональности.

Поскольку противодействующий момент $M_{пр}$ пропорционален углу поворота α стрелки, отклонение стрелки пропорционально измеряемой активной мощности P.

Для правильного включения ваттметра один из выводов токовой обмотки и дин из выводов обмотки напряжения отмечают звездочками (*). Эти выводы, называемые генераторными, необходимо включать со стороны источника питания.

Ваттметр – прибор, имеющий назначение измерять работу, совершаемую электрическим током в единицу времени при прохождении тока через какой-либо проводник, так, например, ваттметр может дать число ватт, потребных для получения некоторой силы электрического света в каждую секунду каким-либо механизмом, приводимым в движение при посредстве электрического тока и т.д. Работа, совершаемая электрическим током в течение секунды (в ваттах), определяется произведением числа ампер, выражающего силу тока, проходящего через исследуемую часть цепи, на разность потенциалов, выраженную в вольтах, концов этой части цепи. Вследствие этого, различные ваттметры представляют собой в сущности не что иное, как электродинамометр, через одну катушку которого, приготовленную из толстой проволоки и имеющую небольшое числи оборотов ток, а другая катушка этого электродинамометра, имеющая обыкновенно большое число оборотов тонкой проволоки и часто последовательно соединенная с проводником большего сопротивления, вводится, как ветвь, параллельно исследуемой части цепи. Через эту катушку, очевидно, будет проходить ток, по величине пропорциональной разности потенциалов на концах изучаемой в отношении работы тока части цепи. Так как подвижная катушка электродинамометра испытывает вращающее действие, пропорциональное произведению сил токов в обеих катушках, то, в данном случае, это действие будет

пропорционально произведению числа ампер – силы тока в данном проводнике на число вольт, выражающее разность потенциалов этого проводника, то есть будет пропорционально числу ватт, доставляемому током исследуемой части цепи. Подвижная катушка удерживается в своем первоначальном положении без отклонения закручиванием нити или пружинки, на которой она подвешена. Опытом определяется значение одного градуса такого кручения и тогда число градусов, на которое во время опыт произведено закручивание, для удержания подвижной катушки в ее первоначальном положении, дает прямо возможность определить число ватт развиваемых током.

39.2.5 Электронный трехфазный ваттметр - счетчик ЦЭ 6802
ТУ 25-7565.010 - 93

Назначение.

Предназначен для измерения активной мощности и электроэнергии в трех- и четырехпроводных, трехфазных и двухпроводных однофазных цепях переменного тока. Для измерения реактивной мощности и энергии в трехфазных цепях переменного тока. Для поверки счетчиков активной электроэнергии класса 0,2иниже, поверки ирегулировки3-хфазных ваттметров и счетчиков реактивной энергии класса 0,5 и ниже. Для измерения величины тока и напряжения по 3-м фазам с точностью класса 0,2. Для проверки амперметров и вольтметров переменного тока класса 0,5 и ниже методом образцового прибора. Измерение величины напряжения и тока по трем фазам с точностью 0,2.

Область применения.

Региональные, территориальные, городские и районные предприятия Гостехнадзора. Органы сертификации электроустановок. Метрологические, ремонтные службы. Предприятия- изготовители средств учета электроэнергии. Контрольно-измерительные лаборатории промышленных предприятий.

Нормативно - правовое обеспечение:

- соответствие ГОСТ 22261 – 94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия;
- сертифицированы в Украине и СНГ;
- внесены в Госреестр средств измерений Украины (№13548 - 93).

Особенности:

- одновременная поверка от 1 до 8 счетчиков, имеющих телеметрические выходы;
- автоматизированная обработка информации;
- отображение результатов измерений на цифровом дисплее;
- высокая временная и температурная стабильность;
- возможность работы в составе компьютерных комплексов через интерфейс ИРПС;
- индикация измеренных значений токов и напряжений раздельно по фазам в Вольтах и Амперах;

- контроль частоты измерительных сигналов в Герцах;
- контроль угла сдвига фаз (в градусах), значения cos φ;
- имеет встроенную защиту от перегрузки, не критичен к подаче переменного напряжения до 450 Вт по параллельным цепям.

Характеристики надежности:

- межповерочный интервал - 1 год;
- гарантийный срок эксплуатации - 3 года.

Таблица 39.1 – Технические характеристики электронного трехфазного ваттметра – счетчика ЦЭ 6802

Класс точности при изменении, Вт:	
- активной мощности (энергии)	0,05 (0,05)
- реактивной мощности (энергии)	0,1 (0,1)
- напряжения переменного тока	0,2
- силы переменного тока	0,2
Номинальное значение напряжения, Вт:	
- фазные	57,7; 127; 220;
- линейные	100; 220; 380
Диапазон напряжений в % от номинального значения	85-110
Напряжение сети питания, Вт	220
Частота измерительной сети, Гц	47,5-63
Номинальная сила тока (Iном), А	5 или 1
Диапазон токов в % от номинального значения	1-150
Полная потребляемая мощность, В*А	80
Количество поверяемых счетчиков	1-8
Диапазон рабочих температур, °С	от 10 до 40
Габаритные размеры, мм	450´440´290
Масса, не более, кг	27

Счетчики ЦЭ 6802 используется как образцовый в составе установки МК 6801 для поверки и регулировки счетчиков электроэнергии.

39. 2. 6 Погрешности измерения ваттметром

Основными составляющими погрешности измерения ваттметром являются нормируемые в ГОСТ 84 76 – 93 погрешность, вызванная изменением температуры окружающего воздуха, отклонением напряжения от номинального.

ГОСТ 22261 – 94 нормирует погрешность ваттметра при нормальных условиях, а именно (метрологические характеристики):

- при температуре $20^0C \pm 2^0C$;

- положение любое между горизонтальным и вертикальным $\pm 1^0$ рабочей области;

- ориентация прибора относительно магнитного поля земли - любая $\pm 5^0$ от указанного направления ориентации;

- частота 45-65 Гц.

Таблица 39. 2 – Пределы допускаемой погрешности

Класс точности	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	4	5
Предел допускаемой погрешности	$\pm 0{,}05$	$\pm 0{,}1$	$\pm 0{,}2$	$\pm 0{,}5$	± 1	$\pm 1{,}5$	$\pm 2{,}5$	± 4	± 5

Для ваттметра, используемого в данной лабораторной работе, класса точности 0,2 предел допускаемой основной погрешности $\pm 0{,}2$.

Предел допускаемой дополнительной погрешности приборов, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от нормальной до любой температуры в пределах, установленных рабочими условиями применения, на каждые 10 ^{0}С должен быть равен:

- предел допускаемой основной погрешности для приборов соответствующих по климатическим условиям 2 – 4 группам по ГОСТ 22261 – 94;

- 0,8 предела допускаемой основной погрешности - для приборов, соответствующих климатическим условиям 5-й группы по ГОСТ 22261 – 94;

- 0,6 предела допускаемой основной погрешности – для приборов, соответствующих климатическим условиям 6 и 7-й группам по ГОСТ 22261 – 94 классов точности 0,2 и 0,5.

Предел допускаемой дополнительной погрешности, вызванной отклонением напряжения от номинального (57,7; 127; 220 – фазное, 100; 220; 380 – линейное) в пределах рабочей области, при неизменном значении измеряемой мощности нормируется ГОСТ 8476-93 как равный пределу допускаемой основной погрешности ($\pm 0{,}2$).

Суммарная погрешность результата измерений состоит из неисключенной систематической погрешности (НСП) и случайной погрешности.

Вычисляем неисключенную систематическую погрешность по формуле (39.3):

$$Q(p)= \pm|\sum Q_i|, \qquad (39.3)$$

Таблица 39.3 – Значения коэффициента К

n	K(p)
5 и более	1,45
4	1,4
3	1,3
2	1,2

Вычисляем среднеквадратическое отклонение по формуле (39.4):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (39.4)$$

где x_i – результат i-го единичного измерения;

$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{n}$ – среднее арифметическое значение измеряемой величины.

По соотношению между Q(p) и S определяем, по какому из трех случаев будем проводить расчет:

1) если Q(p)/S<0,8, то НСП Θ(p) пренебрегают и принимают случайную погрешность $\in$(p) за погрешность результата измерений (39.5):

$$\in(p) = S(X)\cdot Z_{P/2} = \Delta(p), \qquad (39.5)$$

2) если Q(p)/S > 8,то пренебрегают случайной погрешностью и принимают

$$\Delta(p) = \Theta(p), \qquad (39.6)$$

3) если $0{,}8 \le \Theta(p)/S \le 8,$ то доверительные границы погрешности результата измерений вычисляют по формуле (39.7):

$$\Delta(p) = K_{\Sigma} \cdot \left[\Theta(p) + \in(p)\right], \qquad (39.7)$$

$$K_{\Sigma} = \sqrt{1+\gamma^2}/1+\gamma, \qquad (39.8)$$

$$\gamma = \Theta(p)/\sqrt{3}\cdot \hat{E}(Đ)\cdot S(x), \qquad (39.9)$$

где *K(P)* = 1,3 согласно таблицы 39.3, если число результатов наблюдений равно 3.

Результат измерения имеет вид:

$$A = \bar{x} \pm \Delta p, \qquad (39.10)$$

39.3 Практическая часть

39.3.1 Способы поверки средств измерений

Поверка – это операция, заключающаяся в установлении пригодности средств измерений к применению на основании экспериментально определяемых

метрологических характеристик и контроля их соответствия предъявляемым требованиям. Основной метрологической характеристикой, определяемой при поверке средства измерения, является его погрешность. Она находится на основании сравнения поверяемого средства измерения с более точным средством измерения – рабочим эталоном.

Основные требования к организации и порядку проведения поверки средств измерения приведены в правилах по метрологии ПР 50.2.006-94 "ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения", а также в рекомендациях МИ 187-86 "ГСИ. Критерии достоверности и параметры методик поверки".

Поверки измерительных приборов проводятся методами:

- непосредственного сравнения измеряемых величин и величин, воспроизводимых образцовыми мерами соответствующего плана точности. Значение величин на выходе мер выбираются равными оцифрованным отметкам шкалы прибора. Наибольшая разность между результатами измерения и соответствующими им размерами мер являются в этом случае основной погрешностью прибора;
- непосредственного сличения показаний поверяемого и некоторого образцового прибора при измерении одного и того же значения физической величины. Основой данного метода служат одновременное измерение одного и того же значение физической величины поверяемым и образцовым СИ. Разность показаний этих приборов равна абсолютной погрешности поверяемо средства измерения.

39.3.2 Выбор средства измерения и установление числа наблюдений

Основные принципы выбора СИ заключается в следующем: точность средства измерений должна быть достаточно высокой по сравнению с заданной точностью выполнения измеряемого размера, а трудоемкость измерений и их стоимость должны быть возможно более низкими, обеспечивающими наиболее высокую производительность труда и экономичность.

Изменение точности измерений, как правило бывает связано с чрезмерным повышением трудоемкости и стоимости контроля качества продукции, а следовательно, ведет к удорожанию производства и ограничению выпуска продукции.

39.3.3 Организация рабочего места

Размещение средств измерений, поверочных и испытательных установок, ремонтных стендов, станков должно соответствовать определенным требованиям. В частности, при размещении оборудования должны соблюдаться следующие нормы:

- ширина прохода – не менее 1,5 м.;
- свободное пространство вокруг стационарных приборов и установок - не менее 1м.;
- столы, шкафы, стеллажи и измерительными приборами должны находиться на расстоянии не менее 0,2 м. От стен, окон и отопительных систем;

- расстояние между рабочими столами при одном рабочем месте за столом – не менее 0,8 м., при двух рабочих местах – не менее 1,5 м.

Проходы и дверные проемы должны позволять беспрепятственный проезд технологических тележек с измерительными приборами, поверочных установок, ремонтных стендов на колесах.

Подвесные зеркальные гальванометры и другие приборы высокой чувствительности размещают на жестких кронштейнах, укрепленных в капитальных стенах. Рабочие поверхности столов, стендов и т.п. должны быть покрыты изоляционным материалом.

Образцовые приборы и установки необходимо размещать на значительном расстоянии от отопительных устройств, чтобы снизить влияние колебаний температуры на точность измерений. Не рекомендуется устанавливать поверочные стенды у окон, выходящих на южную сторону. В противном случае необходимо иметь специальные шторы.

При определении площади помещений исходят из расчета 10 - 12 $м^2$ на одного работающего. Если один человек работает на 2 - 3 установках, то при определении площади можно исходить из расчета 4 - 6 $м^2$ на одну установку.

Особый интерес представляет индивидуальное рабочее место метролога, оснащенное необходимым оборудованием, инструментом, приспособлениями, технической документацией и другими материально-техническими средствами. Индивидуальное рабочее место должно иметь максимальные удобства для проведения измерительных работ, обеспечивать качество и сжатые сроки выполнения.

39.3.4 Процедуры, выполняемые перед началом измерений по лабораторной работе

Выполняющий лабораторную работу, а именно снимающий показания ваттметра человек является оператором измерительного процесса. К обязанностям оператора относятся:

1) ознакомиться с методикой выполнения измерения и последовательностью выполнения операции, проверить наличие необходимого комплекта и проверить наличие вспомогательных материалов;

2) убедиться в том, что основные и вспомогательные СИ имеют действующие свидетельства о проверке или калибровке;

3) выполнить операции по созданию необходимых условий измерения, включающие требования безопасности;

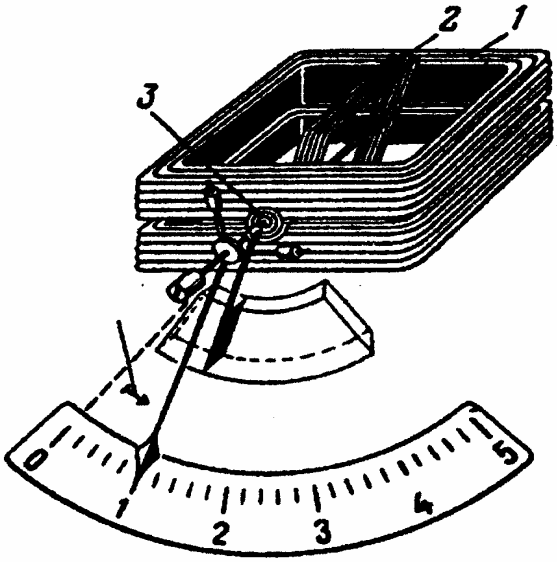
4) подготовить, почистить объект, создать необходимые НД условия измерения;

5) опробовать СИ, проверить действие, осмотреть;

6) повести 2-3 пробных измерения и сравнить результаты с отдельными результатами измерения. Про большом расхождении, проверить где ошибка, установить причины и устранить их.

39.4 Пример отчета по лабораторной работе

Задание: измерить активную мощность цепи переменного тока при помощи ваттметра (план точности 0.2). Найти СКО и доверительную границу НСП.



1 – неподвижная катушка; 2 – подвижная катушка; 3 - пружинка
Рисунок 39.2 - Измерительный механизм ваттметра

Сделав необходимое число измерений, результат оформим в виде таблицы.
Таблица 39.4 – Карта измерительных наблюдений в ваттах

Показания ваттметра	Погрешность допустимая по НД (Вт)	Среднее значение
52,02	0,05 Вт	
51,98	0,05 Вт	52,0025 Вт
52,01	0,05 Вт	
52,00	0,05 Вт	

$$\overline{O} = \frac{52{,}02 + 51{,}98 + 52{,}01 + 52{,}00}{4} = 52{,}0025\text{Вт};$$

Вычисляем среднеквадратическое отклонение:

$$S(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \overline{X}\right)^2}{n-1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(52{,}02 - 52{,}0025)^2 + (51{,}98 - 52{,}0025)^2 + (52{,}01 - 52{,}0025)^2 + (52{,}00 - 52{,}0025)^2}{4-1}} = 0{,}0171;$$

$$\Theta(P) = \pm\left|\sum \Theta_i\right| \qquad \Theta(P) = \Delta_{\text{ïðåä}} + \Delta_{\text{äîï}}$$

$$\Delta_{\text{пред}} = 0{,}05\,Вт \qquad \Delta_{\text{äîï}} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 0{,}05 = 0{,}0025\,\hat{A}\partial$$

$\Theta(P) = \pm(0{,}05 + 0{,}0025) = \pm 0{,}0525\,\hat{A}\grave{o}$

Вычисляем доверительную границу погрешности результата измерений:

$\frac{\Theta(P)}{S(x)} = \frac{0{,}0525}{0{,}0171} = 3{,}07$, что больше 0,8 и меньше 8,0 и соответствует:

Так как $0{,}8 \le \frac{\Theta(P)}{S(x)} \le 8$,то доверительную границу погрешности результата измерений будем вычислять по формулам:

$$\in(p) = S(X)\cdot Z_{P/2}\,, \qquad (39.11)$$

$$\Delta(p) = K_{\Sigma}\cdot\left[\Theta(p) + \in(p)\right], \qquad (39.12)$$

$$K_{\Sigma} = \sqrt{1+\gamma^2}\,/1+\gamma\,, \qquad (39.13)$$

$$\gamma = \Theta(p)/\sqrt{3}\cdot\hat{E}(Đ)\cdot S(x)\,, \qquad (39.15)$$

где *K(P)* = 1,3 согласно таблицы 39.3, если число результатов наблюдений равно 3.

По формуле (39.11), где $Z_{P/2}$ = 1,414, при P = 0,95

$\in(p) = S(X)\cdot Z_{P/2} = 0{,}0171\cdot 1{,}414 = 0{,}0242$ Вт, $\gamma = \Theta(p)/\sqrt{3}\cdot\hat{E}(Đ)\cdot S(x) =$

$= 0{,}0525/\sqrt{3}\cdot 1{,}3\cdot 0{,}0171 = 1{,}3636.;$

$\hat{E}_{\Sigma} = \sqrt{1+\gamma^2}\,/1+\gamma = \sqrt{1+(1{,}3636)^2}\,/1+1{,}3636 = 0{,}715;$

$\Delta(p) = K_{\Sigma}\cdot\left[\Theta(p) + \in(p)\right] = 0{,}715\cdot[0{,}0525+0{,}0242] = 0{,}0548$ Вт;

Результаты измерения записываются в следующем виде:

A = (52,027 ± 0,0548) Вт;

Вывод по проведенной лабораторной работе

В результате проведения лабораторной работы мы измерили активную мощность цепи переменного тока, рассчитали СКО и определили, что ваттметр годен, результирующая погрешность данного прибора равна 0,0548 Вт, с учетом предела допустимой погрешности для ваттметра классом точности 0,2 $\pm$0,2 Вт, однако с учётом допустимой по НД погрешности = 0,05 Вт требуется подобрать прибор с более точным классом, например 0,02. Кроме того, необходимо повторно попытаться провести более тщательные измерения, где результаты наблюдений были с меньшим разбросом, такие как (52,01; 52,00; 51,99).

39.5 Контрольные вопросы к лабораторной работе

- Опишите принцип действия ваттметра
- Что необходимо для правильного включения ваттметра в цепь?
- Чему равен предел допускаемой погрешности, вызванной отклонением напряжения от номинального
- Какими методами проводится проверка?
- Какие правила округления результатов использовали при выполнении лабораторной работы?
- Какая формула используется для вычисления СКО и что такое СКО?
- Какими методами измерений вы пользовались при выполнении данной лабораторной работы?

39. 6 Варианты и исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ по списку группы	Мощность, W, (Вт) ±0,05%	№ по списку группы	Мощность, W, (Вт) ±0,05%
1	50,0	17	100,0
2	52,0	18	105,0
3	55,0	19	109,0
4	58,0	20	112,0
5	60,0	21	115,0
6	63,0	22	119,0
7	66,0	23	122,0
8	69,0	24	125,0
9	72,0	25	128,0
10	75,0	26	132,0
11	79,0	27	135,0
12	82,5	28	137,0
13	85,0	29	140,0
14	88,0	30	145,0
15	92,0	31	150,0
16	95,0	32	155,0

40 Лабораторная работа № 40 Амперметр переменного тока

(Ознакомительная - как практическая работа)

40.1 Назначение амперметра

Амперметр электромагнитной системы предназначается для точных измерений силы тока в цепях переменного тока частотой 50 герц и в цепях постоянного тока, в закрытых помещениях, при окружающей температуре от +10º до +35ºС.

40.2 Основные технические данные

Амперметры изготавливаются двухпредельными со следующими верхними пределами измерений:

25/50 ма; 50/100 ма; 250/500 ма;
0.5/1 а; 1/2 а; 2.5/5 а; 5/10 а

Нижние пределы измерений составляют 20% от соответствующих верхних пределов измерений, таким образом, вся серия приборов обеспечивает возможность измерений силы тока в пределах от 5 ма до 10 а включительно.

40.3 Основные параметры приборов:

Таблица 40.1- основные параметры приборов

№	наименование	значение
1	Класс точности по ГОСТ 1845 - 42	0,5
2	Время успокоения в секундах	4
3	Габаритные размеры в мм	190×230×115
4	Вес в кг	2,2
5	Мощность, потребляемая прибором в ваттах	1,5

40.4 Принцип действия

При прохождении тока по измерительным катушкам электромагнитного прибора, эти катушки создают магнитный паток, который, взаимодействуя с пермаллоевыми сердечниками подвижной системы, втягивает их внутрь катушек. Усилия, втягивающие эти сердечники, создают вращающий момент подвижной части.

Противодействующий момент, стремящийся повернуть подвижную систему в первоначальное положение, создается спиральными пружинками.

На одной оси с пермаллоевыми сердечниками укреплена стрелка, поэтому угол отклонения стрелки находится в определенной зависимости от тока, проходящего по измерительным катушкам. Прибор отградуирован таким образом, что показывает ток, проходящий через него.

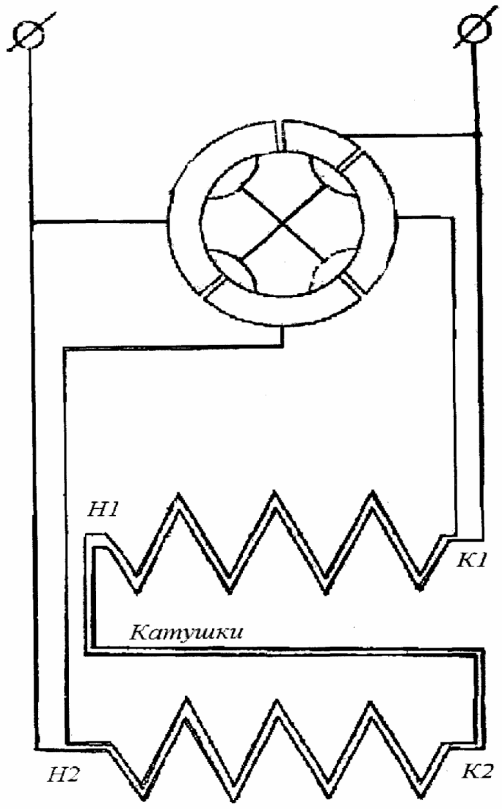


Рисунок 40.1 Принципиальная схема АСТ

Погрешность от влияния внешних магнитных полей устраняется применением астазирования, это объясняется тем, что собственное магнитное поле невелико. Для защиты от внешних полей применяются в основном два способа - астазирование и экранирование, которое заключается в том, что измерительный механизм прибора состоит из двух одинаково выполненных электромагнитных систем, расположенных одна на другой в параллельных плоскостях и создающих магнитные поля противоположных направлений. Вращающие моменты этих систем равны и направлены в одну сторону, потому что пермаллоевые сердечники укрепляются на оси смещенными один относительно другого на 180 º.

При такой конструкции внешнее однородное магнитное поле, усиливая магнитное поле одной катушки измерителя, одновременно настолько же ослабляет поле другой, в результате чего, практически, без изменений.

40.5 Описание конструкции

Основание измерительного механизма с камерой успокоителя и рама, отлитые из силумина, скреплены между собой и установлены в корпусе из пластмассы. Измерительные катушки крепятся к раме. Подвижная часть покоится в подпятниках, помещающихся в этой же раме. Успокоение прибора - воздушное, осуществляется с помощью крыла успокоителя, перемещающегося в закрытой камере. Шкала прибора крепится к основанию. Для устранения погрешности от параллакса шкала снабжена зеркалом. Крышка прибора изготовляется из пластмассы и скрепляется с корпусом при помощи винтов. Крышка имеет над шкалой окно со вставленным стеклом. Для

предохранения измерительного механизма от пыли между корпусом и крышкой проложена резиновая прокладка. Прибор имеет корректор для установки стрелки на нулевую отметку.

Подключение прибора производится при помощи двух зажимов с карболитовыми головками, расположенными на крышке. Переключение пределов измерения осуществляется при помощи поворотного переключателя, ручка которого помещается на крышке.

40.6 Правила пользования

1 Перед включением прибор следует установить в горизонтальное положение.

2 Установить стрелку прибора на нулевую отметку шкалы при помощи корректора.

3 Переключатель пределов установить на больший предел измерений.

4 С помощью регулирующего устройства уменьшить до минимума (например до нуля) ток в схеме и выключить подводимое напряжение.

5 Подключить прибор к схеме, как показано на рисунке 40.2, включить подводимое к схеме напряжение и с помощью регулирующего устройства повысить ток до требуемой величины.

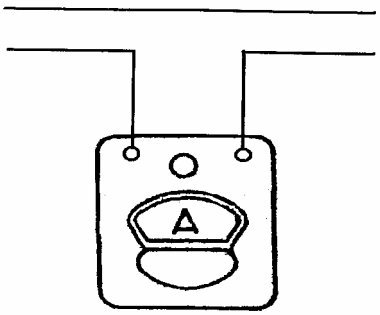


Рисунок 40.2 Непосредственная схема включения прибора

Если при этом отклонение стрелки прибора будет меньше 50 делений шкалы, то следует перевести переключатель в положение низшего предела измерений.

Действительная величина измеряемого тока определяется из выражения:

$$\lg = C(A + \Delta A)\ [A]\ \text{èëè}\ [\text{ì}\ A], \qquad (40.1)$$

где: С - постоянная прибора в А/дел (или мА/дел);

А - отсчет по шкале в делениях;

ΔА- поправка прибора в делениях.

Постоянная прибора в амперах на деление шкалы приведена в таблице 40.2

Таблица 40.2

Пределы измере-ний	10а	5а	2.5а	2а	1а	500ма	250ма	100ма	50ма	25ма
Постоянная прибора	0.1а/дел	0.05а/дел	0.025а/дел	0.02а/дел	0.01а/дел	5ма/дел	2.5ма/дел	1ма/дел	0.5ма/дел	0.25ма/дел

Поправки прибора для цифрованных отметок шкалы имеются в поправочной таблице, прилагаемой к каждому прибору.

В случае отсчета на нецифрованной отметке шкалы поправка определяется из выражения:

$$\Delta A = \Delta A_1 - [\ \Delta A_2 - \Delta A_1\ ] \cdot \frac{n}{10};\ (A)\ \text{èëè}\ (\text{ìÀ}), \qquad (40.2)$$

где: ΔA_1 - поправка ближайшей цифрованной отметке слева от неоцифрованной отметки отсчета (с учетом знака);

ΔA_2 - поправка ближайшей цифрованной отметке справа от неоцифрованной отметки отсчета (с учетом знака);

n - порядковый номер отсчета в интервале между оцифрованными отметками.

За счет «А» рекомендуется принимать среднюю величину из двух показаний:

- при одном направлении тока в приборе и при увеличении последнего от нуля до измеряемой величины;
- при обратном направлении тока и уменьшении его от конца шкалы до измеряемой величины.

Для расширения пределов измерения при измерениях на переменном токе может быть использован трансформатор тока с номинальным вторичным током, соответствующим верхнему пределу измерения амперметра.

В этом случае включение прибора производится по схеме, изображенной на рисунке 40.3.

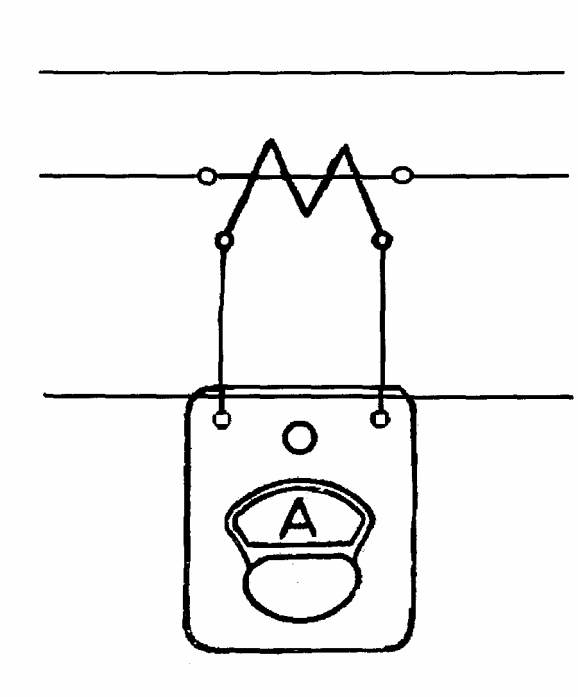


Рисунок 40.3 Включение амперметра с измерительным трансформатором тока

При этом действительная величина измеряемого тока определяется из выражения:

$$\lg = KgC(\grave{A} + \Delta\grave{A})\ [\grave{A}], \qquad (40.3)$$

где: Kg- действительный коэффициент трансформатора тока.

40.7 Хранение прибора и гарантийный срок

Амперметр должен хранится в закрытом помещении при температуре от +10 до +35ºС и относительной влажности воздуха от 30 % до 80 %. В воздухе помещения, где хранится прибор, не должно быть вредных примесей, вызывающих коррозию. Гарантийный срок службы прибора в условиях нормальной эксплуатации и хранения - 12 месяцев.

40.8 Точность приборов

Одной из основных характеристик электроизмерительного прибора является его погрешность, которая характеризует точность прибора, т.е. степень приближения результата измерения к истинному значению измеряемой величины.

Различают два вида погрешностей приборов: основные и дополнительные. Основная погрешность – это погрешность, свойственная прибору при нормальных условиях эксплуатации. Под нормальными условиями понимаются нормальные климатические условия:

- температура окружающего воздуха 20 ± 5ºС;
- относительная влажность воздуха 65 ± 15 % ;
- давление 730 + 30 мм рт. ст.;

- нормальное рабочее положение прибора, обозначенное на приборе, и отсутствие внешних магнитных полей, кроме земного.

Если условия работы прибора отличаются от нормальных, то прибор может иметь дополнительные погрешности. Выражаются основные и дополнительные погрешности в процентах от конечного значения рабочей части шкалы (для приборов с односторонней шкалой) и в процентах от суммы конечных значений (для приборов с двусторонней шкалой). Нормы основных и дополнительных погрешностей для разных групп приборов предусмотрены ГОСТ 1845 - 59.

Рассмотрим основные и дополнительные погрешности и причины, их вызывающие. Источниками основной погрешности прибора будут:

1 ограниченная точность образцовых мер и приборов, по которым градуировался данный прибор;

2 погрешности, возникающие при градуировке прибора;

3 изменение градуировки прибора вследствие старения входящих в прибор деталей и сопротивлений.

Допустимые величины основных погрешностей определяются классом прибора.

Источниками дополнительных погрешностей могут быть:

1 температурная погрешность;

2 погрешность от неуравновешенности;

3 погрешность от влияния внешних магнитных полей

40.9 Мощность, потребляемая прибором из цепи измерения

Эта характеристика является вторым важнейшим показателем электроизмерительного прибора. На приборах чаще всего указывается не потребляемая мощность в ваттах, а «потребляемый» ток, т.е. ток полного отклонения (для вольтметров) или падение напряжения на приборе (для амперметров). Мощность, потребляемая прибором, может быть подсчитана как произведение потребляемого тока на падение напряжения на приборе. Значения падения напряжения на амперметрах классов 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5 при нормальной температуре не должно отличаться от указанного на приборе более чем на величину допускаемой основной погрешности.

40.10 Перегрузочная способность приборов

Все переносные приборы и вспомогательные части к ним должны выдерживать без повреждений нагрузку током или напряжением, равным 120 % номинального в течение 5 минут.

Кроме того, переносные амперметры должны выдерживать без повреждений импульсные нагрузки, а именно: пять ударов током, превышающим в 2 раза номинальные, продолжительностью 0,5 секунд с интервалами в 15 секунд.

Однако это не означает, что в процессе эксплуатации приборов их не следует оберегать от подобных перегрузок. Испытание на перегрузку проводится с целью проверки механической прочности подвижной части измерительного механизма.

40.11 Схемы включения

Схемы включения приборов для измерения тока в электрической цепи приведены на рисунке.

Как известно, для того чтобы измерить ток «I» в нагрузке, необходимо включить амперметр в разрыв цепи, т.е. последовательно с нагрузкой. При таком включении весь ток, протекающий через нагрузку, неизбежно пройдет через амперметр.

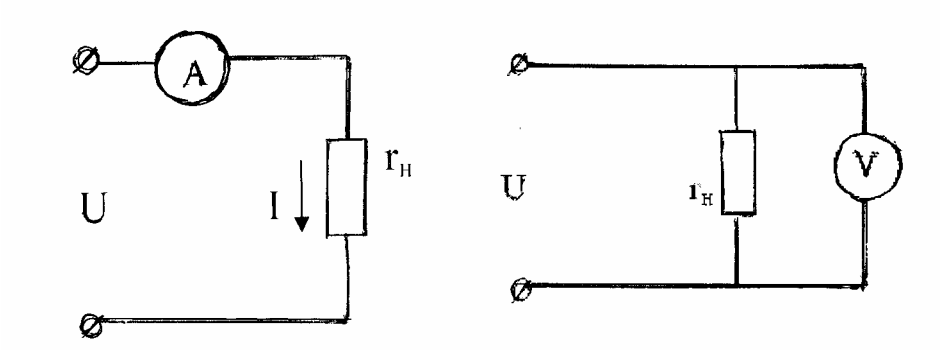


Рисунок 40.4 Схема включения амперметра и вольтметра

Амперметром можно измерить не только ток, но и сопротивление. Схемы включения приборов для измерения сопротивления показаны на рисунке. Измерение основаны на законе Ома. Если известны ток, протекающий через сопротивление, и падение напряжения на нем, то сопротивление можно вычислить по формуле:

$$r_x = U/I; \qquad (40.4)$$

Следует заметить, что каждая из приведенных схем измерения содержит систематическую погрешность измерения. В данном случае погрешность измерения обусловлена тем, что амперметр измеряет не только ток, протекающий через сопротивление, но и ток, потребляемый вольтметром. Следовательно, чем меньше этот ток или чем больше сопротивление вольтметра по отношению к сопротивлению r_x, тем меньше погрешность измерения. Если известен ток потребления вольтметра при данном отклонении, то систематической погрешности можно избежать. Для этого требуется из показания амперметра вычесть ток потребления вольтметра и полученную разность токов подставить в формулу $r_x = U/I$.

Чем меньше будет сопротивление амперметра, тем меньше будет падение напряжения на нем и тем самым меньше будет погрешность измерения сопротивления. Если сопротивление амперметр известно, то погрешности можно избежать. Для этого требуется подсчитать падение напряжения на амперметре и вычесть это напряжение из показаний вольтметра. Разность напряжений подставить в формулу. Какая из схем измерения в том или ином случае предпочтительнее, зависит от имеющихся приборов и от величины измеряемого сопротивления. Схемы, изображенные на рисунке, пригодны и для измерения потребляемой нагрузкой мощности.

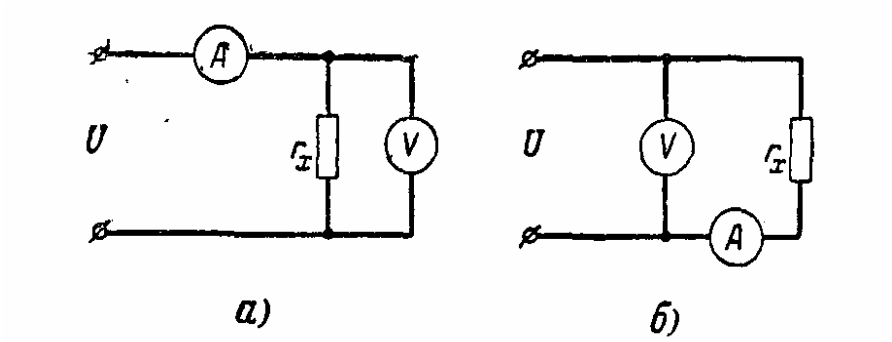


Рисунок 40.5 Схемы включения приборов при измерении сопротивления или мощности

Мощность можно подсчитать по формуле:

$$P = UI; \qquad (40.5)$$

Так же как и при измерении сопротивления, при измерении мощности обе схемы дают систематическую погрешность. Причина погрешности заключается в том, что в случае схемы «а», мы измеряем, по существу, мощность, потребляемую нагрузкой, плюс мощность, потребляемую вольтметром, а в случае схемы «б» мы измеряем мощность, потребляемую нагрузкой, плюс мощность, потребляемую амперметром.

40.12 Промышленные типы приборов

В настоящее время в обращении находится около 40 типов различных переносных амперметров постоянного тока. Среди них есть типы, имеющие много общих характеристик и различающие лишь некоторыми паспортными данными. Как правило, такие приборы имеют одинаковую конструкцию измерительного механизма и выпускаются в одинаковых корпусах. Для удобства пользования справочными данными подобные типы приборов объединены в группы. Расположены приборы и группы в порядке их класса точности.

Принципиальные схемы приведены только для приборов новых типов. Принципиальные схемы остальных приборов можно найти в литературе.

40.13 Выбор прибора

При проведении различного рода измерений для получения правильных результатов необходимо учитывать специфические свойства приборов. Предположим, имеется электрическая цепь, в которой установились определенные токи и напряжения. Включим в нужных нам местам цепи электроизмерительные приборы. Теперь процессы, происходящие в цепи, будут отличаться то тех, которые были до подключения приборов. Объясняется это тем, что приборы потребляют определенную энергию из цепи измерения.

При подключении приборов в цепь процессы могут изменяться не только количественно, но и качественно. Примером может служить схема на электронных лампах, например радиоприемника. Режим работы электронной лампы, как известно, зависит от напряжений на ее электродах (анодах и сетках); при подключении к электродам лампы вольтметра с большим потреблением на них меняется напряжение, следовательно, меняется режим работы лампы. Изменения могут быть настолько большими, что лампа перестанет выполнять функции, возложенные на нее, и приемник перестанет работать.

При выборе приборов следует помнить, что качественные изменения в цепи не допустимы, а количественные должны быть сведены к минимуму. Чем меньше мощность потребляется прибором, тем меньше изменения произойдут в схеме после его включения.

Сказанное можно пояснить примером. Попутно на этом же примере будет показано, какую роль играет методика процесса измерения.

Представим себе, что требуется измерить напряжение срабатывания реле (показанного на рисунке).

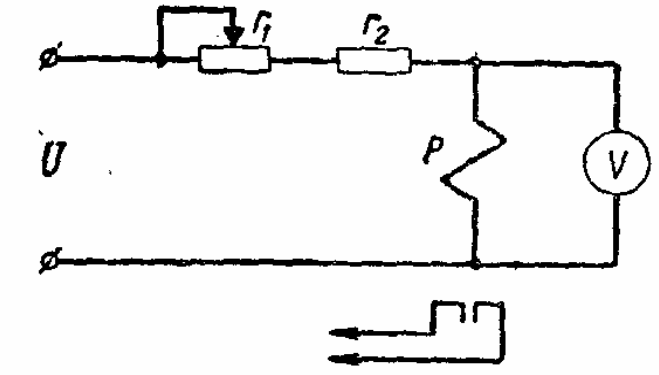


Рисунок 40.6 Измерительная схема для определения напряжения срабатывания электрического реле

Предварительно схема с помощью реостата r_1 была отрегулирована таким образом, чтобы реле сработало. Требуется измерить напряжение срабатывания U_x. Известно, что напряжение U_x ориентировочно равно 10 - 20 В, в нашем распоряжении имеется два вольтметра с подходящими пределами измерения: прибор с пределом измерения 15 В и током потребления 3 мА и прибор на 20 В с током потребления 10 мкА. Прибор имеет класс точности 0,2, а другой - класс 0,5 на первый взгляд кажется, что лучше воспользоваться прибором с большей точностью, т.е. прибором с классом точности, равным 0,2.

Однако если попробуем подключить по очереди приборы, то увидим, что первый прибор покажет 14,2 В, а другой покажет 17,1 В результаты этих двух измерений разнятся на 2,9 В, что составляет более 20%. Если попытаемся проверить приборы, то увидим, что каждый из них укладывается в свой класс точности. Следовательно, максимальная разница показаний не может быть более 0,7 % (0,5 + 0,2), почему же получается разница в 20 %?

Объясняется подобная разница тем, что первым прибором потребляется больший ток. Напряжение U_x равняется разности напряжений источника Е и падения напряжения на сопротивлениях r_1 и r_2, т.е.

$$U_x = U - (U_{r1} + U_{r2}) \qquad (40.6)$$

В момент подключения амперметра ток I через сопротивления r_1 и r_2 увеличился на величину ΔI, т.е. примерно на 3 мА, так как стрелка прибора отклонилась почти на полный угол шкалы, следовательно, падение напряжения на сопротивлениях r_1 и r_2 увеличилось на величину ΔU, равную:

$$\Delta U = \Delta I\,(r_1 + r_2) = 3\cdot 10^{-3} \cdot 1\cdot 10^{3} = 3\ \text{В}; \qquad (40.7)$$

Таким образом, напряжение U_x уменьшается на 3 В по сравнению с тем, которое было до подключения прибора.

Следовательно, ориентировочные расчеты показывают, что при данной методике измерения, чем больше сопротивление амперметра, тем больше его влияние на измерительную цепь. Описанная методика измерения является не лучшей из возможных. В принятой методике предварительно схема была отрегулирована реостатом r_1, а потом подключался амперметр для измерения. При этом возникало дополнительное падение напряжения ΔU, которое вносило погрешность измерения. Можно избежать этой погрешности, если изменить методику измерения. Для этого сначала требуется подключить амперметр в цепь измерения, а потом регулировать схему. Когда реле сработает, то напряжение на зажимах амперметра будет соответствовать напряжению срабатывания (с учетом возможной погрешности прибора).

Не следует во всех случаях измерений увлекаться классом точности приборов. Приборы высокого класса точности сложнее, имеют большие габариты, стоимость их выше, их легче повредить и, как правило, работа с приборами большой точности имеет более низкую производительность труда. Однако прибор, имеющий погрешности, превышающие допустимые, совершенно неприемлем для ответственных измерений. Например, требуется измерить токи и напряжения для определения режима работы радиоламп в электронной установке. Для построения характеристик ламп вполне достаточна точность 1 – 2 %. Поэтому для данной работы следует брать прибор класса 1,0 или 1,5 с малым потреблением тока. Неоправданным будет применение прибора класса 0,2 или тем более класса 0,1.

40.14 Эксплуатация амперметров

Каждый электроизмерительный прибор работает в совокупности с другими приборами и элементами, соединенными определенным способом в электрическую схему. В этом случае, если схема будет собрана неправильно, то первое же подключение источника питания может вывести из строя один или несколько приборов. В связи с этим первому этапу работы с прибором - сборке схемы необходимо уделять наибольшее внимание.

Перед сборкой схемы целесообразно ознакомиться техническими характеристиками входящих в схему приборов.

Размещение приборов, реостатов, переключателей и прочих элементов схемы должно быть наглядным и не требующим особого внимания. Это облегчит работу

оператора и исключит возможные ошибки. Для приборов со световым отсчетом важно, чтобы они были расположены в заметном месте. При размещении приборов необходимо следить, чтобы вблизи них не было устройств с сильными магнитными полями (мощных двигателей, трансформаторов, электромагнитов и т.д.). Переменные магнитные поля могут размагнитить магниты прибора, вследствие чего нарушится градуировка прибора и его погрешность выйдет за пределы допустимой. Таким образом, прибор фактически будет выведен из строя. Постоянные магнитные поля могут исказить результат измерения.

Расстояние между приборами должно быть не менее 25 см. Следует помнить, что приборы могут изменять показания в пределах основной погрешности под влиянием помещенного вплотную с ним такого же прибора.

Следующим этапом сборки схемы будет соединение входящих в схему элементов и проверка схемы. Сборку схемы следует производить всегда в определенном порядке, например, начиная с положительного контакта источника питания и кончая отрицательным контактом источника. При этом первоначально рекомендуется собрать токовые (последовательные) и потом потенциальные (параллельные) цепи.

Проверку схем рекомендуется проводить в обратном порядке. После того как схема собрана и проверена, необходимо поставить ручки и рычаги приборов в исходное положение: переключатели пределов измерения амперметров поставить на максимальный предел измерения, ручки реостатов поставит в положение минимального тока в рабочей цепи.

В заключение рекомендуется проверить надежность контактов, после чего можно разарретировать приборы, подключить питание к осветителям (для приборов со световым отсчетом) и установить указатели приборов на нулевую отметку шкалы.

При работе с прибором следует выбирать предел измерения с таким расчетом, чтобы указатель прибора при измерении по возможности находился во второй половине шкалы. При этом относительная погрешность измерения будет те меньше, чем ближе находится указатель к концу шкалы. Пояснить это можно следующим образом. Точность прибора характеризуется приведенной погрешностью, которая равна отношению абсолютной погрешности к верхнему пределу измерения. Таким образом, при равной абсолютной погрешности в начале и конце шкалы приведенная погрешность будет в начале и конце шкалы одинаковой, но относительная погрешность в начале шкалы будет больше, чем в конце шкалы. Предположим, что стрелка амперметра, имеющего предел измерения 150 А, стоит на отметке шкалы, соответствующей 120 А, а действительное значение напряжения равно 120,6 А.

Тогда абсолютная погрешность будет равна:

$$\Delta A = A - A_д = 120{,}0 - 120{,}6 = -0{,}6 \text{ А}$$

Приведенная погрешность согласно определению составит величину:

$$\gamma_{ïð} = -\frac{0{,}6}{150} \cdot 100\ \% = -0{,}4\ \% \qquad (40.8)$$

Относительная погрешность в этой точке будет равна:

$$\gamma_o = -\frac{0,6}{120} \cdot 100\ \% = -0,5\ \% \tag{40.9}$$

Теперь представим себе, что тем же прибором измерено напряжение 10,0 А, в то время как действительное значение напряжение равно 10,6 А, тогда абсолютная погрешность будет равна:

$$\Delta A = 10,0 - 10,6 = -0,6A$$

Приведенная погрешность прибора в этой точке будет равна:

$$\gamma_{ïð} = -\frac{0,6}{150} \cdot 100\,\% = -0,4\,\% \tag{40.10}$$

Относительная же погрешность составит в этой точке:

$$\gamma_o = -\frac{0,6}{10} \cdot 100\% = -6\ \% \tag{40.11}$$

Таким образом, получается, что приведенная погрешность прибора в обеих точках одинакова и равна - 0.4%, а относительная погрешность в точке шкалы 120 А равна - 0,5 %, а в точке 10 А равна - 6%. Для экспериментатора же в данном случае интерес представляет относительная погрешность.

Вот почему рекомендуется при измерениях пользоваться последней третью шкалы в тех случаях, когда это возможно.

По окончании работы приборы, имеющие арретиры, должны быть заарретированы.

Храниться приборы должны в футлярах или коробках в сухих и чистых помещениях.

Воздух в помещении, где хранятся приборы, не должен содержать вредных примесей, вызывающих коррозию.

При транспортировке на большие расстояния упаковываются в соответствии с требованиями ГОСТ 9181 - 59 « Приборы электроизмерительные. Требования к упаковке».

Не реже одного раза в 6 месяцев рекомендуется проверять состояние приборов путем их осмотра и поверки по образцовым приборам. Один раз в 2 года, а также после каждого ремонта приборы должны предъявляться на государственную поверку и клеймение в местное отделение Комитета стандартов, мер и измерительных приборов.

40.15 Ремонт

Механизм современного электроизмерительного прибора состоит из десятков мелких и хрупких деталей. Операции по сборке и разборке измерительного механизма требуют определенного навыка и знания специальных приемов.

Прежде чем приступить к ремонту прибора, следует точно установить, в чем именно заключена его неисправность.

Прибор может иметь механические и электрические неисправности, которые делают прибор непригодным к использованию:

- значительное трение в опорах;
- плохое закрепление растяжек;
- частичное витковое замыкание обмотки рамки;
- оборваны или «сожжены» некоторые катушки схемы;
- размагниченная магнитная система прибора;
- плохая уравновешенность прибора;
- подвижная часть прибора сильно загрязнена железом;
- плохие контакты в переключателе или электрической схеме прибора;
- стрелка прибора задевает на шкалу или стекло прибора;
- подвижная часть измерительного механизма выпала из опор;
- порвана или сожжена большим током растяжка;
- отпаялась спиральная пружинка;
- затирание рамки в воздушном зазоре магнитной системы;
- обрыв или замыкание обмотки рамки прибора;
- механические неисправности переключателя прибора;

40.16. Нарушение контакта в электрической схеме прибора.

К неисправностям приборов со световым указателем относятся:

- перегорела осветительная лампа;
- нарушена юстировка оптической системы;
- перегорел трансформатор питания лампы;
- плохие контакты в переключателе напряжения сети.

Начинать поиск следует с наружного осмотра прибора. При этом следует иметь в виду, что прибор может иметь одновременно несколько неисправностей.

При наружном осмотре проверяется, не загрязнен ли прибор, устанавливается сохранность основных частей прибора (корпуса, зажимов, стекол, переключателей).

Кроме того, проверяют исправность корректора и уравновешенность на нулевой отметке шкалы прибора. В том случае, когда при наружном осмотре неисправностей не обнаружено, следует пробником проверить целостность электрической цепи прибора. При проверке электрической цепи чувствительных приборов следует пользоваться «электрическим пробником» с рабочим током не более 0.1 мА, с тем, чтобы не повредить подвижную часть амперметра. Если электрическая цепь в исправности, то прибор можно включить в схему и определить его погрешность и уравновешенность.

Результаты испытаний записать в рабочий журнал. Если при наружном осмотре обнаружены очевидные неисправности внутри прибора (их можно видеть через стекло прибора), то прибор следует вскрыть и произвести внутренний осмотр. При этом следует обратить внимание на свободное перемещение подвижной части прибора в переделах шкалы, на качество контактов электрической схемы, на четкость работы переключателей (если они имеются). Каждую отмеченную неисправность рекомендуется записать в рабочем журнале.

После того как выявлены все неисправности, можно приступить к ремонту.

При этом следует твердо помнить: не надо приступать к ремонту до тех пор, пока не будет подготовлено рабочее место.

Рабочее место должно быть просторным, хорошо освещенным и имеющим необходимое оборудование. Очень хорошо, если стол будет покрыт листом белой бумаги. На белой бумаге лучше будут видны мелкие детали прибора. На столе, кроме инструмента, желательно иметь либо стеклянные стаканчики, либо сделанные из ватмана коробочки для мелких деталей и крепежа. Совершенна, необходима на рабочем месте настольная лампа. Из инструмента, помимо обычного часового и мелкого слесарного, необходимо иметь:

- пинцет из немагнитного материала (латуни, фосфористой бронзы);
- иглу из немагнитного материала;
- две кисти (одну из них мягкую, например, колонковую);
- электрический «пробник» с малым рабочим током.

Весь стальной инструмент желательно иметь хромированным. Это совершенно необходимо в том случае, если придется ремонтировать чувствительные приборы. Когда рабочее место подготовлено, можно приступать к ремонту.

Все элементы, входящие в электроизмерительный прибор, с течением времени так или иначе изменяют свои свойства, в том числе и те, которые участвуют в создании вращающего и противодействующего моментов. Например, если магнитная индукция в зазоре со временем ослабнет, то чувствительность прибора станет ниже. Кроме того, может измениться сопротивление рамки или катушек прибора и тогда тоже появится погрешность, так как прибор градуировался при первоначальном сопротивлении рамки и катушек. Противодействующий момент в магнитоэлектрическом приборе создается либо с помощью спиральной пружины (в приборах с подвижной частью на кернах), либо за счет упругих свойств растяжки, и приходится считаться с их нестабильностью.

Таким образом, в случае замены перечисленных элементов при ремонте прибора необходимо их «состарить». Основной метод старения заключается в том, что отдельные элементы, а потом прибор в целом несколько раз нагревают в термостате и охлаждают. Через несколько циклов прибор перестает изменять свои показания. Температура старения и продолжительность циклов для различных приборов различны. Чаще всего температура нагрева равна 80 – 120 °С, а продолжительность цикла 6 часов (3 часа - нагрев, 3 часа - остывание). Когда прибор состарен, его можно отградуировать. В том случае, когда погрешность прибора лишь немного превышает допустимую, можно попытаться «вогнать» погрешность прибора в норму с помощью магнитного шунта.

Отремонтированный прибор обязательно должен быть поверен по всем основным его характеристикам.

40.17 Поверка

40.17.1 Методы и средства поверки

Стандарт 8.350 - 79 распространяется на высокочастотные амперметры по ГОСТ 8711 - 78, применяемые для измерения тока в диапазоне 0,04 - 20 А на частотах до 300 МГц с пределом допускаемой основной погрешности не менее 1%, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

40.17.2 Операции поверки

При проведении поверки должны быть выполнены следующие операции:
- внешний осмотр;
- опробование;
- проверка электрической прочности и сопротивления изоляции;
- определение основной погрешности амперметров;
- определение вариации показаний амперметров;
- определение остаточного отклонения указателя от нулевой отметки шкалы при поверке на постоянном и переменном токе.

40.17.3 Средства поверки

При проведении поверки должны быть применены (образцовые) эталонные средства поверки, приведенные в таблице 40.3:

Таблица 40.3 – Средства поверки приборов

Наименование	Диапазон измерений, А	Диапазон частот, МГц	Предел допускаемой погрешности, %
Фотоамперметр типа А1-1 2-го разряда	0.04-0.5/0.5-1	6.10^{-4}-300/6.10^{-4}-100	1-3
Измеритель тока высокой частоты типа А1-2 2-го разряда	1-1.6/1.6-20	0.5-50/0.1-50	1.5
Электродинамический компаратор типа ЭДК-3 1-го разряда	0.04-1	1-300	0.3-0.75
Электродинамический амперметр типа ЭДА-5 1-го разряда	1-20	0.1-100	0.3-0.5

Эталонный (образцовый) фотоамперметр 2-го разряда в комплекте с внешним измерителем постоянного тока класса не ниже 0.1 обеспечивает поверку с погрешностью 0.3 - 3%.

Верхний предел диапазона частот эталонного (образцового) измерителя тока высокой частоты 2-го разряда можно увеличивать до 60 МГц.

Эталонный (образцовый) измеритель тока высокой частоты 2-го разряда в комплекте с внешним измерителем постоянного тока класса не ниже 0.1 обеспечивает поверку с погрешностью не более 0.8%.

Погрешность эталонных (образцовых) средств измерений не должна превышать 1/3 предела допускаемой погрешности поверяемого средства измерения.

При проведении поверки должны быть применены вспомогательные средства поверки:

- генератор стабилизированного тока типа ГСТ - 1, обеспечивающий в резонансных контурах эталонных (образцовых) амперметров ток в диапазоне:

0,04 - 20 А - на частотах 0,1; 0,5;1; 5; 10; 30; 50 МГц;

0,04 - 1 А - на частотах 75 и 100 МГц;

0,04 - 1 А - на частотах 0.1; 0,5; 1; 5; 10; 30; 50; 75; 100 МГц в согласованном тракте 50 Ом при нестабильности тока не более 0,4 % в течение 2 минут и нестабильности частоты не более 0,1 % в течение 10 минут;

- генератор стабилизированного тока типа ГСТ - 2, обеспечивающий в согласованном тракте 50 Ом ток не менее 0.5 А в диапазоне частот 150 - 300 МГц при нестабильности тока не более 0,4 % в течение 2 минут и нестабильности частоты не более 0,1 % в течение 10 минут.

Допускается применять другие средства поверки, прошедшие метрологическую аттестацию в органах государственной метрологической службы и удовлетворяющие по точности требованиям настоящего стандарта.

40.17.4 Условия поверки и подготовка к ней

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха 20 ± 5 °С;
- относительная влажность 65 ± 15 %;
- атмосферное давление 100 ± 4 кПа (750 ± 30 мм. рт.ст.);
- напряжение питающей сети 220 ± 4.4 В частотой 50 Гц;
- вибрация и толчки должны отсутствовать.

Перед началом поверки средства поверки и средства измерений должны быть приведены в рабочее состояние и прогреты в соответствии с требованиями технической документации на амперметр конкретного типа, утвержденной в установленном порядке (далее техническая документация). При поверке необходимо выполнять все указания, приведенные в технической документации на образцовые и поверяемые амперметры конкретных типов.

Амперметры с отдельными термопреобразователями, трансформаторами тока и добавочными устройствами необходимо поверять с соединительными проводами (кабелями), входящими в комплект амперметра. Амперметры, укомплектованные несколькими сменными термопреобразователями, трансформаторами и добавочными устройствами, необходимо поверять с каждым термопреобразователем, трансформатором и добавочным устройством.

Поверяемые приборы должны быть подготовлены к работе в соответствии с нормативной документацией на приборы конкретных типов. Прибор допускается

поверять без взаимозаменяемых вспомогательных частей. Прибор, применяемый с ограниченно взаимозаменяемыми и невзаимозаменяемыми вспомогательными частями, поверяют совместно с последними. Показания приборов отсчитывают в направлении, перпендикулярном к шкале. Приборы, отградуированные с калиброванными проводами, поверяют совместно с этими проводами. Приборы, отградуированные с соединительными проводами определенного сопротивления, поверяют совместно с эквивалентным сопротивлением, равным сопротивлению этих проводов.

Трехфазные приборы поверяют при симметричном напряжении и равномерной нагрузке фаз по ГОСТ 8476 - 78. приборы постоянного и переменного тока поверяют на том роде тока, для которого они предназначены. При поверке на постоянном токе приборов магнитоэлектрической системы в качестве образцовых средств измерений применяют приборы этой же системы, а при поверке приборов других систем - приборы электродинамической и электромагнитной систем.

Поверку рабочих приборов на переменном токе следует проводить при нормальных значениях частоты. Если не указано нормальное значение частоты или указан диапазон нормальных значений частот, включающий частоту 50 Гц, то поверку проводят на частоте 50 Гц. Если указан диапазон нормальных значений частот, который не включает частоту 50 Гц, то поверку проводят на частоте, рассчитанной по формуле:

$$f = \sqrt{f_k \cdot f_i} \qquad (40.12)$$

где $f_к$- конечная частота диапазона нормальных значений частот поверяемого прибора;

$f_н$- начальная частота диапазона нормальных значений частот поверяемого прибора.

Поверку приборов, аттестованных в качестве эталонных (образцовых), на переменном токе проводят на частотах 50 Гц, частоте, рассчитанной по формуле и на конечной частоте диапазона. Если указан диапазон нормальных значений частот, который не включает частоту 50 Гц, то прибор следует поверять и при начальной частоте диапазона.

Многодиапазонные приборы допускается поверять на всех числовых отметках шкалы лишь на одном диапазоне измерений, на остальных диапазонах достаточно проводить поверку на двух отметках шкалы:

- на числовой отметке, соответствующей нормирующему значению шкалы, и числовой отметке, на которой получена максимальная погрешность на полностью проверяемом диапазоне измерений.
- многодиапазонные приборы, применяемые в качестве эталонных (образцовых), поверяют на всех числовых отметках шкалы на тех диапазонах измерений, на которых их используют. На остальных диапазонах их поверяют на двух отметках шкалы, как указано выше.
- приборы с несколькими шкалами или приборы, измеряющие несколько величин, должны быть поверены на каждой шкале и по каждой измеряемой величине отдельно.

- приборы с двусторонней шкалой поверяют на всех числовых отметках левой и правой частей шкалы.

- рабочие щитовые приборы допускается поверять без демонтажа со щита или панели с использованием электрокоммутирующих элементов, не влияющих на метрологические характеристики приборов. Перед поверкой приборы должны быть выдержаны при нормальной температуре в течение 8 часов. Перед поверкой должны быть выполнены следующие подготовительные операции:

- указатель поверяемого прибора устанавливают механическим корректором на нулевую отметку шкалы при отключенных цепях тока и напряжения;

- приборы включают в цепь и прогревают их с целью установления рабочего режима в течение времени и при нагрузках, указанных в НД на приборы конкретных типов. Если в НД время прогрева не предусмотрено, приборы предварительному прогреву не подвергают, и основную погрешность определяют сразу после включения прибора в цепь;

- приборы, в устройстве которых имеются органы управления, настройки и коррекции, предварительно настраивают или регулируют в соответствии с требованиями НД на приборы конкретных типов;

- приборы с малыми пределами измерения защищают от возникновения токов утечки и термоэлектродвижущих сил в соответствии с НД на приборы конкретных типов;

- если на приборе есть условный знак, указывающий положение прибора в земном магнитном поле, то прибор устанавливают таким образом, чтобы эта стрелка была направлена по магнитному меридиану.

При поверке необходимо соблюдать правила техники безопасности, указанные в технической документации на средства поверки и средства измерений.

40.17.5 Порядок и сроки поверки

Различают следующие виды поверок приборов: государственные и эксплуатационные.

К государственным поверкам относятся типовые и контрольные испытания. Номенклатура приборов, подлежащих государственным испытаниям, и сроки испытаний устанавливаются действующими правилами стандартов, мер и измерительных приборов.

Приборы, находящиеся в эксплуатации, помимо обязательной государственной поверки подлежат периодической поверке, осуществляемой поверочными лабораториями учреждений под общим надзором местных органов Комитета стандартов, мер и измерительных приборов. Кроме периодических, специальным поверкам подвергаются все приборы, прошедшие капитальный ремонт, а также все приборы, устанавливаемые на вновь вводимых объектах.

Вся аппаратура, применяемая в качестве образцовой при поверке приборов (потенциометры, образцовые приборы, нормальные элементы, образцовые катушки, магазины сопротивлений), должна иметь свидетельства о поверке или аттестаты и должна быть внесена в список образцовых приборов.

40.17.6 Требования к поверяемому прибору

К прибору, представленному на поверку, предъявляется ряд требований, которым прибор должен удовлетворять. Несоответствие прибора требованиям исключает возможность поверки до тех пор, пока отмеченные недостатки не будут устранены. Требования следующие:

- прибор должен удовлетворять требованиям действующих ГОСТ;
- приборы более ранних выпусков, изготовленные по техническим условиям и ГОСТ, которые заменены новыми, поверяются на соответствие тем техническим условиям и ГОСТ, по которым они были выпущены. Приборы, на которых не обозначены ГОСТ и неизвестно, по каким техническим условиям они выпущены, относятся по внешнему виду, присущей прибору погрешности, вариации показаний и уравновешенности к определенному классу точности и поверяются на соответствие этому классу, устанавливаются решением ОГМетролога.
- на всех приборах обязательно должно быть указано:

а) Обозначение измеряемой величины, на многопредельных приборах, предназначенных для измерения только одной величины, может наноситься полное наименование прибора

б) Условное обозначение рода тока;

в) Условное обозначение системы прибора и степень защищенности от магнитных полей;

г) Условное обозначение рабочего положения, если это положение имеет значение;

д) Условное обозначение испытательного напряжения;

е) Марка завода-изготовителя;

ж) Заводское обозначение прибора;

з) Год выпуска и заводской номер;

и) Знак « - » около отрицательного зажима прибора.

к) Указание о потребляемой прибором мощности, выраженной одним из способов:

- падением напряжения при нормальном токе;
- током при номинальном напряжении;
- сопротивлением или потребляемой мощностью.

Прибор не должен иметь дефектов, которые могут увеличить погрешность изменения или привести прибор к порче, например:

- испорченный корректор не допускает регулировки нулевого положения указателя;
- ненадежное крепление элементов прибора (корпуса, зажимов, корректора, переключателя);
- шкала прибора отклеилась, покоробилась или загрязнена;
- зеркало шкалы потускнело или разбито;
- внутри прибора находятся незакрепленные предметы (винты, гайки), которые можно обнаружить на слух при опрокидывании прибора.
- наружные калиброванные шунты и добавочные сопротивления должны иметь класс точности не ниже указанных в таблице 40.4.

Таблица 40.4 – Класс шунтов в зависимости от класса прибора

Класс прибора	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	0.5	4.0
Класс шунта или добавочного сопротивл-я	-	0.05	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	1.0

40.17.7 Проведение поверки

Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено:
- отсутствие механических повреждений;
- исправность регулировочных и соединительных элементов;
- соответствие комплектности амперметра (кроме запасных частей) требованиям технической документации.

Опробование

При опробовании должно быть установлено надежное закрепление зажимов приборов, плавный ход и четкая фиксация переключателей.

Проверка электрической прочности и сопротивления изоляции

Электрическую прочность и сопротивление изоляции проверяют по ГОСТ 8711 – 78 для амперметров и по ГОСТ 8476 – 78 при помощи установки. Электрическое сопротивление изоляции не должно превышать значения, установленного в ГОСТ 8711 – 78 для амперметров и в ГОСТ 8476 – 78.

Основную погрешность амперметров определяют методом непосредственного сличения с образцовыми средствами поверки. Проверяемый амперметр присоединяют к образцовому амперметру при помощи присоединительных устройств, входящих в комплект образцового амперметра, или при помощи гибких посеребренных лент соблюдением кратчайшего расстояния. К входу образцового амперметра присоединяют генератор.

Если для поверяемого амперметра в технической документации указана одна из схем включения его в измерительную цепь (несимметричная или симметричная), то погрешность определяют только по этой схеме включения. Если конкретная схема включения не указана или предусмотрены обе схемы включения, то погрешность определяют по нессиметричной схеме включения.

Для амперметров с некоаксиальным разъемом собираю несимметричную схему включения, заземляя одну из его клемм. (Рисунок 40.8)

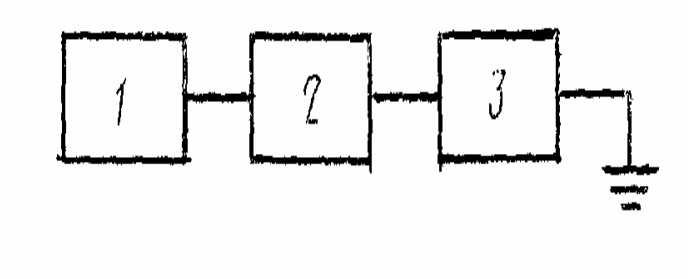


Рисунок 40.8 – Схема включения амперметров с некоаксиальным разъёмом. Обозначения на схеме соответствует следующим приборам:

1 - генератор;

2 - измерительная секция (образцового) эталонного амперметра;

3 - поверяемый амперметр.

Если на амперметре клемма, подлежащая заземления, не обозначена, то погрешность определяют сначала при заземлении одной клеммы, затем-другой. Симметричная схема включения амперметра показана на рисунке 40.9.

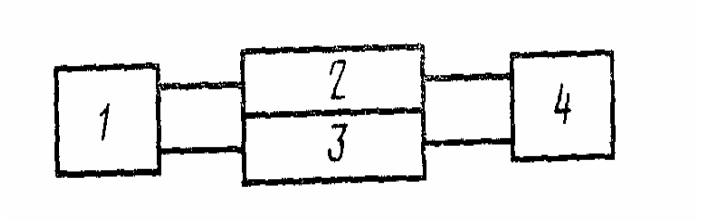


Рисунок 40.9 – Симметричная схема включения амперметра со следующими обозначениями:

1 - генератор;

2 и 3 – измерительные секции эталонного (образцового) амперметра;

4 – поверяемый амперметр.

Симметричность схемы фиксируют по равенству показаний измерительных секций 2 и 3 образцового амперметра.

Перед началом измерений поверяемый амперметр предварительно прогревают при токе, соответствующем конечной числовой отметке шкалы, в течение времени, указанном в технической документации.

Основную погрешность определяют при нормальной частоте или двух частотах в нормальной области частот, значения которых должны быть приведены в технической документации.

Основную погрешность определяют на всех числовых отметках шкалы поверяемого амперметра при плавном подходе указателя со стороны больших, а затем меньших значений.

Допускается на верхней частоте нормальной области частот основную погрешность определять на конечной числовой отметке шкалы и отметке вблизи середины шкалы.

Основную погрешность поверяемого амперметра в процентах рассчитывают по формуле:

$$\gamma = \frac{I - I_0}{I_{\hat{E}}} \cdot 100\,\% \,, \qquad (40.13)$$

где I - показание поверяемого амперметра;

I_0 - действительное значение тока высокой частоты, измеренное образцовым амперметром;

$I_к$ - конечная числовая отметка шкалы поверяемого амперметра

Полученные значения основной погрешности поверяемого амперметра не должны превышать значения предела допускаемой основной погрешности, указанной в технической документации.

Вариацию показаний при нормальной частоте или в нормальной области частот определяют одновременно с основной погрешностью методами, указанными в технической документации.

Остаточное отклонение указателя от нулевой отметки шкалы определяют одновременно с основной погрешностью методами, указанными в технической документации.

Остаточное отклонение указателя от нулевой отметки шкалы не должно превышать значений, указанных в технической документации.

Поверка на постоянном токе

Амперметры классов точности 0,1 – 0,5 поверяют методом прямых измерений при помощи калибратора или косвенных измерений при помощи потенциометрической установки. Амперметры классов точности 1,0 – 5,0 поверяют методом непосредственного сличения при помощи образцовых амперметров и установки для поверки и градуировки электроизмерительных приборов по схемам, приведенным в НД на образцовые средства измерений.

Поверка на переменном токе

Амперметры классов точности 0,1 – 0,2 поверяют методом сличения при помощи компаратора, амперметры классов точности 0,5 – 4,0 - методом непосредственного сличения с образцовыми амперметрами или методом сличения при помощи компаратора по схемам, приведенным в НД на образцовые средства измерений.

40.17.8 Оформление результатов поверки

Положительные результаты государственной первичной и периодической поверок оформляют нанесением оттиска поверительного клейма.

На переносные амперметры, кроме нанесения оттиска поверительного клейма, выдают свидетельство о поверке по форме, установленной «Росстандартом» ФГУ «Ростехрегулирование». По требованию потребителя на обратной стороне свидетельства записывают результаты поверки. Результаты первичной поверки,

кроме вышеуказанного, оформляют записью в паспорте (формуляре) на амперметр. Положительные результаты ведомственной первичной и периодической поверок оформляют в порядке, установленном ведомственной метрологической службой.

Амперметры, не удовлетворяющие требованиям настоящего стандарта, бракуют и на них выдают справку о запрещении применения. Клеймо предыдущей поверки гасят.

40.18 Особенности градуировки амперметров

Измерительные приборы классов 1,0; 1,5; 2,5 градуируют с помощью эталонных (образцовых0 приборов классов 0,1; 0,2; 0,5, в качестве которых используют магнитоэлектрические, электродинамические и реже электромагнитные приборы. Эталонный (образцовый) прибор должен быть выше градуированного не менее, чем на три класса, и тип его должен соответствовать роду тока, на котором ведется градуировка, при совпадении шкал поверяемого и эталонного приборов. Если шкалы не совпадают, то не классы точности, а предельно допустимые погрешности должны иметь соотношения 1 : 3, 1 : 4, 1 : 5, в зависимости от класса точности поверяемого прибора. Если класс точности поверяемого прибора ниже 1,0 , то соотношение 1 : 3, если выше, то или 1 : 4, или 1 : 5, целесообразность выбора зависит от экономических затрат на приобретение эталонного прибора.

Магнитоэлектрические (образцовые) эталонные приборы нашли практически повсеместное применение при градуировке приборов на постоянном, а электродинамические – на переменном токе. Значительно реже для этих целей используют электромагнитные приборы классов 0,2 и 0,5. Все эти приборы работают в сочетании с образцовой аппаратурой: магазинами сопротивления, измерительными трансформаторами тока и напряжения.

Измерительные трансформаторы тока служат для градуировки амперметров переменного тока в тех случаях, когда величина рабочего тока превосходит 15А. Они применяются вместе с электродинамическими приборами классов 0,2 и 0,5, имеющими предел измерения 5 А.

Образцовую аппаратуру, предназначенную для градуировки электроизмерительных приборов, выпускают для работы в тех же условиях, что и применяемые вместе с ней приборы.

40.19 Особенности градуировки образцовых амперметров

Так как эталонный (образцовый) прибор должен быть на 2 - 3 класса точнее градуируемого, для градуировки электроизмерительных приборов классов 0,1; 0,2 и 0,5 приходится использовать аппаратуру, имеющую класс точности не ниже 0,015 – 0,05, например компенсаторы постоянного тока, в которых применяются образцовые меры сопротивлений и э.д.с. – катушки сопротивлений и нормальные элементы. Принцип действия компенсатора постоянного тока виден из схемы, приведенной на рисунке 40.10:

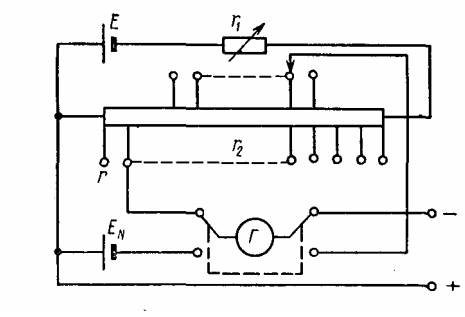


Рисунок 40.10 - Принципиальная схема компенсатора постоянного тока

Компенсатор является прибором наивысшего класса точности, поэтому к его эксплуатации предъявляются требования, строгое соблюдение которых обязательно. Компенсатор должен содержаться в отдельном помещении при температуре, указанной на его паспорте. Работу. На компенсаторе можно начинать не раньше, чем через сутки после его установки, для того чтобы все его элементы приняли одинаковую температуру.

Гальванометр и нормальный элемент должны быть надежно защищены от сотрясения. Источники питания должны отличаться высокой стабильностью. Регулировка тока в схеме должна быть плавной. На таком компенсаторе можно градуировать на постоянном токе приборы классов 0.2 и 0.5 с очень широким диапазоном пределов измерения: амперметры от 20 мкА до 50 А.

Упрощенная схема полуавтоматического компенсатора приведена на рисунке 40.11:

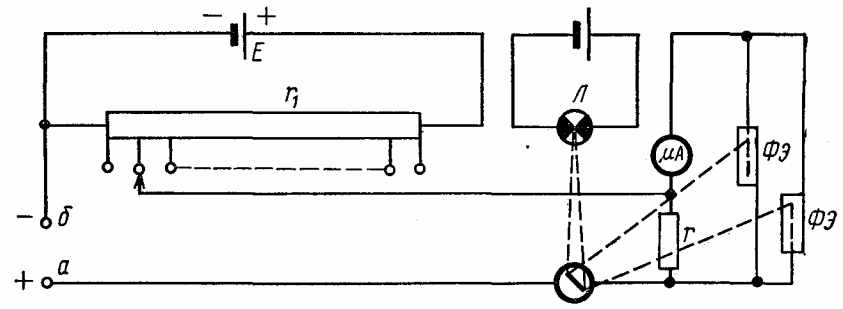


Рисунок 40.11 - Упрощенная схема полуавтоматического компенсатора

Он включает в себя как бы два компенсатора: декадный и автоматический, в состав которого входят фотоэлементы, резистор, микроамперметр, гальванометр и лампа. Батарея создает рабочий ток в цепи декадного компенсатора, к соответствующему зажиму которого подключено переключателем измеряемое сопротивление. К зажимам подается напряжение, основная часть которого компенсируется декадой, а остальная часть, возникшая, в частности, из-за погрешности градуируемого прибора, вызывает в цепи гальванометра ток, который отклоняет его зеркальце и изменяет направление светового луча между фотоэлементами. В результате изменения через резистор потечет ток, величина которого фиксируется по микроамперметру. Подвижная часть гальванометра

перестанет отклоняться только тогда, когда падение напряжения на резисторе, вызванное этим током, уравновесит некомпенсированную часть напряжения на зажимах. Шкала прибора градуируется сразу в поправках к делениям шкалы.

Градуировку амперметров классов 1,0; 1,5; 2,5 производят с помощью одноименных приборов классов 0,2 и 0,5, по схеме показанной на рисунке 40.12:

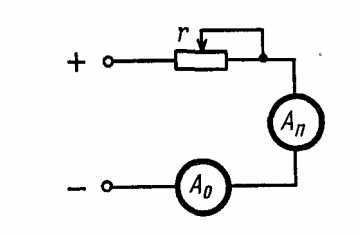


Рисунок 40.12 - Схема градуировки амперметров

Градуировку приборов классов 0,1; 0,2 и 0,5 производят с помощью компенсатора постоянного тока, как на рисунке 40.13:

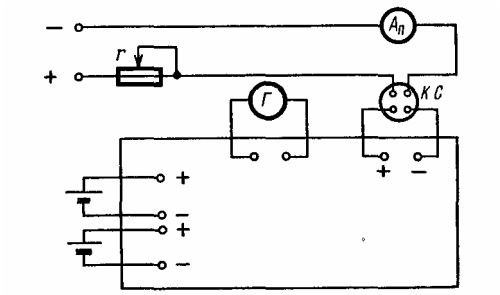


Рисунок 40.13 - Схема градуировки образцовых амперметров с помощью компенсатора

От компенсатора в цепь градуируемого прибора поступает ток, величина которого ограничивается образцовой катушкой сопротивления класса 0,01. регулятором плавно увеличивают ток в цепи прибора до тех пор, пока стрелка или световой указатель гальванометра не встанет на нуль. При токе, отмеченном в этот момент прибором, наносят на шкалу этого прибора отметку против конца стрелки. Таким же образом наносят остальные необходимые отметки.

Многопредельные приборы градуируют только на основном пределе измерения, который обладает наибольшей чувствительностью. После градуировки производиться проверка погрешности.

40. **20 Стабилизация показаний амперметра**

В процессе изготовления прибора, сборки его узлов и деталей, при уравновешивании и других операциях в отдельных деталях и их соединениях могут возникнуть механические напряжения и всевозможные остаточные деформации. По мере эксплуатации приборов характер этих деформаций меняется, что вызывает изменение параметров прибора. Этому же способствует свойство магнитных сплавов менять с течением времени свою структуру. Поэтому приборы высоких

классов точности после сборки необходимо стабилизировать, или подвергнуть искусственному старению нагревом. Для этого собранные приборы выдерживают в термостате при температуре 80 ºС в течение 4 часов, затем они поступают на регулировку, после которой приборы классов 1,0; 1,5; 2,5 передают на градуировку, а приборы классов 0,1; 0,2; 0,5 закрывают и ставят на стеллажи, где выдерживают при нормальных условиях в продолжении 1 - 3 месяцев. После этого проверяют показания прибора на конечной отметке шкалы. Если по сравнению с результатами предыдущей поверки показания изменились не более чем на половину основной погрешности, то приборы передают на градуировку. Отградуированные приборы закрывают и выдерживают ещё на 15 - 20 дней.

Поверка амперметров методом непосредственного сличения с образцовым аналоговым прибором прямого действия.

Схемы поверки амперметров и вольтметров методом непосредственного сличения на постоянном и переменном токе представлены на рисунке 40.14:

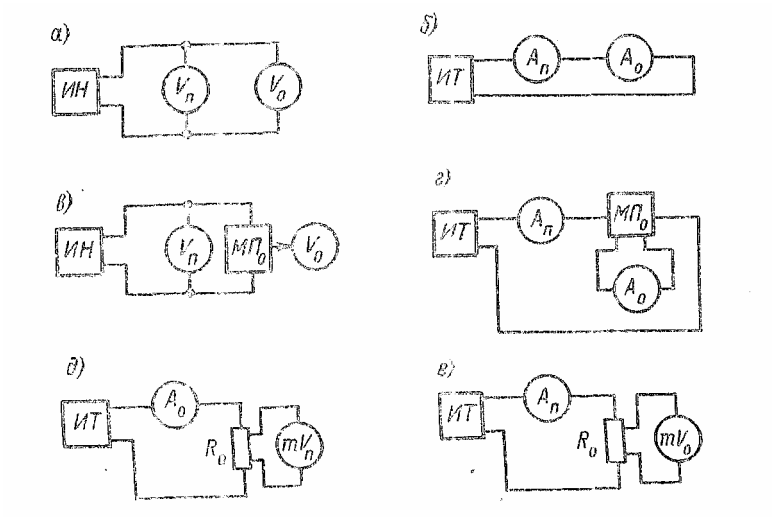


Рисунок 40.14 - Схемы поверки сличения вольтметров (а,в,д) и амперметров (б,г,е)

Основные из них используются при наличии образцовых приборов ОП с пределами измерений, близкими к пределам измерений поверяемых приборов ПП. Применение схем, содержащих масштабные преобразователи МП в цепи Оп: измерительные трансформаторы, шунты или добавочные резисторы, менее желательно, однако широкого круга рабочих приборов. По тем же причинам иногда приходиться использовать схемы, приведенные на рисунке, в которых действительное значение измеряемой величины определяют методом косвенных измерений. Амперметр поверяется с помощью первичного преобразователя тока в напряжение- резистора и образцового милливольтметра, а милливольтметр поверяется с помощью образцового амперметра и резистора. Здесь и далее под масштабным преобразованием понимается изменение значения измеряемой величины без изменения ее размерности, например уменьшение напряжения, или тока, текущего через амперметр, шунтом. Под первичным преобразованием

понимается преобразование тока в напряжение или преобразование напряжения в ток при использование вольтметра с добавочным резистором. В этом случае коэффициент преобразования К имеет размерность вольт на ампер или ампер на вольт.

При любой из показанных на рисунке схем необходимо выбрать образцовый прибор, источники напряжения и тока, масштабные или первичные преобразователи, а также обеспечить необходимые параметры линий связи между источниками ОП и ПП.

Выбор образцового прибора по точности. Выбор эталонного (образцового) прибора прежде всего определяется необходимые соотношением пределов допускаемой основной погрешности образцовых СИ и поверяемого прибора, которое должно быть согласно ГОСТ 8.497 - 83 не более 1:5. Допускается соотношением 1:3 при поверке амперметров и вольтметров классов точности 0,5 и более точных и 1:4 при поверке приборов классов точности 1,0 и менее точных, при этом вариация показаний образцового прибора не должна превышать половины его предела допускаемой основной погрешности.

Пределы измерений образцового и поверяемого приборов желательно иметь одинаковые. Могут использоваться образцовые приборы с большим пределом измерений, чем у поверяемых, но в этом случае они должны иметь более высокий класс точности. Класс точности образцового прибора, когда он применяется без отдельных масштабных преобразователей, можно рассчитать по формуле:

$$K_0 \le \alpha K_n \frac{X_{N\Pi}}{X_{N0}}, \qquad (40.14)$$

где K_0 и $K_п$ - класс точности образцового и поверяемого приборов соответственно;

a - требуемое соотношение между погрешностями образцового и поверяемого приборов;

X_{N0} и $X_{N\Pi}$ – нормирующее значение образцового и поверяемого приборов соответственно.

Широко распространенной ошибкой, приводящей к неверному выбору образцового прибора, является отождествление соотношения пределов допускаемой погрешности и отношения чисел, обозначающих классы точности. Если диапазон измерений образцового прибора будет больше, чем у поверяемого, например 0 - 150 в при том же классе точности, то его предел допускаемой абсолютной погрешности будут отличаться менее чем в четыре раза. Такой прибор в качестве эталонного (образцового) применять нельзя.

Для обеспечения поверки только на постоянном токе всех видов амперметров необходим комплект образцовых амперметров, имеющих примерно 50 диапазонов измерений. Такие же комплекты необходимы для поверки амперметров на переменном токе и для поверки амперметров на постоянном и переменном токе.

Существенному сокращению парка ОП в поверочных службах способствует применение многодиапазонных ОП, предназначенных для измерений напряжения и тока,- ампервольтметров, а также приборов, аттестованных в качестве образцовых на постоянном и переменном токе.

Выбор системы эталонного (образцового) прибора.

Выбор системы ОП определяется системой ПП и параметрами источников напряжения в тока. Напряжение или ток на выходе источников постоянного тока всегда содержит переменную составляющую, вызванную недостаточной фильтрацией в сетевых выпрямителях (область частот 50—250 Гц), промышленными и радиопомехами (10 — 10 Гц) и собственными шумами источников в широком спектре частот от долей герц до сотен килогерц. Мгновенное значение напряжения на выходе источников

$$u_0' = U_0 + u_{\sim}, \tag{40.15}$$

Где U_0 - постоянная составляющая напряжения; и - мгновенное значение переменной составляющей. Если действующее значение переменной составляющей *U* пренебрежимо мало по сравнению с U_0, что имеет место, например, при использовании аккумуляторных источников с низкоомными цепями регулирования напряжения или тока, то показания приборов любой системы будут одинаковы и выбор системы ОП эталонных приборов значения не имеет. При значительной переменной составляющей напряжения показания магнитоэлектрических приборов, а также электронных приборов на их основе равны U_0, поскольку они не зависят от *U,* а показания электродинамических, ферродинамических, электромагнитных, электростатических и других приборов, измеряющих действующее значение электрических сигналов, будут

$$U_0' = \sqrt{U_0^2 + U_{\sim}^2}. \tag{40.16}$$

Очевидно, неравенство $U_0 \neq U$ вызовет методическую погрешность поверки «δ», если один из приборов — магнитоэлектрической системы, а другой — одной из систем «действующего значения». Именно этим объясняется требование не применять магнитоэлектрические ОП для поверки приборов других систем и не при менять приборы других систем для поверки магнитоэлектрических приборов. Указанные ограничения требуют существенного увеличения парка образцовых приборов в метрологических службах, поэтому представляет интерес оценка допустимого уровня переменной составляющей, при котором погрешностью «δ» можно пренебречь и использовать любые комбинации систем образцовых и поверяемых приборов. Погрешность от неодинаковости показаний поверяемого и образцового приборов вследствие влияния переменной составляющей

$$\delta_{\sim} = \frac{U_0' - U_0}{U_0} \cdot 100 \tag{40.17}$$

будем читать пренебрежимо малой, если она удовлетворяет условию

$$\delta_{\sim} \leqslant \alpha k_{\text{п}},$$

(40.18)

где *a* — коэффициент, меньший единицы.

Разлагая выражение в степенной ряд и пренебрегая степенями разложения выше первой, получим

$$K_{\sim} \leqslant 14\sqrt{k_{\text{п}}\alpha},$$

(40.19)

где $K = U/U_0*100$ - коэффициент переменной составляющей, **%.**

При поверке большинства аналоговых прибор достаточно иметь $a = 0{,}05$, при этом методическая погрешность б будет а 20 раз меньше предела допускаемой приведенной погрешности поверяемого прибора. Для этого случая коэффициент переменной составляющей в зависимости от класса точности поверяемого прибора будет разный.

Для практического определения *К* достаточно измерить U на выходе источника с помощью электронного милливольтметра переменного тока, например типа В3 - 33 или аналогичного, или с помощью осциллографа и U_0 - любым вольтметром постоянного тока. При поверке приборов на переменном токе выбор системы образцового прибора определяется диапазоном частот и коэффициентом формы $К_ф$ кривых тока и напряжения. В области частот до 500 Гц при выборе ОП предпочтение следует отдать электродинамическим приборам класса точности 0,1; 0,2 как наиболее точным (д 5054, д 5055, д 5017, д 5014, д 505). При поверке киловольтметров на постоянном и переменном токе, а также вольтметров в широком диапазоне частот целесообразно использовать образцовые электростростатические вольтметры, например типа С 502. Эти приборы наряду с высокой точностью обладают крайне малым потреблением и малой частотной погрешностью за счет отсутствия масштабных преобразователей. Электронные

ОП используются преимущественно при поверке на повышенных частотах (103—105 Гц) или при поверке милливольтметров и миллиамперметров переменного тока.

В зависимости от выбранной системы образцового прибора существенное влияние на результат поверки может оказать искажение формы кривых напряжения и тока. Приборы переменного тока можно разделить на приборы с измерительными преобразователями действующего значения, у которых отклонение указателя, а пропорционально действующему значению напряжения или тока (a = SU**),** и приборы с измерительными преобразователями среднего значения (приборы выпрямительной системы) средневыпрямленное значение напряжения. Шкалы этих приборов градуируются в действующих значениях напряжения, при этом шкалы выпрямительных приборов градуируются с учетом коэффициента формы $K_ф$= 1.11, выражающего отношение действующего значения напряжения к среднему для сигнала синусоидальной формы. Если форма кривой напряжения или тока отличается от синусоидальной *($K_ф$* =1.11*),* показания приборов действующего

значения остаются практически неизменными, в то время как показания приборов среднего значения изменяются. При поверке приборов на переменном токе желательно выбирать такой образцовый прибор, который реагирует на изменение формы кривой одинаково с поверяемым. Такой выбор не всегда возможен из-за отсутствия выпрямительных приборов высокой точности. Достаточно трудно без специальной аппаратуры определить и значение. На практике производят измерение коэффициента нелинейных искажений на выходе источников напряжения и тока с помощью измерителей нелинейных искажений (приборы С 64, С 67)

$$K_{н.и} = \frac{U'}{U} \cdot 100, \tag{40.20}$$

Таким образом, при поверке выпрямительных приборов с помощью ОП действующего значения необходимо измерить *К* и при выборе соотношения точностей ОП и ПП учесть методическую погрешность поверки

$$\delta_ф = 0 \div 0{,}3K_{н.и}. \tag{40.21}$$

Источники напряжения (ИН) и тока (ИТ.).

Требования к ИН и ИТ., ограничивающие допустимые значения переменной составляющей и коэффициента нелинейных искажений, сформулированы в предыдущем разделе. Не менее важными являются требования к допустимой кратковременной нестабильности выходных сигналов и плавности их регулирования. Недостаточные стабильность и плавность регулирования напряжения и тока являются основной причиной случайной погрешности при поверке приборов методом сличения. Будем понимать под допустимой кратковременной нестабильностью источника допустимое относительное изменение его выходного сигнала за время *T,* необходимое для поверки прибора на одной числовой отметке. Это время зависит от характера используемой аппаратуры, условий работы квалификации оператора и т.д. Поэтому обычно нормируется изменение выходного сигнала за 3 - 10 минут, которое не должно превышать 0.1 предела допускаемой относительной погрешности поверяемого прибора. Под плавностью регулирования понимается возможность установки на выходе источника напряжения или тока с приведенным отклонением от заданного значения, не превышающим (в процентах)

$$\lambda = \frac{\Delta}{N} \cdot 100, \tag{40.22}$$

Необходимая плавность регулирования определяется как

$$\lambda \leqslant 0{,}1k_п \frac{X_N}{N}, \tag{40.23}$$

Простейший из источников используется редко в связи с трудностями эксплуатации аккумуляторов и большой их стоимостью. Главное его достоинство — низкий уровень пульсаций, Маломощный источник такого вида может эффективно использоваться при поверке электронных микровольтметров и микроамперметров, где нежелательна связь между цепями прибора и источника по общей питающей сети. В качестве регуляторов, в зависимости от мощности выходного сигнала, используются рычажные реостаты, проволочные реостаты или резисторы переменные общего назначения. Источник, показанный на рисунке 40.15, *б,* является наиболее распространенным из средств поверки приборов классов точности 1,0 и более грубых.

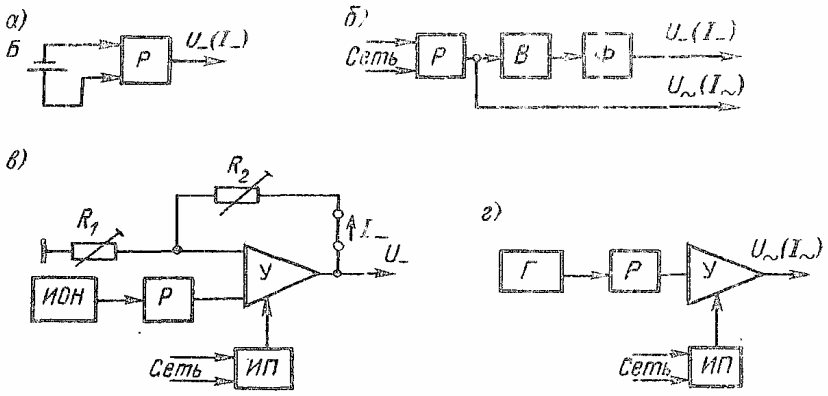


Рисунок 40.15 - Структурные схемы источников напряжения и тока

Источник в своем составе содержит:

- регулятор сетевого напряжения обычно в виде регулируемого трансформатора, к выходу которого подключаются Г I П в ОП переменного тока;
- диодный двухполупериодный выпрямитель и сглаживающий ЕС фильтр, к выходу которого подключаются ПП в ОП постоянного тока.

Стабильность значения выходного сигнала такого источника определяется стабильностью напряжения сети в месте его эксплуатации и фактически не нормируется. Иногда, например в установке У300, напряжение, подаваемое на *Р,* предварительно стабилизируется феррорезонансным стабилизатором, который уменьшает нестабильность примерно в 10 раз, но существенно увеличивает искажение кривых тока и напряжения. Необходимая плавность регулирования и ряд диапазонов регулирования обеспечиваются трансформаторными делителями напряжения и выходными трансформаторами напряжения и тока с коммутируемыми коэффициентами передачи — рисунке 40.16. Регулятор состоят из двухщеточного автотрансформатора *Тр1* и дополнительного трансформатора *Тр2* с коэффициентом трансформации 0,1—0,05, называемого вольтодобавочным. Выходное напряжение регулятора (0—250 В) определяется суммой напряжения У, снимаемого со щетки *Щ,* грубого регулирования, и У, снимаемого со вторичной обмотки *Тр2.* Приращение напряжения У при перемещении щетки Щ, плавного регулирования в 10—20 раз меньше, чем приращение *(1* при таком же перемещении ГЦ1. Регулятор обеспечивает плавность регулирования 0,05 – 0,1 % .

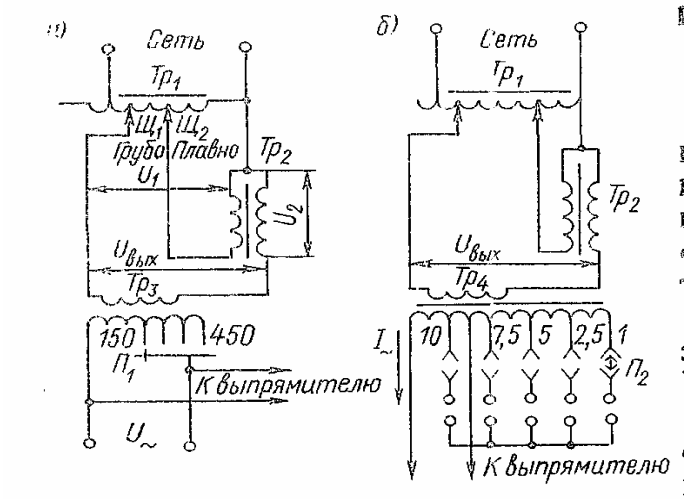


Рисунок 40.16 - Схемы регуляторов источников напряжения и тока

Требования к линиям связи

Основным требованием, предъявляемым к линиям связи при поверке, является обеспечение разных значений измеряемой величины на входах ОП и ПП, иначе говоря, отсутствие потерь в линиях связи. Аналоговые приборы, как поверяемые, так в эталонные (образцовые), обладают значительным собственным потреблением. Сопротивление проводов линий, утечки в линиях, емкости и индуктивности на переменном токе могут вызвать методические погрешности поверок, которые не должны превышать 0,05 *К*. Общие рекомендации по расчету и устранению этих погрешностей дать трудно. Для примера рассмотрим два варианта схемы поверки вольтметров на рисунке 40.17.

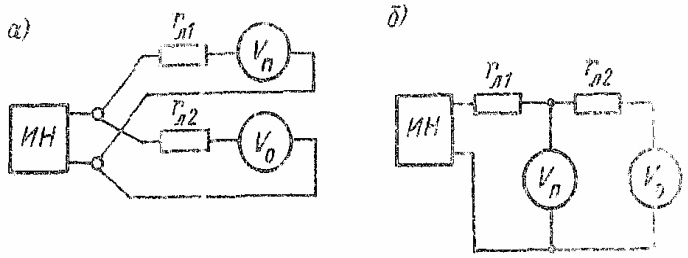


Рисунок 40.17 - Влияние параметров линий связи на погрешность поверки

Разность между показанием поверяемого X и образцового *X* приборов дает значение абсолютной основной погрешности б):

$$\Delta = X_I - X_I ; \qquad (40.24)$$

Вариацию показаний можно рассчитать как абсолютное значение разности между показаниями образцового прибора, соответствующими одной и той же отметке шкалы поверяемого прибора, полученными при возрастания и убывании измеряемой величины:

$$\delta = \left| X_{I.A.} - X_{I.I.} \right|, \qquad (40.25)$$

Или как абсолютное значение разности погрешностей, полученных при тех же условиях:

$$\delta = |\Delta_{\hat{A}} - \Delta_{\ddot{I}}|. \qquad (40.26)$$

При ведомственной поверке приборов класса 1.0 и менее точных процесс можно упростить, если все расчеты вести в делениях шкалы образцового прибора. Для этого пред поверкой выражают предел допускаемой основной погрешности поверяемого прибора в делениях шкалы образцового прибора:

$$\Delta_{\ddot{A}\hat{I}\hat{I}\ \ .\hat{I}} = \pm\, \hat{e}_{\hat{A}} \cdot X_N / 100, \qquad (40.27)$$

40.21 Поверка компараторов электрических величин переменного тока

Компаратор состоит из семидекадного двурядного калибратора, дифференциального измерительного усилителя, электронного микровольтметра и делителя входного напряжения, смонтированных в одном корпусе. Основным режимом работы является полуавтоматическое измерение напряжений, при этом основная часть измерительного напряжения уравновешивается при помощи семирядного калибратора, а оставшаяся некомпенсированная часть измеряется при помощи встроенного электронного микровольтметра или внешним цифровым прибором. Наличие в компараторе двух рядов измерительных декад позволяет применять его для относительных измерений и измерений сопротивлений. Питание компаратора осуществляется от сети переменного тока напряжением (220 ± 22)В, частотой 50 Гц. Габаритные размеры 488 · 170 · 385 мм, масса 15 кг.

Компараторы электрических величин переменного тока относятся к средствам измерений высшей точности с широкими диапазонами измерений и частот. Комплектная поверка компараторов путем сличения их со средствами измерений более высокой точности обычно невозможна, потому используются различные экспериментально-расчетные методы определения погрешности. Поверка проводится либо поэлементно путем исследования погрешностей отдельных узлов компаратора, либо путем комплектного определения отдельных составляющих погрешности либо с использованием обоих методов. Методы и средства определения погрешности δ зависят от структуры и конструктивных особенностей средств измерений величин постоянного тока, входящих в компаратор. Погрешность δ термоэлектрического компаратора, входящего в Установку У355 (рисунок 40.18), является суммой погрешностей потенциометров, мер сопротивления и делителей напряжения и определяется поэлементно при поверке перечисленных узлов. Погрешность $\delta 1$... определяется аналогично при установке в токовой цепи УППУ - IM токов, равных пределу измерений, с помощью калибратора типа П 321 или потенциометра постоянного тока и образцовых катушек сопротивления. Погрешность измерения мощности постоянного тока δP при любом сочетании пределов по напряжению и току определяется алгебраической суммой соответствующих $\delta 11$ и $\delta 1$.

Погрешность компарирования термоэлектрических компараторов

Погрешность δ определяется с помощью комплектов образцовых термоэлектрических преобразователей (ТП) напряжения и тока. Погрешность компарирования поверяемого компаратора и образцового термопреобразователя содержит две составляющие: погрешность асимметрии и частотную погрешность б. Погрешность асимметрии б, не зависит от частоты переменного тока. Она проявляется в том случае, когда через нагреватель термопреобразователя текут равные по значению, но противоположные по направлению токи I и $I\_$, тогда соответствующие им значения э. д. с. не равны между собой. Физический смысл этой погрешности, связанной с проявлением эффектов Томпсона и Пельтье в нагревателях, рассмотрен в работе. Очевидно, если при токах разной полярности $+I$ и $-I$, а также на переменном токе $\sim I$ установить разные э. д. с.: $+ e_1$, $u - e_2$, то токи будут не равны. С достаточной для практических целей точностью погрешность асимметрии устраняется, если переменный ток сравнивается дважды с постоянным током различной полярности и результат сравнения рассчитывается как среднее значение из двух измерений постоянного тока: $I = 0{,}5\ (|+I| + |-I|)$. Как показано далее, этот прием используется при поверке компараторов, допускающих изменение полярности тока. Частотная погрешность δ в основном объясняется изменением модуля полного сопротивления шунта и нагревателя ТП в компараторе тока или сопротивления добавочного резистора, а нагревателя ТП в компараторах напряжения при переходе от постоянного тока к переменному с частотой. Эту погрешность вызывают остаточные индуктивности и емкости шунтов и добавочных резисторов, поверхностный эффект на высоких частотах (более 100 кГц) и пульсации э.д.с. на низких частотах (10 - 20 Гц).

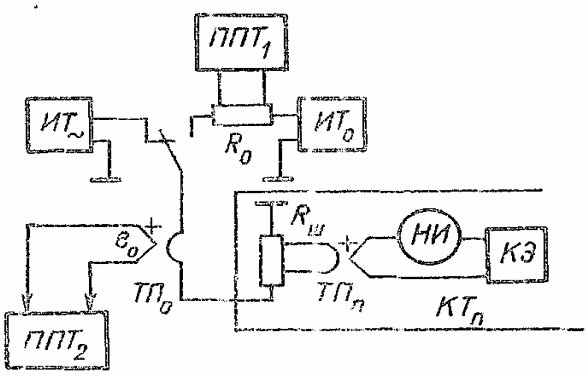


Рисунок 40.18 - Схема поверки компаратора

В зависимости от вида компаратора, диапазона измеряемых величин и частот используют различные методы определения погрешности компарирования. Основная методика определения, применяемая при поверке наиболее точных неавтоматических компараторов напряжения и тока, например компаратора установки У3551, иллюстрируется структурной схемой рисунке. Погрешность δ, компаратора тока *КТ* (рисунок определяется при номинальном для установленного шунта I токе. Номинальный постоянный ток I устанавливают по показаниям потенциометра *ППТ1,* подключенного к мере сопротивления. Установленный ток *I* выдерживают в течение времени, необходимого для прогрева поверяемого *ТП* и

образцового *Т0* термопреобразователей, после чего фиксируют э. д. с. *е0* на выходе ТП0 потенциометром ППТ2. Перечисленные операции относятся к подготовительным. Образцовый термопреобразователь *ТП0* и поверяемый компаратор *КТ* подключают к источнику переменного тока регулируют переменный ток *I* до получения э. д. с. *ТП0,* равной *е0,* и с помощью собственного компенсатора э. д. с. *КЭ* компаратора фиксируют значение э. д. с. *е*. Затем *ТП0 и КТ* подключают к источнику постоянного тока (условно положительной полярности), регулируют ТОК *I* до получения э. д. с. *ТП0,* равной *е0,* и измеряют потенциометром *ППТ1* полученное значение тока *I.* При этом э д. с. *ТП0* отличается ОТ значения *е0,* зафиксированного на переменном токе, из - за погрешности компарирования *КТ*. Постоянный ток *i* продолжают плавно регулировать до получения э. д. с. *ТП0,* равной *е0,* и измеряют при этом его значение *I.* Отмеченные операции повторяют при условно отрицательной полярности постоянного тока, измеряют значение тока *I* и *I_* и вычисляют средние значения *ii* 0,5 *(i ± Io); I* = 0,5 *(I+ч-I).* В данном случае показание образцового прибора, а *I* - поверяемого. Относительная погрешность компарирования δ = 100. Погрешность определяется не менее трех раз и вычисляется как среднее из результатов трех измерений. Формула справедлива в том случае, если при эксплуатации компаратора каждое измерение переменного тока производится при двух полярностях постоянного тока. Существенное ускорение процесса поверки широкополосных компараторов достигается в том случае, если по рассмотренной выше методике определяется погрешность δ только для одной частоты (обычно 1 кГц), для остальных частот выше и ниже кГц, определяется частотная погрешность и результирующая погрешность для любой частоты определяется как сумма: $\delta_{\Sigma} = \delta + \delta 1$. В качестве образцовых термоэлектрических преобразователей при поверке компараторов переменного тока используются комплекты термопреобразователей типа ПТТЭ на номинальные токи 1i—i00 мА с погрешностью компарирования *е*, равной 0,005— 0,05 %, в диапазоне частот 40 Гц *200* кГц и типа Т3О0 на номинальные токи 0,25—25 А с погрешностью компарирования 0,02— 0,03 % в диапазоне частот 40—2О*10Гц. Для уменьшения влияния случайных погрешностей на результат поверки компаратора тока нестабильность источников постоянного и переменного тока за 5 мин должна быть не более 0,005 %, а порог чувствительности потенциометра *ПТIТ* - не ниже , 0мкВ. Поверка компараторов напряжения производится по той же методике и в той же последовательности, что и поверка компараторов тока. В качестве образцовых средств измерений в данном случае используются комплекты термоэлектрические преобразователей напряжения типов ПНТЭ - 6А, ПНТЭ - 10, ПНТЭ - 10А имеющих погрешность компарирования от 0,005 до 0,5 % в диапазоне частот от 20 Гц до 30 МГц, При поверке на высоких частотах особое внимание должно быть обращено на качество линий связи, экранирование узлов схемы, соединители и пр. методические погрешности поверки на частотах более 500 кГц, вызванные указанными факторами, могут превосходить погрешности образцовых термопреобразователей. Компаратор состоит из семидекадного двухрядного калибратора, дифференциального измерительного усилителя, электронного микровольтметра и делителя входного напряжения, смонтированных в одном корпусе. Основным режимом работы является полуавтоматическое измерение напряжений, при этом основная часть измерительного напряжения уравновешивается при помощи

семирядного калибратора, а оставшаяся некомпенсированная часть измеряется при помощи встроенного электронного микровольтметра или внешним цифровым прибором. Наличие в компараторе двух рядов измерительных декад позволяет применять его для относительных измерений и измерений сопротивлений. Питание компаратора осуществляется от сети переменного тока напряжением (220 ± 22)В, частотой 50 Гц. Габаритные размеры 488 · 170 · 385 мм, масса 15 кг.

10 Перечень лабораторных работ раздела 7:

Раздел 7 Измерение электрических величин:
Лабораторная работа № 35 Измерение микроамперметром;
Лабораторная работа № 36 Измерение напряжения вольтметром;
Лабораторная работа № 37 Измерение мультиметром - ампервольтомметром
Лабораторная работа № 38 Измеритель цифровой ЦР 8001;
Лабораторная работа № 39 Измерение мощности ваттметром;
Лабораторная работа № 40 Амперметр переменного тока.

11 Раздел № 8 Измерение электромагнитных величин.

Магнитные измерения составляют неотъемлемую часть всей электроизмерительной техники. При этом удельный вес магнитных измерений среди других непрерывно возрастает. Объясняется это все более широким использованием магнитных явлений в науке и технике, значительным ростом выпуска ферромагнитных материалов (ФММ) и применением их в электротехнических устройствах, приборах и автоматике.

В основе классификации методов магнитных измерений лежит физическая сущность явлений, используемых для измерительного процесса, т.е. преобразование магнитной величины в электрический сигнал.

В связи с этим различают индукционные методы измерения магнитных величин; методы, основанные на взаимодействии двух магнитных полей; методы, основанные на влиянии магнитного поля на физические свойства веществ.

Методы измерения магнитных величин лежат в основе испытаний магнитных материалов. Все ферромагнитные материалы делятся на магнитно-твёрдые (МТМ) и магнитно-мягкие (МММ). Первые используются в качестве источников постоянных магнитных полей (постоянные магниты ПМ). Для них к настоящему времени сложились три направления испытаний: исследование свойств МТМ, производственный контроль образцов МТМ, производственный контроль постоянных магнитов. При исследовании свойств МТМ необходимо получать достаточно полную информацию о свойствах материала: начальная кривая намагничивания, предельная петля магнитного гистерезиса, кривые возврата для различных точек размагничивающего участка и др. Измерение индукции производится, как правило, индукционными и гальваномагнитными преобразователями. Измерение напряжённости поля обычно сводится к измерению тока в намагничивающих устройствах или получению информации о тангенциальной составляющей напряжённости поля от индукционных или гальваномагнитных преобразователей. Перемагничивание МТМ может быть осуществлено

постоянным и переменным полем. При намагничивании материала постоянным полем получаются статические характеристики. При непрерывном циклическом изменении поля получаются динамические характеристики, которые в инфранизком диапазоне частот перемагничивания могут быть приближены к статическим с необходимой точностью.

Для обеспечения правильности процесса производства МТМ и соответствующей коррекции технологического режима контролируются наиболее важные отдельные параметры материала, в частности, коэрцитивная сила H_c. Алгоритм получения H_c сводится к фиксации нулевых значений магнитной индукции или намагниченности и отсчёту напряжённости поля.

В основе классификационных признаков контроля постоянных магнитов лежат вид контролируемых параметров, способ получения информации. Различают контроль по магнитному потоку в системе, близкой к рабочей; контроль по размагничивающему участку. По способу, получения выходной информации различают устройства с непосредственным отсчётом и дифференциальным способом измерения - получением информации в виде разности характеристик образцового и испытуемого ПМ.

Магнитно-мягкие материалы характеризуются магнитными параметрами, измеряемыми в постоянном и переменном полях. Основными измеряемыми характеристиками, в постоянных полях для МММ являются: основные кривая намагничивания, предельная петля гистерезиса и её параметры ($B_г$ H_c), начальная и максимальная магнитные проницаемости. ГОСТ 8.377 – 80 устанавливает в качестве основного баллистический метод исследования свойств материала. В настоящее время в связи с разработкой промышленностью унифицированных электронных устройств широкого применения получил распространение метод непрерывного медленно изменяющего поля.

В переменных полях основными характеристиками МММ являются основная динамическая кривая намагничивания, динамическая петля гистерезиса, комплексная магнитная проницаемость и удельные потери. Кроме того, в зависимости от частотного диапазона испытания существует ещё целый ряд определяемых характеристик и параметров. Наиболее часты испытания МММ в частотном диапазоне 50 Гц - 10 кГц. Основными методами испытания в этом диапазоне частот являются: индукционный с использованием амперметра, вольтметра, ваттметра; индукционный с использованием фазочувствительных приборов (феррометрический); индукционный с использованием потенциометра переменного тока; индукционный с использованием феррографа (осциллографический); индукционный с использованием стробоскопических преобразователей; параметрический (мостовой).

Индукционные методы характеризуются измерением ЭДС, индуктированных в измерительных катушках. Использование амперметра и вольтметра даёт возможность определения динамической относительной проницаемости. Являясь наиболее простым, этот способ измерения обладает большой погрешностью (до 10 %) и не обеспечивает возможности определение потерь в образцах. Использование ваттметра стандартизировано для определения потерь в образцах из МММ.

Преимуществами ваттметрового способа являются простота и высокая производительность, сравнительно небольшая для промышленных испытаний погрешность измерения (5 - 8 %), широкий частотный диапазон испытания (до 10 кГц). К недостаткам следует отнести малый объём информации и увеличения погрешности при перемагничивании до индукции свыше 1,2 Тл из - за отклонения формы кривой от синусоидальной формы.

В основу феррометрического способа измерения положено определение мгновенных значений периодических несинусоидальных величин с помощью фазочувствительных приборов. Связь среднего значения производной функции и мгновенного значения самой функции является здесь основой использования инерционных приборов для регистрации динамических характеристик МММ.

К преимуществам феррометрического способа измерения относятся:

- малая погрешность (2 - 5 %);
- возможность определения большого числа магнитных характеристик, в том числе и расчёта потерь.

Недостатками способа являются ограниченность размеров образцов и частотного диапазона; длительность процесса измерений и обработки результатов; относительно высокая стоимость устройств.

Осциллографическим способом пользуются для измерения и визуального наблюдения основной динамической кривой намагничивания, семейства симметричных петель гистерезиса, потерь в образцах на частотах от 50 до 500 Гц. К недостаткам способа следует отнести необходимость замеров на экране осциллографа, что связано с увеличением объективных и субъективных погрешностей отсчёта.

Наиболее точным из индукционных методов испытания МММ является потенциометрический, основанный на измерении сигналов, пропорциональных B и H, с помощью потенциометров переменного тока. Этим способом определяются зависимость магнитной индукции от напряжённости магнитного поля, составляющие комплексной магнитной проницаемости, полные потери. Достоинствами способа являются высокая точность измерения и широкий диапазон измеряемых величин. К недостаткам относятся: длительность процесса измерения, высокая стоимость используемой аппаратуры и её сложность.

Сущность стробоскопического способа измерения заключается в том, что исследуемые периодически изменяющиеся сигналы произвольной формы умножаются на так называемый строб-импульс. При этом перемножение в каждом последующем периоде происходит со сдвигом во времени на некоторый интервал (шаг считывания) по отношению к предыдущему. В результате можно произвести и затем воспроизвести считывание всего периода исследуемого сигнала по точкам. Это даёт возможность подобно феррометрическому способу использования для регистрации быстроизменяющихся процессов инерционных самопишущих и цифропечатающих приборов. Основным достоинством стробоскопического способа измерения является возможность получения документальной информации о характеристиках ФММ в процессе перемагничивания последних.

Параметрический метод испытания магнитных материалов заключается в определении индуктивности и сопротивления катушки с испытуемым магнитопроводом путём уравновешивания мостовой схемы. В основном этот метод

предназначен для определения характеристик в области слабых полей. Преимуществами его являются: высокая точность измерения, широкий частотный диапазон испытания. К недостаткам относятся: зависимость результатов измерения от индуктивных и емкостных помех, создаваемых элементами схемы измерения; увеличение погрешности на низких частотах испытания; сложность и длительность процесса испытания.

Существуют и другие методы испытания МММ в динамическом режиме перемагничивания, однако технико-эксплуатационные характеристики устройств на их основе не эффективны в условиях массовых испытаний.

В данном разделе применена одна лабораторная работа с использованием осциллографа, поэтому все остальные методы только упоминаются эскизно.

Изучение частот колебаний также касается и измерений магнитных материалов, поэтому из этого раздела необходимо заимствовать сведения для разделов 7, 9, 10 и, следовательно, наоборот, из разделов 7, 9, 10 в раздел 8.

Для организации лабораторных работ по разделу № 8 измерения электромагнитных величин на кафедру МСиС ТФ ГОУ ОГУ приобретена лабораторная установка «Методы измерения электрических величин МСИ 6», - паспорт МСИ 6 ПС от Министерства образования РФ ФГО ООО «ИНТОС+» заводской № 009 по ТУ 9.461 – 2004 дата изготовления и упакована для отправки в ГОУ ОГУ на кафедру МСиС ТФ 15.09 2008 года:

1 Назначение

Установка лабораторная «Методы измерения частоты МСИ 6» (далее – установка) является частью учебно – лабораторного комплекса, используемого для проведения лабораторных работ при изучении дисциплины «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для специальности 200503 – Стандартизация и сертификация и 220501 – Управление качеством.

Установка должна эксплуатироваться в помещениях при температуре воздуха от+ 10°Сдо + 3 5 ° С, относительной влажности воздуха до 80 % при 25 ° С.

2 Основные технические данные

Установка предназначена для формирования частот заданного спектра в электрической и оптической формах, измерение частоты промышленными приборами

2.1 Питание от сети переменного тока:

- напряжением, В	220 ± 22
- частотой, Гц	50 ± 0, 4
Потребляемая мощность, В А	не более 5

2.2 Характеристики

2.2.1 Максимальное значение формируемой частоты, кГц	$5{,}0 \pm 0{,}5$
2.2.2 Минимальное значение формируемой частоты, кГц	$1{,}0 \pm 0{,}1$
2.2.3 Максимальное значение напряжения электрического сигнала, В	$5{,}0 \pm 1{,}0$
2.2.4Минимальное значение напряжения электрического сигнала, В	$0{,}5 \pm 0{,}2$
2.5 Габаритные размеры установки, мм	
длина	не более 200
ширина	не более 150
высота	не более 100
2.6 Масса установки, кг	не более 1,0
2.7Средняя наработка до отказа, ч	не менее 1000
2.8 Средний срок службы до списания, лет	10

41 Лабораторная работа № 41Осциллограф

Введение

Реорганизация государственных метрологических служб, необходимость которой диктовалась переходом страны к рыночной экономике, фактически привела к значительной степени разрушения централизованной системы управления метрологической деятельностью и ведомственных служб. Появление различных форм собственности послужило причиной возникновения противоречий между обязательностью государственных испытаний средств измерений, их поверки, государственным надзором и возросшей степенью свободы субъектов хозяйственной деятельности. К этому добавились и другие проблемы, связанные с необходимостью для России интеграции в мировую экономику, вступления в ВТО и т.д. Таким образом, проблема пересмотра правовых, организационных, экономических основ метрологии стала весьма актуальной.

Юридические нормы, непосредственно направленные на защиту прав и интересов потребителей, в правовом государстве регулируются стабильными законодательными актами. В этой связи положения по метрологии, действовавшие до введения ФЗ РФ «Об обеспечении единства измерений», применяются лишь в части, не противоречащей ему.

ФЗ РФ «Об обеспечении единства измерений» устанавливает следующие виды государственного метрологического контроля:

- утверждение типа средств измерений;
- поверка средств измерений, в том числе эталонов;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц на право изготовления, ремонта, продажи и проката средств измерений.

41.1 Цель работы

Цель данной работы состоит в приобретении студентами навыков практических расчетов погрешностей при измерениях осциллографом, изучить устройство лабораторной установки МСИ 3м и дать предложения по использованию в установке МСИ 3м измерений с помощью осциллографа совместно с мультиметром.

41.1.1Методы измерения величин с применением осциллографа

Магнитные измерения составляют достаточно объёмную часть всей электроизмерительной техники. Объясняется это все более широким использованием магнитных явлений в науке и технике, значительным ростом выпуска ферромагнитных материалов (ФММ) и применением их в электротехнических устройствах, приборах и автоматике.

В основе классификации методов магнитных измерений лежит физическая сущность явлений, используемых для измерительного процесса, т.е. преобразование магнитной величины в электрический сигнал.

Магнитно-мягкие материалы характеризуются магнитными параметрами, измеряемыми в постоянном и переменном полях. Основными измеряемыми характеристиками, в постоянных полях для МММ являются: основные кривая намагничивания, предельная петля гистерезиса и её параметры ($B_г$ H_c), начальная и максимальная магнитные проницаемости. ГОСТ 8.377 - 80 устанавливает в качестве основного баллистический метод исследования свойств материала. В настоящее время в связи с разработкой промышленностью унифицированных электронных устройств широкого применения получил распространение метод непрерывного медленно изменяющего поля.

В переменных полях основными характеристиками МММ являются основная динамическая кривая намагничивания, динамическая петля гистерезиса, комплексная магнитная проницаемость и удельные потери. Кроме того, в зависимости от частотного диапазона испытания существует ещё целый ряд определяемых характеристик и параметров. Наиболее часты испытания МММ в частотном диапазоне 50 Гц - 10 кГц. Основными методами испытания в этом диапазоне частот являются: индукционный с использованием амперметра, вольтметра, ваттметра; индукционный с использованием фазочувствительных приборов (феррометрический); индукционный с использованием потенциометра переменного тока; индукционный с использованием феррогафа визуально-измерительных методов - осциллографический; индукционный с использованием стробоскопических преобразователей; параметрический (мостовой).

Осциллографическим способом пользуются для измерения и визуального наблюдения основной динамической кривой намагничивания, семейства симметричных петель гистерезиса, потерь в образцах на частотах от 50 до 500 Гц. К недостаткам способа следует отнести необходимость замеров на экране осциллографа, что связано с увеличением объективных и субъективных погрешностей отсчёта.

Наиболее точным из индукционных методов испытания МММ является потенциометрический, основанный на измерении сигналов, пропорциональных B и H, с помощью потенциометров переменного тока. Этим способом определяются зависимость магнитной индукции от напряжённости магнитного поля, составляющие комплексной магнитной проницаемости, полные потери. Достоинствами способа являются высокая точность измерения и широкий диапазон измеряемых величин. К недостаткам относятся: длительность процесса измерения, высокая стоимость используемой аппаратуры и её сложность.

Сущность стробоскопического способа измерения заключается в том, что исследуемые периодически изменяющиеся сигналы произвольной формы умножаются на так называемый строб-импульс. При этом перемножение в каждом последующем периоде происходит со сдвигом во времени на некоторый интервал (шаг считывания) по отношению к предыдущему. В результате можно произвести и затем воспроизвести считывание всего периода исследуемого сигнала по точкам. Это даёт возможность подобно феррометрическому способу использования для регистрации быстроизменяющихся процессов инерционных самопишущих и цифропечатающих приборов. Основным достоинством стробоскопического способа измерения является возможность получения документальной информации о характеристиках ФММ в процессе перемагничивания последних.

Существуют и другие методы испытания МММ в динамическом режиме перемагничивания, однако технико-эксплуатационные характеристики устройств на их основе не эффективны в условиях массовых испытаний. Однако наиболее наглядным методом испытания МММ с применением других сочетаний является осциллографический метод, поэтому мы останавливаемся на рассмотрении средств измерений - типы осциллографов.

41.1.2 Многообразие применения осциллографов

Осциллографы используют для наблюдения и записи быстро протекающих процессов.

По принципу действия осциллографы бывают трех типов:

1) электромеханический;
2) электронный;
3) электронно-лучевой.

Электромеханический осциллограф состоит из следующих узлов: вибраторов, оптической системы, приспособления для наблюдения и фотографирования исследуемого тока. Вибратор представляет собой натянутую бронзовую ленточку в виде петли и находится в поле постоянного магнита. Ток, проходящий по петле, взаимодействует с полем постоянного магнита, в результате чего появляется вращающий момент, под действием которого петля и прикрепленное к ней зеркальце повернуться в ту или иную сторону в зависимости от направления тока в петле, а угол отклонения будет пропорционален мгновенному значению тока. Луч света от лампы через диафрагму и фокусирующую линзу попадает на зеркальце вибратора. Отраженный от него луч через фокусирующую линзу падает на поверхность движущейся светочувствительной бумаги или кинопленки. Часть луча света с помощью призмы отбрасывается на вращающийся многогранный

зеркальный барабан и отражается от него на матовый экран. При одновременном движении луча света, отраженного от колеблющегося зеркальца, и равномерном вращении барабана луч света вычертит на экране кривую исследуемого тока.

Осциллографы могут иметь несколько десятков вибраторов для одновременной записи нескольких различных процессов на фотобумаге (кинопленке), скорость движения которой устанавливается в пределах от 1 до 5000 мм/с. Электромеханические осциллографы могут записывать процессы с частотой от нуля до 5 - 10 кГц.

Электронный осциллограф позволяет наблюдать периодические процессы с частотой до сотен мегагерц. Основной частью осциллографа является вакуумная электронно-лучевая трубка. Под действием тока накала катод К излучает электроны, которые с помощью сетки и анодов А1 и А2 формируются в электронный луч и направляются на экран, покрытый слоем люминофора. Измеряемое напряжение прикладывается к паре горизонтально расположенных пластин; вторая пара пластин расположена вертикально, и к ней приложено периодически изменяющееся во времени линейное напряжение «развертки». Если частоты периодических напряжений совпадают, то светлое пятно на экране за время Т будет следовать с постоянной скоростью по горизонтали и одновременно смещаться по вертикали под действием напряжения, прочерчивая в результате кривую исследуемого напряжения.

Электронно-лучевой осциллограф используется для визуального наблюдения, измерения и регистрации формы и параметров электрических сигналов в диапазоне частот от постоянного тока до десятков мегагерц. К ним могут быть отнесены электромеханические осциллографы (так называемые «шлейфовые») и разного рода самописцы и большая группа приборов с электронно-лучевой трубкой — электроннолучевые осциллографы (ЭЛО).

Электронно-лучевой осциллограф - один из наиболее универсальных измерительных приборов для визуального наблюдения электрических сигналов и измерения их параметров. Разработаны и используются различные типы электронно-лучевых осциллографов: универсальные, скоростные, стробоскопические, запоминающие и специальные. Возможность наблюдения формы исследуемого сигнала и одновременное измерение его параметров выдвигают электронно-лучевой осциллограф в разряд универсальных приборов.

На основе совершенствования первоначальной схемы универсального осциллографа (его обозначение С1 —...) создан целый ряд специализированных приборов:

- С7 —... скоростные стробоскопические;
- С8—...запоминающие;
- С9 —... специальные, в том числе цифровые.

Иногда эти разновидности бывают объединены в одном приборе. Выбор маркировки зависит от разработчика.

Самые распространенные универсальные осциллографы позволяют исследовать разнообразные электрические сигналы с длительностью от единиц наносекунд до нескольких секунд в диапазоне от долей милливольт до сотен вольт. Полоса пропускания лучших универсальных осциллографов составляет 300...400 МГц. Изображение сигнала на экране индицируется практически одновременно с появлением сигнала на входе, поэтому такие приборы называют осциллографами реального времени. Часто универсальные

осциллографы выполняют со сменными блоками, расширяющими их функциональные возможности.

Электронно-лучевые осциллографы обладают высокой чувствительностью и малой инерционностью, подразделяются на универсальные, запоминающие, специальные и др., могут быть одно- , двух- и многолучевыми.

В настоящее время существует огромное количество моделей осциллографов. Рассмотрим некоторые из них.

Осциллограф АКТАКОМ АСК- 1021 с шириной полосы пропускания 25 МГц

Данный осциллограф является прибором лабораторного типа. Простота в обращении и высокая надежность делают его идеальным прибором с превосходными характеристиками для широкого спектра измерений, необходимых в исследованиях, производстве, в сфере образования и во многих других сферах применения.

Осциллограф С8 - 33

Осциллограф двухканальный цифровой запоминающий С8 - 33 предназначен для оперативного исследования однократных сигналов с максимальной частотой дискретизации 20 Мвыбс и периодических сигналов с максимальным временем разрешения 100 пс в полосе частот от 0 до 20 МГц размахом от 10 мВ до 16 В (до 160 В с внешним делителем 1:10) путем регистрации их в цифровой памяти, отображения на экране электронно-лучевой трубки и цифрового измерения амплитудных и временных параметров. В осциллографе устанавливается интерфейс для устройств с последовательным обменом информацией в соответствии с рекомендациями. Область применения осциллографа: ремонт, наладка, эксплуатация различных электронных приборов и узлов автоматики, вычислительной техники, связи, сложной электронной техники, научные исследования.

Осциллограф универсальный С1-65

Осциллограф универсальный С1-65 предназначен для исследования формы электрических сигналов путем визуального наблюдения и измерения их амплитудных и временных параметров в цеховых, лабораторных и полевых условиях эксплуатации.

Прибор удовлетворяет требованиям ГОСТ 22261-94, нормалей НО.005.026-030, а по условиям эксплуатации приборов к 7 группе нормали НО.005.026.

Осциллограф С1-104

Осциллограф универсальный С1-104 предназначен для визуального наблюдения и измерения параметров периодических и однократных электрических процессов в диапазоне частот от постоянного тока до 500 МГц путем:

- измерения амплитудных и временных параметров исследуемого сигнала в диапазоне от 0,04 до 8 В, с выносным делителем 1:10 И22. 727. 082 - до 10 В, с активным пробником И22.746. 036 - до 24 В и временных интервалов в диапазоне от $4\ 10^{9}$ до 0,5 с;
- одновременного изображения двух исследуемых сигналов на одной развертке.

Осциллограф предназначен для работы в лабораторных и цеховых условиях и может использоваться для исследовательских, поверочных и ремонтных работ.

По метрологическим характеристикам осциллограф С1 – 104 соответствует II классу точности.

Осциллограф – мультиметр С1 – 155

Осциллограф-мультиметр С1 – 155 предназначен для визуального наблюдения, электрических сигналов.

Прибор позволяет измерять как периодические, так и однократные электрические сигналы. Имеет встроенный интерфейс RS – 322 и встроенный мультиметр.

Создание прибора преследует цель заменить устаревший парк универсальных запоминающих осциллографов, повысить удобство их эксплуатации, уменьшить погрешность измерений амплитудно-временных параметров исследуемых сигналов при существенном снижении массы, габаритов и потребляемой мощности.

Осциллограф универсальный С1 – 77

Универсальный осциллограф С1 – 77 предназначен для исследования формы электрических сигналов путем визуального наблюдения в диапазоне частот от 0 до 10 МГц, измерения размахов в диапазоне от 0,01 до 200 В и временных интервалов от $0{,}08*10''^{6}$ до 0,4 с.

Наличие двух каналов вертикального отклонения обеспечивает одновременное исследование двух сигналов на одной развертке.

Осциллограф относится ко II классу точности.

Осциллограф предназначен для использования при разработке, настройке и регулировке радиоэлектронной аппаратуры в лабораторных, цеховых и полевых условиях.

Осциллограф С1 – 125

Осциллограф С1 – 125 предназначен для исследования формы периодических электрических сигналов путем визуального наблюдения их формы, измерения амплитуды и временных параметров методом калиброванной шкалы.

Двухканальный осциллограф С1 – 125 с полосой пропускания 10 Мгц отличается компактной конструкцией, небольшой массой и простотой управления.

Имеет повышенную надежность, прост по конструкции в эксплуатации. Применяется при проектировании, наладке и ремонте электронной аппаратуры в лабораторных, цеховых и полевых условиях.

Осциллограф С1 – 159

Осциллограф С1 – 159 предназначен для наблюдения и измерения электрических сигналов в реальном масштабе времени в диапазоне напряжений от 8 мВ до 60 В и длительностей от 80 не до 0,2 с в полосе частот от 10 Гц до 10 мГц. Может применяться при производстве, разработке и эксплуатации радиоэлектронных изделий, а также в ходе учебного процесса в школах, вузах по курсам электротехники, электроники и.т. д.

Осциллограф С8 – 23

Осциллограф предназначен для исследования и измерения периодических сигналов в полосе частот 0-20 МГц и однократных сигналов, регистрируемых с максимальной частотой дискретизации 1 МГц. Прибор обеспечивает цифровое запоминание, цифровое измерение напряжения в диапазоне амплитуд от 5 мВ (с активным пробником - от 5 мВ) до 80 В (с делителем - до 200 В) и временных интервалов в диапазоне длительностей от 200 не до 8000 с. Кроме этого, производится автоматическая обзорная установка размеров изображения в пределах рабочей части экрана, автоматическое измерение размаха, периода и длительности с выводом результатов измерения на экран электроннолучевой трубки.

Осциллограф имеет самодиагностику и выход в канал общего пользования (КОП). Размеры рабочей части электронно-лучевой трубки оставляют 80 мм (10 делений) по горизонтали и 60 мм (8 делений) по вертикали.

41.2 Структурная схема осциллографа

Слово «осциллограф» образовано от «осциллум» - колебания и «графо» - пишу. Отсюда и назначение этого измерительного прибора - отображать на экране кривые тока или напряжения как функции времени. Встречается и другое название этого прибора - осциллоскоп - прибор для наблюдения формы колебаний.

Основная деталь электронного осциллографа - электронно-лучевая трубка (рисунок 41.1), напоминающая по форме телевизионный кинескоп. Экран трубки покрыт изнутри люминофором - веществом, способным светиться под "ударами" электронов. Чем больше поток электронов, тем ярче свечение той части, куда они попадают.

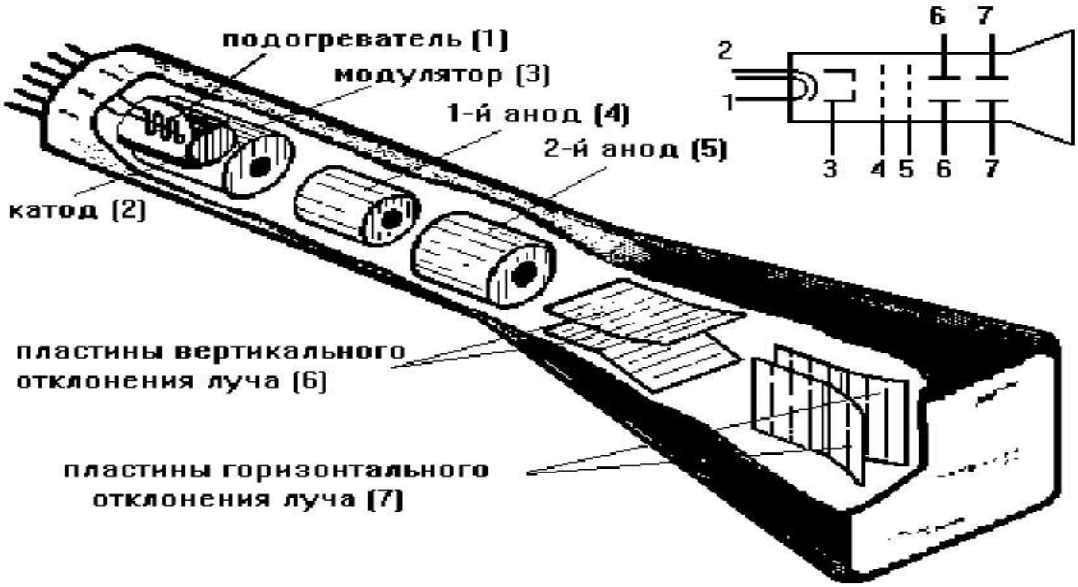


Рисунок 41.1 - Электронно-лучевая трубка

Испускаются же электроны так называемой электронной пушкой, размещенной на противоположном от экрана конце трубки. Она состоит из подогревателя (нити накала) и катода. Между «пушкой» и экраном размещены модулятор - регулирующий поток летящих к экрану электронов, двух анодов - создающих нужное ускорение пучку электронов и его фокусировку, и двух пар пластин, с помощью которых электроны можно отклонять по горизонтальной (X) и вертикальной (Y) осям. Экран электронно-лучевой трубки будет светиться лишь при подаче на ее электроды определенных напряжений. На нить накала обычно подают переменное напряжение, на управляющий электрод (модулятор) постоянное, отрицательной полярности, по отношению к катоду, на аноды - положительное, причем на первом аноде (фокусирующем) напряжение значительно меньше, чем на втором (ускоряющем). На отклоняющие пластины подается как постоянное напряжение, позволяющее смещать пучок электронов в любую сторону, относительно центра экрана, так и переменное, создающее линию развертки той или иной длины, а также «рисующей» на экране форму исследуемых колебаний. Чтобы представить, как же получается на экране изображение колебаний, изобразим условно экран трубки в виде окружности и поместим внутри нее отклоняющие пластины (рисунок 41.2). Если подвести к горизонтальным пластинам XI и X2 пилообразное напряжение, на экране появится светящаяся горизонтальная линия - ее называют линией развертки или просто разверткой. Длина ее зависит от амплитуды пилообразного напряжения (рисунок 41.2а).

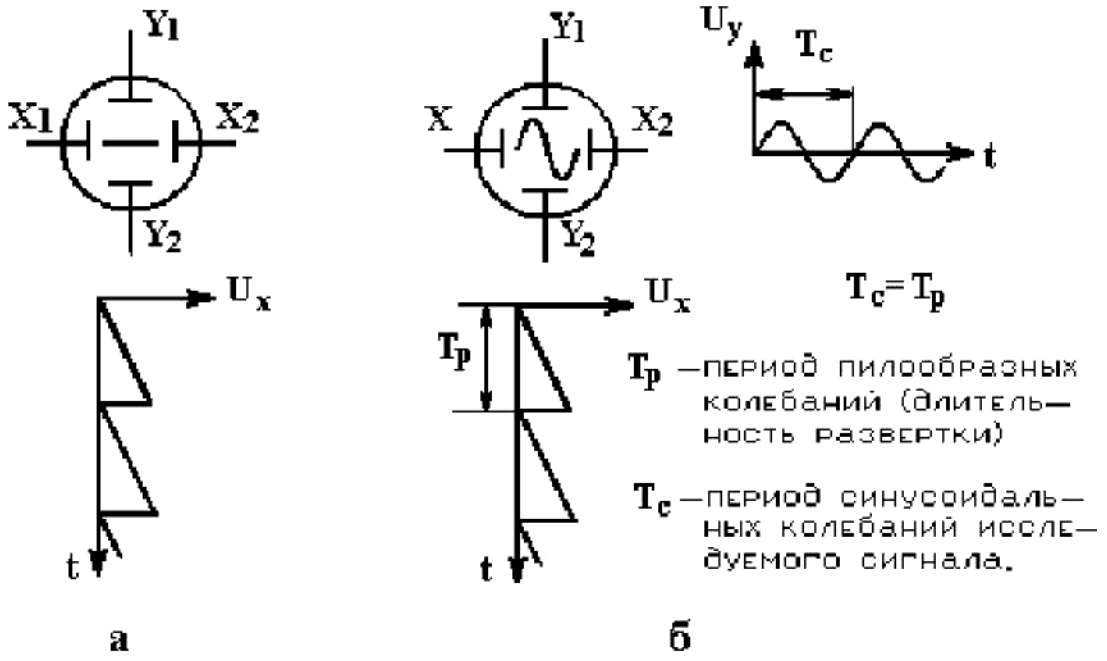


Рисунок 41.2- Амплитуда пилообразного напряжения

Если теперь одновременно с пилообразным напряжением, поданным на пластины XI и X2, подать на другую пару пластин (вертикальных - Y1, Y2), например, переменное напряжение синусоидальной формы, линия развертки в точности "изогнется" по форме синусоидального и пилообразного колебаний, на экране будет изображение одной "синусоиды" (рисунок 4.26). При неравенстве

же периодов на экране появится столько полных колебаний, сколько периодов их укладывается в периоде колебаний пилообразного напряжения развертки. В осциллографе есть регулировка частоты развертки, с помощью которой добиваются нужного числа наблюдаемых на экране колебаний исследуемого сигнала.

На рисунке 41.3 изображена структурная схема осциллографа. На сегодняшний день существует большое число различных по конструкции и назначению осциллографов. По-разному выглядят их лицевые панели (панели управления), несколько отличаются названия ручек управления и переключатели. Но в любом осциллографе существует минимально необходимый набор узлов, без которых он не может работать.

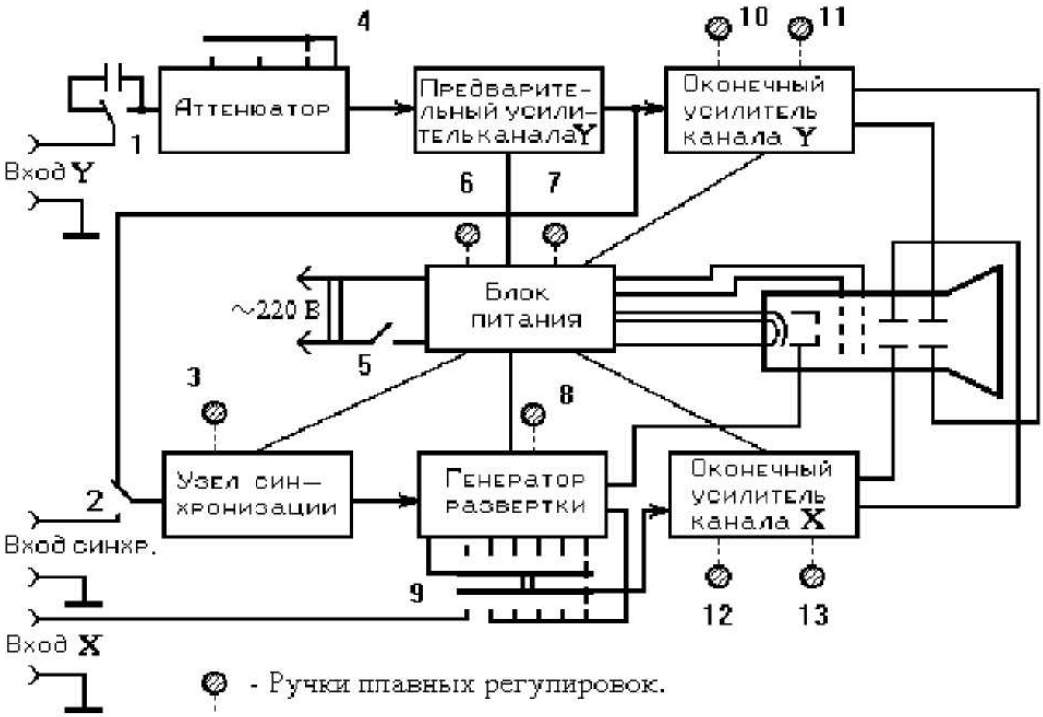


Рисунок 41.3 - Структурная схема осциллографа

Рассмотрим назначение этих основных узлов. Блок питания обеспечивает энергией работу всех узлов электронного осциллографа. На вход блока питания поступает переменное напряжение от городской электросети, как правило, величиной 220 В. В нем оно преобразуется в напряжения разной величины: переменное 6,3 В для питания нити накала электронно-лучевой трубки, постоянное напряжение 12 - 24 В для питания усилителей и генератора, если они полупроводниковые (или 250 В, если ламповые), около 150 В для питания оконечных усилителей горизонтального и вертикального отклонения луча, несколько сотен вольт для фокусировки электронного луча и несколько тысяч вольт для ускорения электронного пучка. Из блока питания, кроме выключателя питания (5), выведены на переднюю панель осциллографа регуляторы: "Фокусировка" (6) и "Яркость" (7). При вращении этих ручек изменяются напряжения, подаваемые на первый анод и модулятор. При изменении напряжения на первом аноде,

меняется конфигурация электростатического поля, что приводит к изменению ширины

электронного луча. Модулятор в электронно-лучевой трубке выполняет роль управляющей сетки в ламповом триоде. При изменении напряжения на модуляторе изменяется ток электронного луча (изменяется кинетическая энергия электронов), что приводит к изменению яркости свечения люминофора экрана.

Генератор развертки выдает пилообразное напряжение, частоту которого можно изменять грубо (ступенями) переключателем (9) и плавно - регулятором (8). На лицевой панели осциллографа они называются "Частота грубо" (или "Длительность развертки") и "Частота плавно". Диапазон частот генератора весьма широк - от единиц герц до единиц мегагерц. Правда, около переключателя диапазонов проставлены значения длительности (продолжительности) пилообразных колебаний, а не их частоты. Нужно уметь находить по длительности частоту, и наоборот. Делают это по формуле (41.1):

$$f = \frac{1}{\grave{O}}, \qquad (41.1)$$

где f - частота колебаний;

T - длительность (или период) одного колебания.

С генератора развертки сигнал подается на усилитель канала горизонтального отклонения. Этот усилитель необходим для получения такой амплитуды пилообразного напряжения, при которой электронный луч отклоняется на весь экран. В усилителе расположены регулятор длины линии развертки (12) (на передней панели осциллографа он называется "Усиление X" или "Амплитуда") и регулятор смещения линии развертки по горизонтали (13) (обозначен значком). Канал вертикальной развертки состоит из входного аттенюатора (делителя входного сигнала) и двух усилителей - предварительного и оконечного. Аттенюатор позволяет выбирать нужную высоту рассматриваемого изображения в зависимости от амплитуды исследуемых колебаний. С помощью переключателя входного аттенюатора (4), амплитуду сигнала можно уменьшить в 10 или 100 раз. Около переключателя стоят надписи 1:1 - в этом случае входной сигнал не ослабляется; 1:10 и 1:100 - в этих случаях ослабление соответственно в 10 и 100 раз. Более плавные изменения уровня сигнала, а значит и размера изображения на экране, получают с помощью регулятора чувствительности оконечного усилителя канала Y (10). В оконечном усилителе этого канала, как и канала горизонтального отклонения, есть регулировка смещения луча (11), а значит, и изображения по вертикали. Кроме того, на входе канала вертикального отклонения стоит переключатель 16 с помощью которого можно либо подавать на усилитель постоянную составляющую исследуемого сигнала, либо избавляться от нее включением разделительного конденсатора. Это в свою очередь позволяет пользоваться осциллографом как вольтметром постоянного тока, способным измерять постоянные напряжения.

Кроме переключателя (9) и регулятора (8) длительности развертки у генератора развертки есть еще один переключатель - переключатель режима работы развертки. Он также выведен на переднюю панель осциллографа. Генератор

разверток может работать в двух режимах: в автоматическом - генерирует пилообразное напряжение заданной длительности и в ждущем режиме - "ожидает" прихода входного сигнала, и с его появлением запускается. Этот режим бывает необходим при исследовании сигналов появляющихся случайно, либо при исследовании параметров импульса, когда его передний фронт должен быть в начале развертки. В автоматическом режиме работы случайный сигнал может появиться в любом месте развертки, что усложняет его наблюдение.

Если между генератором развертки и сигналом нет никакой связи, то начинаться развертка и появляться сигнал будут в разное время, изображение сигнала на экране осциллографа будет перемещаться либо в одну, либо в другую сторону - в зависимости от разности частот сигнала и развертки. Чтобы остановить изображение нужно "засинхронизировать" генератор, т.е. обеспечить такой режим работы, при котором начало развертки будет совпадать с началом появления периодического сигнала. Причем синхронизировать генератор можно как от внутреннего сигнала, так и от внешнего, подаваемого на гнезда "Вход синхр.". Плавно регулируется синхронизация регулятором (5). Эту ручку можно поворачивать от крайнего левого положения до крайнего правого. Это регулировка синхронизации развертки от сигнала соответствующей полярности. Когда ручка (5) находится в крайнем левом положении (-), генератор развертки синхронизируется отрицательным фронтом синусоидального напряжения, в крайнем правом (+) - положительным. В среднем положении ручки синхронизация выключается.

41.3 Осциллограф - мультиметр С1-107

Осциллограф - мультиметр С1-107 предназначен для исследования формы сигналов в диапазоне частот от 0 до 5 МГц путем визуального наблюдения и измерения их амплитуд в диапазоне от 0,02 до 120 В (с выносным делителем 1:10 до 350) и временных интервалов от 0,4·10(Е -6) до 1,0 ев режиме осциллографа; Измерения напряжений постоянного тока от 1·10(Е - 3) до 1000 В, переменного тока от 1·10(Е - 3) до 300 В, силы постоянного тока от 1·10(Е - 6) до 1,999 А, активного сопротивления от 1·10(Е - 3) до 1999 кОм в режиме мультиметра. Осциллограф-мультиметр относится к 3 классу точности.

41.3.1 Общие данные

41.3.1.1 Регулировка по яркости обеспечивает изменения яркости изображения от полного отсутствия до удобной для наблюдения.

41.3.1.2 Электрическая изоляция цепи питания между входом сетевого кабеля и корпусом прибора выдерживает в течение 1 мин испытательное напряжение переменного тока частотой (50±1) Гц, среднеквадратическое действующее значение которого соответствует:

- 1500 В в нормальных условиях;
- 900 В в условиях повышенной влажности.

41.3.1.3 Допускается непрерывная работа осциллографа-мультиметра в рабочих условиях в течение 16 ч, при сохранении своих технических характеристик.

41.3.1.4 Осциллограф-мультиметр сохраняет свои характеристики при питании:

- от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В, частотой (49,5 - 60,5) Гц и содержанием гармоник до 5 %;
- от сети переменного тока напряжением (115 ± 5,75) В и (220 ± 11) В, частотой (400 ± 12) Гц и содержанием гармоник до 5 %;
- от источника постоянного тока напряжением (21 ± 2,1) В.

41.3.1.5 Осциллограф-мультиметр сохраняет свои характеристики в пределах норм после замены в нем электронно-лучевой трубки.

41.3.1.6 Напряжение индустриальных радиопомех, создаваемых осциллографом-мультиметром, не превышает:

- 80 дБ на частотах от 0,15 до 0,5 МГц;
- 74 дБ на частотах от 0,5 до 2,5 МГц;
- 66 дБ на частотах от 2,5 до 20 МГц.

41.3.1.7 Наработка на отказ - не менее 3750 часов.

41.3.1.8 Среднее время восстановления осциллографа-мультиметра не более 2 ч. Вероятность отсутствия скрытых отказов не менее 0,96 за межповерочный интервал 12 месяцев при среднем коэффициенте использования 0,08.

41.3.1.9 Осциллограф-мультиметр по устойчивости к воздействию статического электричества относится к II степени жесткости. Величина допускаемого значения статического электричества не должна превышать 100 В.

41.3.2 Технические данные

41.3.2.1 Режим осциллографа

41.3.2.1.1 Рабочая часть экрана осциллографа:

60 мм (10 делений, цена деления 6 мм) по горизонтали: 40 мм (6 2/3 делений, цена деления 6 мм) по вертикали.

41.3.2.1.2 Ширина линии луча не превышает 0,8 мм.

41.32.1.3 Пределы допускаемого значения относительной основной погрешности коэффициентов отклонения по вертикали (0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20 В/дел) равны ±4 % при размере изображения от 6 до 5 делений включительно и ±8 % при размере изображения от 5 до 2 делений включительно.

Пределы допускаемого значения относительной погрешности коэффициентов отклонения в интервале влияющего фактора равны +/-12 %. Коэффициент отклонения плавно регулируется с перекрытием не менее чем в 2,5 раза.

41.3.2.1.4 Время нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1: 10 не превышает 70 не.

41.3.2.5 Выброс переходной характеристики канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1: 10 — **не** превышает 5 %.

41.3.2.6 Время установления переходной характеристики канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1: 10 не превышает 210 не.

41.3.2.1.7 Неравномерность переходной характеристики при непосредственном входе и с выносным делителем 1: 10 не превышает 4 % на участке установления и 3 % за пределами участка установления.

41.3.2.1.8 Спад вершины переходной характеристики канала вертикального отклонения при закрытом входе за время 10 мс не превышает 10 % при непосредственном входе и с выносным делителем 1: 10.

41.3.2.1.9 Полоса пропускания тракта вертикального отклонения - от 0 до 5 МГц. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в нормальном диапазоне частот 0 ... 1 МГц находится в пределах +/-8% относительно уровня на опорной частоте 1 кГц.

41.3..2.1.10 Дрейф луча канала вертикального отклонения после времени установления рабочего режима не превышает:

кратковременный - 1 мВ за любую минуту в течение часа; долговременный - 5 мВ/ч.

Смешение луча из-за входного тока не превышает 5 мВ. Периодические или случайные отклонения не превышают 1 мВ.

41.3.2.11 Пределы перемещения луча по вертикали составляют не менее двух значений номинального вертикального отклонения.

41.3.2.12 Параметры канала вертикального отклонения:

входное активное сопротивление - (1±0,02) МОм с параллельной емкость от (35±5) пФ при непосредственном входе;

входное активное сопротивление (1±0,02) МОм с параллельной емкостью не более 12 пФ с выносным делителем 1: 10.

41.3.2.1.13 Допускаемое суммарное значение постоянного и переменного напряжения при закрытом входе канала вертикального отклонения находится в пределах: 200 В при непосредственном входе: 350 В с выносным делителем 1: 10.

41.3.2.1.14 Задержка изображения сигнала в канале вертикального отклонения обеспечивает просмотр фронта исследуемого сигнала на рабочей части развертки и составляет не менее 20 нс.

Примечание. Рабочей частью развертки является участок длиной 10 делений от начала за исключением начального участка длиной 0,2 деления.

41.3.2.1.15 Генератор развертки обеспечивает следующие режимы работы: автоколебательный, ждущий.

41.3.2.1.16 Пределы допускаемого значения относительной основной погрешности коэффициентов развертки:

(0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1*10(Е3);

2*10(Е3); 5*10(Е3); 1*10(Е4); 2*10(Е4); 5*10(Е4); 1*10(Е5) мкс/дел) равны ± 5 % при размере изображения по горизонтали;

от 10 до 8 делений включительно, и ±8 при размере изображения от 8 до 4 делений включительно.

Пределы допускаемого значения относительной погрешности коэффициентов развертки в интервале влияющей величины равны ±12 %.

Длительность развертки плавно регулируется на каждом диапазоне с перекрытием не менее чем в 2,5 раза.

41.3.2.1.17 Пределы перемещения луча по горизонтали составляют не менее одного значения номинального горизонтального отклонения и обеспечивают совмещение начала и конца рабочей части развертки с центром экрана.

41.3.2.18 Коэффициент отклонения канала горизонтального отклонения не превышает 1 В/дел.

41.3.2.1.19 Входное активное сопротивление входа канала горизонтального отклонения составляет не менее 30 кОм с параллельной емкостью не более 30 пФ.

41.3.2.1.20 Внутренняя синхронизация осуществляется синусоидальными сигналами в полосе частот от 1 до 5*10(Е6) Гц и импульсами обеих полярностей длительностью от 0,3 до 1*10(Е6) мкс.

41.3.2.1.21 Внешняя синхронизация развертки осуществляется синусоидальными сигналами в полосе частот от 1 до 5*10(Е6) Гц и импульсными сигналами обеих полярностей длительностью от 0,3 до 1*10(Е6) мкс с амплитудой от 0,5 до 50 В. Нестабильность синхронизации не превышает 10 нс. В автоколебательном режиме развертки нижняя частота запуска развертки составляет не более 100 Гц.

41.3.2.1.22 Параметры входов внешней синхронизации (открытых):

- входное активное сопротивление входа "0,5 - 5" - не менее 30 кОм с параллельной емкостью не более 30 пФ;
- входное активное сопротивление входа "5 - 50" - не менее 650 кОм с параллельной емкостью не более 10 пФ.

41.3.2.1.23 Внутренний источник калиброванного сигнала генерирует П-образные импульсы с частотой повторения 1 кГц и амплитудой 1 В. Пределы допускаемого значения относительной погрешности установки амплитуды и частоты импульсов калибратора равны: основной ±2 %, в интервале влияющей величины ±3 % .

41.3.2.1.24 Геометрические искажения не превышают ±3 %.

41.3.2.2 Режим мультиметра

41.3.2.2.1 Выбор вида и пределов измерений производится вручную при помощи переключателя рода работ ("R, -, ~") и ручки пределов измерения (совмещенной с ручкой аттенюатора). При измерении напряжения или силы постоянного тока определение и индикация полярности производится автоматически. При измерении электрических величин, значения которых превышают конечное значение выбранного предела, индицируется знак "П". Индикация запятых в зависимости от положения переключателя пределов измерений соответствует таблице 41.1.

Таблица 41.1 - Индикация запятых в зависимости от положения

Положение переключателя пределов измерений	Положение запятой
"0,2", "2", "20", "200", "2000"	,0000 0,000 00,00 000,0 0000

41.3.2.2.2 Диапазон измерения напряжения постоянного тока 1·10(Е-3)...1ООО В разбит на поддиапазоны "0,2"; "2"; "20": "200>; "2000". Пределы относительной погрешности измерения напряжения постоянного тока в процентах равны:

1) основной

$$\Delta U = \pm(1 + 0.15\frac{U_R}{U_X} - 1), \qquad (41.2)$$

где U_R - конечное значение предела измерения, В;

U_x - показания осциллографа-мультиметра, В.

2) в интервале влияющей величины

$$\Delta U = \pm\left[2 + 0.25\left(\frac{U_K}{U_X} - 1\right)\right], \qquad (41.3)$$

Время одного измерения не превышает 1,5 с.

41.3.2.2.3 Диапазон измерения напряжения переменного тока 1·10(Е-3)... 300 В, разбит на поддиапазоны "0,2"; "2"; "20"; "200"; "2000".

41.3.2.2.4 Диапазон измерения активного сопротивления 1·10(Е-3)... 1999 Ом разбит на поддиапазоны "0,2"; "2"; "20"; "200"; "2000".

41.3.2.2.5 Входное активное сопротивление осциллографа-мультиметра при измерении напряжения постоянного и переменного тока не менее 10 МОм. Входная емкость - не более 100 пФ.

41.3.2.2.6 Мощность, выделяемая на измеряемом сопротивлении - не более 1 мВт.

41.4 Осциллограф универсальный С1 – 68

Осциллограф универсальный С1 – 68 предназначен для наблюдения и исследования формы электрических процессов путем визуального наблюдения и измерения их временных и амплитудных значений. По точности воспроизведения сигнала, измерения временных и амплитудных значений прибор относится ко 2—3 классам точности.

Условия эксплуатации:

- рабочая температура окружающего воздуха от минус 10 °С до плюс 50 °С;
- предельная температура от минус 50 °С до +60 °С;
- относительная влажность воздуха до 95 % при температуре до плюс 30 °С.

Прибор нормально работает после воздействия (в укладочном ящике) ударных нагрузок:

- многократного действия с ускорением до 15 g длительностью импульса от 5 до 10 мс;
- одиночного действия с ускорением до 75 g длительностью импульса от 1 до 10 мс.

Прибор устойчив к циклическому изменению температуры окружающего воздуха от предельной положительной до предельной отрицательной.

Прибор выпускается в двух вариантах исполнения:

- настольном И22.044.053;
- стоечном И22.044.054.

41.4.1 Технические данные

41.4.1.1 Осциллограф С1-68 обеспечивает:

а) наблюдение формы импульсов обеих полярностей длительностью от 2 мкс до 16 с амплитудой от 1 мВ до 300 В;

б) наблюдение периодических сигналов в диапазоне частот от 0,06 Гц до 1 МГц;

в) измерение амплитуд исследуемых сигналов в диапазоне от 2 мВ до 300 В, а с выносным делителем 1:10 - от 20 мВ до 350 В;

г) измерение временных интервалов — от 2 мкс до 16 с.

41.4.1.2 Коэффициенты отклонения (положение переключателя «V/cm, mV/cm») устанавливаются:

а) скачкообразно от 1 мВ/см до 5 В/см с возможностью умножения (уменьшение чувствительности) на 10;

плавное перекрытие каждого поддиапазона не менее 2,5 раза;

б) основная погрешность измерения напряжения в диапазоне от 2 мВ до 300 В при размере изображения от 2 до 6 делений не превышает:

±5% — при коэффициентах отклонения от 2 мВ/см да 50В/см;

±8 % — при коэффициенте отклонения 1 мВ/см «xl» или «x10».

41.4.1.3 Коэффициент отклонения канала горизонтального отклонения не более 1 В/см.

41.4.1.4 Время нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения луча не более 0,35 мкс; с выносным делителем 1:10 - 0,45 мкс.

41.4.1.5 Время установления переходной характеристики канала вертикального отклонения луча не более 1,1 мкс: с выносным делителем 1:10 - 1,8 мкс.

41.4.1.6 Выброс переходной характеристики канала вертикального отклонения не более 5 %; с выносным делителем 1:10 - не более 8 %.

41.4.1.7 Спад вершины переходной характеристики при закрытом входе не более 10 % при длительности 10 мс.

41.4.1.8 Неравномерность переходной характеристики не более 3 %; с выносным делителем 1:10 — не более 10 %.

41.4.1.9 Параметры входов:

а) канала вертикального отклонения - входное активное сопротивление (1±0,02) МОм, входная емкость (50±5) пФ; с выносным делителем 1:10—входное сопротивление (10±1) МОм, входная емкость не более 13 пФ, погрешность коэффициента деления не более ±10 %;

б) канала горизонтального отклонения — входное активное сопротивление не менее 50 кОм, входная емкость не более 30 пФ;

в) входа внешней синхронизации — входное активное сопротивление не менее 50 кОм в положении переключателя синхронизации «Внеш. 1:1» и не менее 500 кОм в положении «Внеш. 1:10», входная емкость не более 50 пФ;

г) канал «Z» — входное сопротивление (1±0,2) МОм, входная емкость не более 35 пФ.

41.4.1.10 Допускаемое суммарное значение постоянного и переменного напряжений в закрытом входе не более 350 В.

Максимальный измеряемый размах исследуемого сигнала не более 300 В.

Максимальный размах исследуемого сигнала, подаваемого на вход прибора через выносной делитель 1:10, не более 350 В.

41.4.1.11 Пределы перемещения луча по вертикали не менее двух значений номинального вертикального отклонения.

Пределы перемещения луча по горизонтали обеспечивают совмещение начала и конца рабочей части развертки с центром экрана.

41.4.1.12 Генератор развертки может работать в периодическом или ждущем режиме и имеет следующие параметры:

а) диапазон длительностей развертки (калиброванных коэффициентов развертки) от 2 с/см до 2 мкс/см разбит на 19 фиксированных поддиапазонов. Предусмотрена возможность пятикратной растяжки развертки (пятикратного уменьшения коэффициента развертки в положении «0,2»). Плавное перекрытие каждого поддиапазона не менее 2,5 раза;

б) основная погрешность измерения временных интервалов в диапазоне от 2 мкс до 16 с при измеряемом размере изображения по горизонтали от 4 до 8 делений рабочей части развертки не более ±5 % без растяжки и ±8 % — с использованием растяжки.

41.4.1.13 Внутренняя синхронизация развертки осуществляется сигналом любой полярности при минимальном уровне изображения не более 3 мм и максимальном уровне — 60 мм в диапазоне частот от 1 Гц до 1МГц и импульсными сигналами длительностью от 1,4 мкс и более.

41.4.1.14 Внешняя синхронизация развертки осуществляется сигналом в диапазоне частот от 1 Гц до 1 МГц при амплитуде сигнала от 0,5 до 50 В, а также импульсными сигналами с длительностью от 1,4 мкс и более при амплитудах от 0,5 до 50 В. Нестабильность синхронизации развертки (размытость изображения) не превышает ширины линии луча. Синхронизация от сети — частотой 50, 400 Гц, минимальный уровень изображения — не более 3 мм, максимальный уровень — не менее 60 мм.

41.4.1.15 Амплитуда напряжения развертки для запуска внешних устройств, выведенного на гнездо «^» в пределах от 5 до 12 В на нагрузке сопротивлением не менее 20 кОм и емкостью не более 100 пФ.

41.4.1.16 Размеры рабочей части экрана по вертикали не менее 60 мм (6 делений) и по горизонтали не менее 80 мм (8 делений).

41.4.1.17 Ширина линии луча не более 0,7 мм, а при коэффициенте отклонения по вертикали 1 мВ/см — не более 1 мм.

41.4.1.18 Минимальная частота следования развертки, при которой обеспечивается наблюдение исследуемого сигнала на наиболее быстрой развертке, не более 250 Гц. Нелинейность отклонения не превышает 5 %.

41.4.1.19 Полоса пропускания канала горизонтального отклонения от 0 до 500 кГц.

41.4.1.20 Опорная частота 1 кГц.

41.4.1.21 Параметры, определяющие нестабильность положения луча:

- долговременный дрейф нулевой линии в течение 1 ч работы после 15 мин. прогрева не превышает 3,5 мВ (35 мм);
- кратковременный дрейф за 1 мин в течение 1 ч не превышает 0,3 мВ (3 мм);
- смещение луча при изменении напряжения питания на±10% не более 0,3 мВ (3 мм).

41.4.1.22 Периодические (от внутреннего преобразователя напряжения или случайные шумы) отклонения луча не превышают 2%.

41.4.1.23 Задержка начала развертки относительно сигнала синхронизации не более 0,3 мкс.

41.4.1.24 Нелинейность развертки в пределах рабочей части развертки не превышает 5 %. При растяжке длительности развертки «х0,2» нелинейность не превышает 10 %.

41.4.1.25 Параметры, зависящие от электронно-лучевой трубки:

а) геометрические искажения не более 3 %;

б) погрешность ортогональности не более 2°;

в) яркость луча осциллографа регулируется от полного отсутствия до величины, удобной для наблюдения.

41.4.1.26 Модуляция яркости обеспечивается при подаче на гнездо «-£) Z» сигнала с амплитудой от 20 до 50 В в диапазоне частот от 20 Гц до 200 кГц.

41.4.1.27 Яркость подсвета шкалы регулируется от полного отсутствия до величины, удобной для наблюдения.

41.4.1.28 В приборе обеспечивается возможность подачи исследуемых сигналов в полосе частот от 20 Гц до 10 МГц непосредственно на открытый симметричный вход отклоняющих пластин электронно-лучевой трубки через внешний переходной конденсатор емкостью не менее 0,1 мкФ.

41.4.1.29 Параметры входов «Пластины Y» и «Пластины X» входное сопротивление относительно корпуса - (1±0,2) МОм при входной емкости не более 20 пФ. Чувствительность входа «Пластины Y» не менее 1,0 мм/В «Пластины X»- не менее 0,6 мм/В (определяется техническими условиями на ЭЛТ).

41.4.1.30 Внутренний источник калиброванного напряжения генерирует П-образные импульсы с частотой 2 кГц (период 0,5 мс)и амплитудой 0,1 и 1В:

а) основная погрешность напряжения и частоты не превышает ±1,5 %;

б) ассиметрия импульсов не превышает 20 %.

41.4.1.31 Питание прибора осуществляется:

- от сети переменного тока напряжением (220±22)В частотой (50±0,5) Гц, напряжением (115±5,75) В и (220+11) В частотой (400±12) Гц и содержанием гармоник до 5 %.

- от источника постоянного тока напряжением (12,6±1,26) В и (24±2.4) В.

41.4.1.32 Мощность, потребляемая от сети при номинальном напряжении, не превышает 40 ВА. Величина тока, потребляемого прибором от источника постоянного тока напряжением 12,6 В, не превышает 1,8 А.

41.4.1.33 Время установления рабочего режима прибора не превышает 15 мин.

41.4.1.34 Прибор допускает непрерывную работу в течение 16 часов.

41.4.1.35 Наработка приборов на отказ не менее 1500 ч.

41.4.1.36 Средний срок службы прибора 10 лет. Средний ресурс 5000 ч.

41.4.1.37 Масса прибора не более:

- для настольного исполнения - 10 кг;
- для стоечного исполнения - 14 кг.

Масса прибора с транспортной тарой не более:

- для настольного исполнения - 45 кг;
- для стоечного исполнения - 46 кг.

41.4.1.38 Габаритные размеры прибора:

- для настольного исполнения — 274Х182Х440 мм
- для стоечного исполнения — 520Х160Х510 мм

Габаритные размеры прибора в упаковке:

- для настольного исполнения — 410Х276Х483 мм (в укладочном ящике);
- 288Х204Х253 мм (в картонной коробке);
- для стоечного исполнения — 533Х181Х533 мм.

Габаритные размеры транспортной тары:

- для настольного исполнения — 533Х407Х682 мм (с укладочным ящиком);
- 414Х341Х723 мм (с картонной коробкой);
- для стоечного исполнения — 656Х341Х851 мм

41.7 Поверка осциллографа

41.7.1 Условия поверки и подготовка к ней

41.7.1.1 При проведении поверки необходимо соблюдать следующие условия:

- поверку проводят в нормальных условиях по ГОСТ 22261—94;
- допускается проводить поверку в рабочих условиях, если при этом не ухудшается соотношение погрешностей поверяемого и образцового приборов.

41.7.1.2 Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- подготовлены вспомогательные устройства (кабели, нагрузки, аттенюаторы, разветвители и т. п.) из комплектов поверяемого прибора и образцовых средств поверки;
- поверяемый осциллограф и средства поверки должны быть

заземлены и выдержаны во включенном состоянии в течение времени по п. 41.7.2.3.9.

41.7.2. Проведение поверки

41.7.2.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие поверяемого прибора следующим требованиям:

- поверяемые осциллографы должны быть укомплектованы в соответствии с п. 7.2.3.9;
- поверяемые осциллографы не должны иметь механических повреждений кожуха, крышек, лицевой панели, регулировочных и соединительных элементов, отсчетных шкал и устройств, нарушающих работу осциллографа или затрудняющих поверку;
- должна быть обеспечена четкая фиксация всех переключателей во всех позициях при совпадении указателя позиции с соответствующими надписями на панели прибора.

41.7.2.2 Опробование

41.7.2.2.1 Допускается проводить опробование сразу после включения осциллографа.

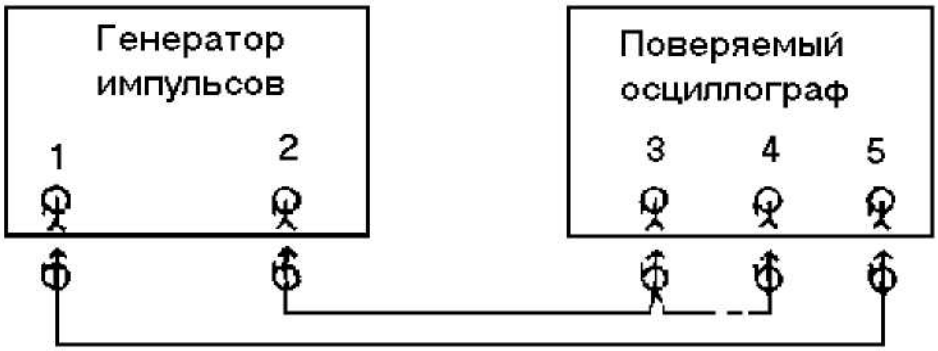
41.7.2.2.2 Опробование проводят при помощи генератора импульсов.

Генератор импульсов должен выдавать на выходах напряжение, обеспечивающее проверку работоспособности осциллографа при всех значениях коэффициентов отклонения и развертки в различных режимах работы каналов вертикального и горизонтального отклонения. Допускается использование нескольких типов генераторов импульсов, перекрывающих необходимые диапазоны.

41.7.2.2.3 Проверка работы осциллографа в автоколебательном режиме.

Осциллограф переводят в автоколебательный режим и проверяют: наличие линии развертки электронного луча на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ); регулировку яркости и фокусировку луча; смещение луча в горизонтальном и вертикальном направлениях. Проводят калибровку коэффициентов отклонения и развертки по п. 7.2.3.9.

41.7.2.2.4 Проверка работы органов регулировки коэффициента развертки



1 – выход синхронизирующих импульсов; 2 – выход основных импульсов; 3 – вход усилителя У; 4 – выход калибратора осциллографа; 5 – вход синхронизации

Рисунок 41.4 - Проверка работы органов регулировки коэффициента развертки

Поверяемый осциллограф переводят в режим внешнего запуска, генератор импульсов — в режим внутреннего запуска; устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду основного импульса генератора, соответствующую четырем делениям шкалы ЭЛТ по вертикали, минимальное фиксированное значение коэффициента развертки, длительность основного импульса генератора, соответствующую пяти делениям шкалы ЭЛТ по горизонтали, максимально возможную частоту повторения основных импульсов генератора. Органами регулировки амплитуды синхронизирующих импульсов генератора, задержки основных импульсов генератора и, при необходимости, органами регулировки синхронизации поверяемого осциллографа добиваются устойчивого изображения импульсов на экране ЭЛТ, Увеличивая фиксированное значение коэффициента развертки, наблюдают уменьшение ширины импульсов на экране ЭЛТ. При достижении ширины изображения импульса одного деления длительность импульса увеличивают так, чтобы ширина изображения на экране ЭЛТ снова была равна пяти делениям по горизонтали.. Частоту повторения импульсов соответственно уменьшают до минимального значения частоты повторения импульсов синхронизации поверяемого осциллографа. При одном, по выбору поверителя, фиксированном значении коэффициента развертки проверяют работоспособность плавной регулировки коэффициента развертки.

41.7.2.2.5 Проверка работы осциллографа в режиме внутреннего запуска

Средства измерений соединяют, как в пункте 41.7.2.2.4.

Поверяемый осциллограф переводят в режим внутреннего запуска. Устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду основных импульсов генератора, как в п. 7.2.2.4. Регулировкой уровня синхронизации поверяемого осциллографа добиваются устойчивого изображения импульса на экране ЭЛТ. Уменьшение амплитуды основных импульсов генератора до минимального значения, установленного для поверяемого осциллографа, не должно приводить к

срыву синхронизации. При необходимости допускается проводить дополнительную регулировку уровня синхронизации.

41.7.2.2.6 Проверка работы органов регулировки коэффициента отклонения.

Средства измерений соединяют и устанавливают режим их работы, как в пункте 41.7.2.2.4.

Устанавливают среднее значение коэффициента развертки, амплитуду основных импульсов генератора, соответствующую пяти делениям шкалы ЭЛТ по вертикали, минимальное фиксированное значение коэффициента отклонения поверяемого осциллографа, длительность основного импульса генератора, соответствующую пяти-шести делениям шкалы ЭЛТ по горизонтали. Органами регулировки синхронизации и задержки поверяемого генератора добиваются устойчивого изображения импульса на экране ЭЛТ. Увеличивая фиксированное значение коэффициента отклонения, наблюдают уменьшение высоты изображения импульса на экране ЭЛТ. При достижении высоты импульса одного деления по вертикали амплитуду основных импульсов генератора увеличивают так, чтобы высота изображения импульса на экране ЭЛТ снова была равна пяти делениям по вертикали. При одном, по выбору поверителя, фиксированном значении коэффициента отклонения проверяют работоспособность плавной регулировки коэффициента отклонения.

41.7.2.2.7 Опробование осциллографов, измеряющих напряжение и временные интервалы методом сравнения, проводят по пункту 41.7.2.3.9.

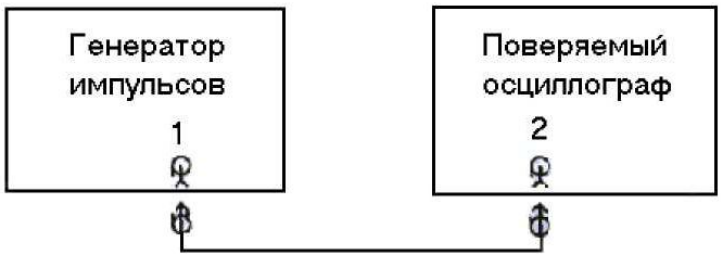
41.7.2.3 Определение метрологических параметров

41.7.2.3.1 Определение ширины линии луча

41.7.2.3.1.1 Ширину линии луча в вертикальном направлении определяют методом косвенного измерения при помощи генератора импульсов (рисунок 41.7.2).

Поверяемый осциллограф переводят в автоколебательный режим развертки, генератор импульсов — в режим внутреннего запуска. Устанавливают коэффициент развертки в пределах 2— 10 мкс/дел, период следования импульсов генератора 40—200 мкс, длительность импульсов 10—50 мкс, амплитуду импульсов 2—5 В, коэффициент отклонения 5 В/дел.

На экране ЭЛТ наблюдают две горизонтальные линии. Органами смещения по вертикали перемещают изображение к верхней границе рабочего участка экрана ЭЛТ. Устанавливают требуемую яркость и фокусируют луч по пункту 41.7.2.3.9. При отсутствии норм яркости и методов ее измерения устанавливают яркость, удобную для измерения.



1 – выход основных импульсов; 2 – выход усилителя У

Рисунок 41.5 - Измерения при помощи генератора импульсов

Изменяют амплитуду импульсов до значения U_1, при котором светящиеся линии соприкасаются. Ширину линии луча по вертикали d_a в делениях вычисляют по формуле (41.4):

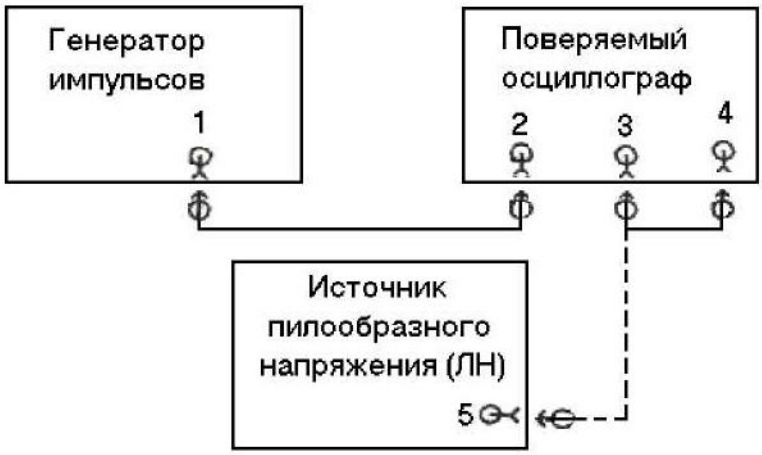
$$d_{\hat{a}} = \frac{U_1}{\alpha_d}, \qquad (41.4)$$

где U_1 — амплитуда импульсов, В;

$a_в$ — коэффициент отклонения по вертикали, В/дел.

41.7.2.3.1.2 Ширину линии луча в горизонтальном направлении определяют методом косвенного измерения при помощи генератора импульсов и источника пилообразного напряжения (рисунок 41.6).

При отсутствии у поверяемого осциллографа выхода пилообразного напряжения развертки допускается использование вспомогательного осциллографа, имеющего такой выход, или внешнего источника пилообразного напряжения калиброванной длительности.



1 – выход основных импульсов; 2 – вход усилителя X; 3 – вход усилителя У; 4 – выход напряжения развертки; 5 – выход пилообразного напряжения

Рисунок 41.6 - Измерения при помощи генератора импульсов и источника пилообразного напряжения

Устанавливают режим работы и значение параметров по пункту 41.7.2.3.1.1. На экране ЭЛТ наблюдают две вертикальные линии. Изменяя значение коэффициента отклонения, устанавливают высоту изображения линий, возможно близкую к длине рабочего участка шкалы ЭЛТ по горизонтали. Коэффициент отклонения по горизонтали $a_Г$ вычисляют по формуле (41.5):

$$\alpha_{Г} = \frac{U_2}{L}, \qquad (41.5)$$

где U_2 — амплитуда импульсов на выходе генератора, В;

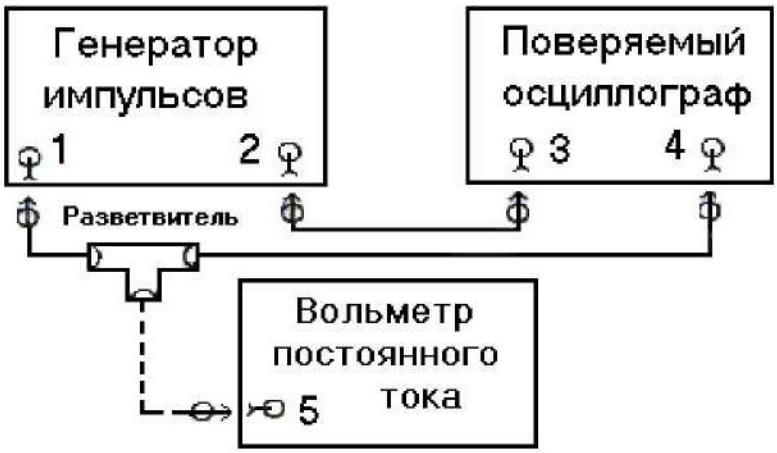
L—длина изображения по горизонтали, деления.

Изменяют амплитуду импульсов до значения U_3, при котором две светящиеся вертикальные линии соприкасаются. Ширину линии луча $d_г$ по горизонтали вычисляют по формуле (41.6):

$$d_{Г} = \frac{U_3}{\alpha_{Г}}, \qquad (41.6)$$

Ширину линии луча в вертикальном и горизонтальном направлениях определяют в середине и на границах рабочего-участка ЭЛТ. Ширина линии луча не должна превышать значений по п. 7.2.3.9

41.7.2.3.2 Погрешность коэффициента отклонения определяют методом косвенного измерения действительного значения коэффициента отклонения при помощи генератора импульсов или установки для поверки вольтметров (рисунок 41.7) и вычисляют по пункту 41.7.2.3.6 или методом прямого измерения при помощи, импульсного калибратора осциллографов (рисунок 41.8)

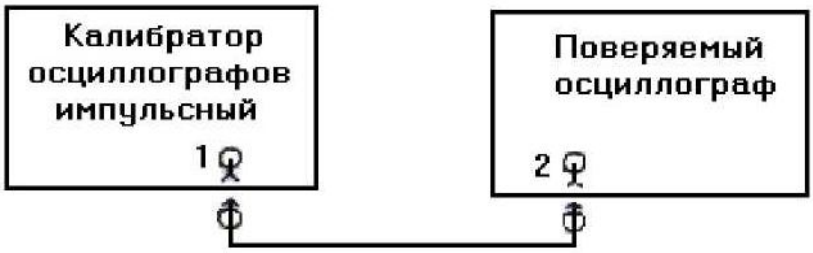


1 – выход основных импульсов; 2 – выход синхронизирующих импульсов; 3 – вход синхронизации; 4 – вход усилителя У; 5 – вход вольтметра

Рисунок 41.7- Измерения действительного значения коэффициента отклонения при помощи генератора импульсов или установки для поверки вольтметров

Поверяемый осциллограф переводят в режим внутреннего запуска, генератор импульсов — в режим основных импульсов генератора, максимальное

фиксированное значение коэффициента отклонения осциллографа, амплитуду импульсов генератора или амплитуду сигнала на внешнего запуска. Устанавливают частоту повторения импульсов генератора или частоту сигнала установки для поверки вольтметров равную 1000 Гц, максимальную длительность выходе установки для поверки вольтметров, соответствующую минимальному четному числу h_{min} делений шкалы ЭЛТ по вертикали, установленному по пункту 41.7.2.3.9.



1 - выход калибратора напряжения; 2 – вход усилителя У

Рисунок 41.8 - Измерения при помощи, импульсного калибратора осциллографов

Соответствующими органами регулировки осциллографа добиваются устойчивого изображения сигнала на экране ЭЛТ. Регулировкой уровня синхронизации срывают синхронизацию развертки осциллографа. На экране ЭЛТ наблюдают две линии: нижнюю, соответствующую исходному уровню в паузе, верхнюю — амплитуде основного импульса генератора (при импульсе положительной полярности).

При использовании установки для поверки вольтметров на экране ЭЛТ наблюдают светящуюся полосу, высота которой соответствует удвоенной амплитуде синусоидального сигнала. Органами регулировки смещения луча осциллографа линии (светящуюся полосу) располагают так, чтобы нижняя линия изображения совпала с отметкой $h_{min}/2$ ниже центральной линии шкалы.

Совмещения линий с отметками шкалы проводят по одинаковым границам линий (верхней или нижней).

Регулируют амплитуду сигнала на выходе генератора импульсов или установки для поверки вольтметров так, чтобы высота изображения была равна h_{min} делений шкалы ЭЛТ по вертикали. Отсчитывают значение амплитуды основных импульсов генератора U_1 или значение амплитуды синусоидального сигнала на выходе установки для поверки вольтметров U_1. Действительное значение коэффициента отклонения вычисляют по формулам(41.7 – 41.8):

$$\alpha_d = \frac{U_1}{h}, \qquad (41.7)$$

или

$$\alpha_{Ä} = \frac{2U}{h}, \qquad (41.8)$$

где $a_Д$—действительное значение коэффициента отклонения,

h—высота изображения, единица длины или деление.

Коэффициент отклонения аналогично определяют для всех значений высоты, равных четному числу делений, а также для наибольшего значения высоты в пределах рабочего участка экрана по вертикали. Действительное значение других коэффициентов отклонения определяют при высоте изображения сигналов, равной четному числу делений и составляющей 60—100 % рабочего участка экрана.

Для достижения требуемой точности установки амплитуды импульсов, на входе осциллографа используют генератор, имеющий режим выдачи постоянного напряжения, равного амплитуде импульсов на его выходе (рисунок 41.7., пунктирная часть). После установки требуемой амплитуды генератор переводят в режим выдачи постоянного напряжения, измеряя его вольтметром U_1.

Действительное значение коэффициента отклонения при использовании импульсного калибратора осциллографов определяют для тех же значений высоты сигнала, как описано выше и в соответствии с пункту 41.7.2.3.9.

Погрешность коэффициента отклонения не должна превышать значений, установленных в пункте 41.7.2.3.9.

41.7.2.3.3 Погрешность измерения напряжения определяют методом прямого измерения медленно изменяющегося напряжения, выдаваемого генератором импульсов, установкой для поверки вольтметров (рисунок 41.7) и вычисляют по пункту 41.7.2.3.6 или импульсным калибратором осциллографов (рисунок 41.8). Поверяемый осциллограф и средства поверки переводят в режим внутреннего запуска.

Период повторения основных импульсов генератора устанавливают равным 1 мс, длительность 0,5 мс. При использовании установки для поверки вольтметров и калибратора осциллографа импульсного устанавливают режим выдачи переменного синусоидального напряжения частотой 1 кГц и типа «меандр» соответственно.

Напряжение измеряют в соответствии с пунктом 41.7.2.3.9. Измерения проводят для каждого канала при всех значениях коэффициента отклонения и не менее чем в пяти точках диапазона измеряемых осциллографом напряжений, включая две крайние точки. Высота изображения в начальной точке диапазона должна быть минимальной, для конечной точки должна составлять 100 %, а для промежуточных точек 40—80 % длины рабочего участка ЭЛТ по вертикали.

41.7.2.3.4 Погрешность коэффициента развертки определяют методом косвенного измерения действительного значения коэффициента развертки при помощи генератора сигналов, генератора импульсов и электронно-счетного частотомера и вычисляют по пункту 41.7.2.3.6 или методом прямых измерений при помощи калибратора осциллографов импульсного. Электронно-счетный частотомер используют при необходимости для повышения точности установки частоты (периода) сигналов генераторов. Коэффициенты развертки, не превышающие 5 мкс/дел, измеряют по схеме рисунок 41.9. Поверяемый осциллограф переводят в режим внутреннего запуска, устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду сигналов на выходе генератора, соответствующую не менее 40 % рабочего участка ЭЛТ по вертикали, минимальное значение коэффициента развертки, период сигнала, соответствующий одному делению шкалы ЭЛТ по горизонтали. Регулируя уровень синхронизации осциллографа, добиваются устойчивого изображения синусоидального сигнала на экране ЭЛТ. Изменяют частоту сигнала на выходе генератора и задержку развертки так, чтобы длина изображения, расположенного в начале рабочего участка ЭЛТ по горизонтали, четного числа периодов

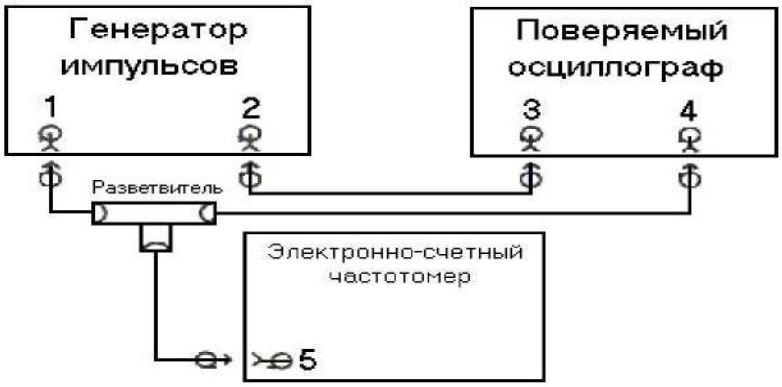
синусоидального сигнала l_{min} была равна наименьшей допустимой длине (l_{min}, деления), установленному по пункту 41.7.2.3.9.

1 – выход генератора сигналов; 2 – вход усилителя У; 3 – вход частотомера

Рисунок 41.9 - Схема измерения коэффициентов развертки не превышающих 5 мкс/дел

Совмещение изображения с отметками шкалы проводят в точках, имеющих максимальную крутизну и для одинаковых границ, линии луча. Отсчитывают по шкале генератора или измеряют при помощи электронно-счетного частотомера частоту синусоидального сигнала. Действительное значение коэффициента разведки $\beta_Д$ вычисляют по формуле (41.9):

$$\beta_Ä = \frac{1}{f}, \qquad (41.9)$$



1 – выход основных импульсов; 2 – выход синхронизирующих импульсов; 3 – вход синхронизации; 4 – вход усилителя У; 5 – вход частотомера

Рисунок 41.10 - Схема измерения коэффициента развертки превышающих 5 мкс/дел

Поверяемый осциллограф переводят в режим внешнего запуска, генератор импульсов — в режим внутреннего запуска, устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду основных импульсов генератора, соответствующую не менее 80 % рабочего участка ЭЛТ по вертикали, период повторения импульсов, соответствующий одному делению шкалы ЭЛТ по горизонтали, длительность импульсов, соответствующую 0,2 деления шкалы по горизонтали. Регулируя уровень синхронизации осциллографа и генератора, добиваются устойчивого изображения импульсов на экране ЭЛТ. Изменяют частоту

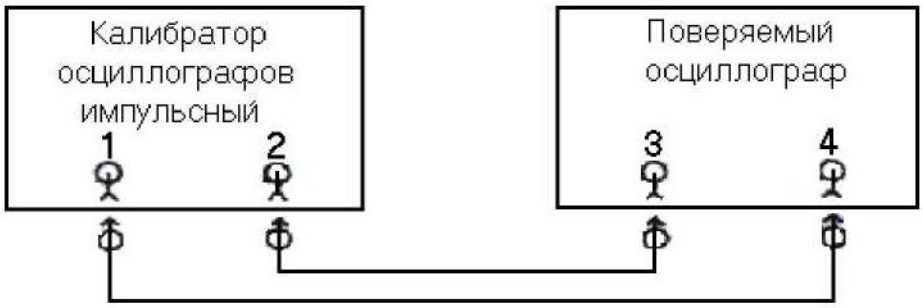
повторения и задержку основных импульсов генератора так, чтобы длина изображения, расположенного в начале рабочего участка ЭЛТ по горизонтали, четного числа периодов импульсов lmin была равна lmin делений шкалы ЭЛТ по горизонтали, установленному по пункту 41.7.2.3.9.

Электронно-счетным частотомером измеряют частоту повторения или период повторения основных импульсов Т генератора и вычисляют действительное значение коэффициента развертки $\beta_Д$ по формуле (41.9) или (41.10):

$$\beta_Д = T, \qquad (41.10)$$

Коэффициент развертки аналогично определяют для всех значений большего значения длины, равных четному числу делений, а также для наибольшего значения длины в пределах рабочего участка ЭЛТ по горизонтали. Измерения проводят для всех фиксированных значений коэффициента развертки поверяемого осциллографа.

Коэффициент развертки при использовании калибратора осциллографов импульсного измеряют по схеме рисунка 41.11 для тех же участков шкалы, как описано выше и в соответствии с пунктом 41.7.2.3.9.



1 – выход калибратора временных интервалов; 2 – выход синхронизирующих импульсов; 3 – вход синхронизации; 4 – вход уилителя У

Рисунок 41.11 – Схема измерения коэффициента развертки при использовании калибратора осциллографов

Погрешность коэффициента развертки не должна превышать значений, установленных в пункте 41.7.2.3.9.

41.7.2.3.5 Погрешность измерения временных интервалов определяют методом прямого измерения временных интервалов, задаваемых генератором сигналов или генератором импульсов, и вычисляют по пункту 41.7.2.3.6 или импульсным калибратором осциллографов.

Временные интервалы измеряют по схемам, изображенным на рисунках 41.9 — 41.11. Поверяемый осциллограф и средства поверки переводят в режим внутреннего запуска, устанавливают среднее значение коэффициента отклонения, амплитуду сигналов, соответствующую 40— 10 % рабочего участка ЭЛТ по горизонтали. Измерения проводят по пункту 41.7.2.3.9 для каждой развертки поверяемого осциллографа и не менее чем в пяти точках диапазона измеряемых временных интервалов, включая две крайние точки. Длина изображения в начальной

точке диапазона должна быть минимальной, для конечной — должна составлять 100 %, а для промежуточных точек —1- 80 % рабочего участка ЭЛТ по горизонтали.

41.7.2.3.6 Относительную погрешность определяемых параметров, осциллографа δ_A в процентах вычисляют по формуле (41.11):

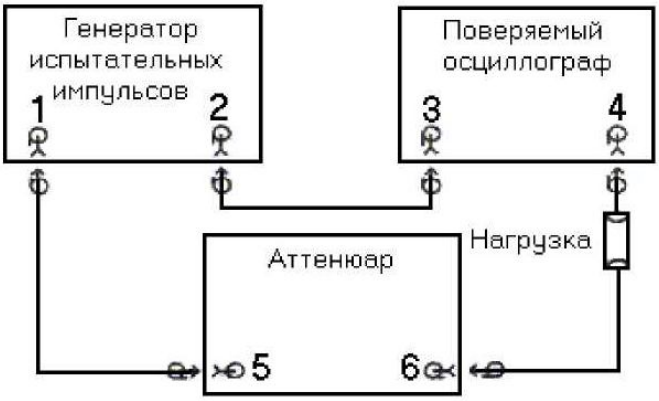
$$\delta_A = \frac{À_{íîì} - À_{ä}}{À_{íîì}}, \qquad (41.11)$$

где $A_{ном}$—номинальное значение параметра;

$A_д$—действительное значение параметра.

41.7.2.3.7 Параметры переходной характеристики определяют методом прямых измерений при помощи генератора испытательных импульсов (рисунок 41.10).

Требования к основным параметрам испытательных импульсов генератора приведены в обязательном приложении. Поверяемый осциллограф переводят в режим внешнего запуска, генератор — в режим внутреннего запуска, устанавливают минимальное значение коэффициента развертки. Регулируя синхронизацию и задержку осциллографа и генератора, добиваются устойчивого изображения сигнала на экране ЭЛТ.



1 – выход основных импульсов; 2 – выход синхронизирующих импульсов; 3 – вход синхронизации; 4 – вход усилителя У; 5 – вход аттенюатора; 6 – выход аттенюатора

Рисунок 41.12 - Определение параметров переходной характеристики

Относительные значения параметров δ_x в процентах вычисляют по формуле (41.129):

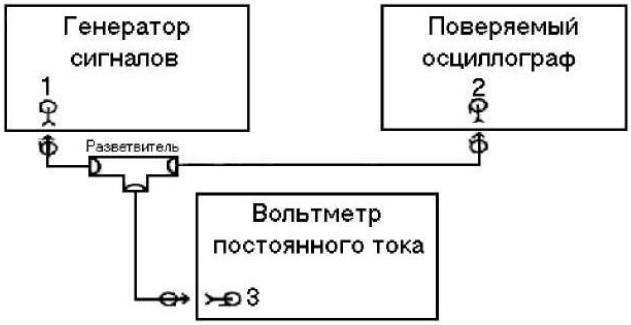
$$\delta_ò = \frac{\Delta A_ò}{À} \cdot 100, \qquad (41.12)$$

где ΔA_X — абсолютное значение параметра, единица напряжения или единица длины;

А — амплитуда изображения испытательного импульса, единица напряжения или единица длины.

Параметры переходной характеристики определяют для всех фиксированных значений коэффициента отклонения каждого канала вертикального отклонения при положительной или отрицательной полярностях испытательных импульсов и они не должны превышать значений, установленных в пункте 41.7.2.3.9.

41.7.2.3.8 Амплитудно-частотную характеристику снимают при помощи генератора сигналов и вольтметра переменного тока (рисунок 41.7.10). Поверяемый осциллограф переводят в режим внутреннего запуска. Устанавливают коэффициент отклонения, при котором высота изображения сигнала составляет 40—80 % рабочего участка экрана ЭЛТ по вертикали, частоту сигнала генератора, равную опорной частоте, значение которой установлено в пункте 41.7.2.3.9. Регулируя коэффициент развертки и синхронизацию, добиваются устойчивого изображения 8—10 периодов синусоидального сигнала на экране ЭЛТ. Фиксируют показания вольтметра. Изменяя частоту сигнала генератора и поддерживая регулировкой амплитуды показания вольтметра постоянными, измеряют амплитуду изображения синусоидального сигнала на экране ЭЛТ. Количество точек и дискретность изменения частоты должны соответствовать пункту 41.7.2.3.9.



1 – выход генератора сигналов; 2 – вход усилителя У; 3 – вход вольтметра переменного тока

Рисунок 41.13 – Снятие амплитудно-частотной характеристики

Параметры амплитудно-частотной характеристики (полосу пропускания и неравномерность в нормальном и расширенном диапазонах) определяют в соответствии с рисунком 41.14.

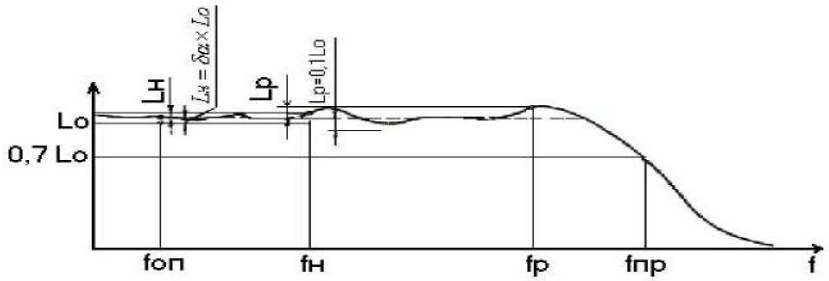
Относительно значения неравномерности $\delta_{ном}$ и $\delta_р$ в процентах вычисляют по формулам (41.13, 41.14):

$$\delta_{íîì} = \frac{l_í}{l_o} \cdot 100, \qquad (41.13)$$

$$\delta_ð = \frac{l_ð}{l_o} \cdot 100, \qquad (41.14)$$

где $l_н$, $l_р$ — абсолютные значения неравномерности, единица напряжения или единица длины;

$l_о$ — амплитуда изображения на опорной частоте, единица напряжения или единица длины.



foп – опорная частота; fн – нормальный диапазон; fp – расширенный диапазон; fпр – верхняя граница полосы пропускания; Lo – значение АЧХ на опорной частоте; Lн – абсолютное значение неравномерности в нормальном диапазоне; Lp – абсолютное значение неравномерности в расширенном диапазоне; δ_α – относительная погрешность коэффициента отклонения

Рисунок 41.14 - Определение параметров амплитудно-частотной характеристики

Параметры амплитудно-частотной характеристики определяют для всех фиксированных значений коэффициента отклонения каждого канала осциллографа. Они не должны превышать значений, установленных в пункте 7.2.3.9.

41.7.2.3.9 Операции поверки, содержащие ссылки на настоящий пункт, проводят в соответствии с требованиями нормативной документации (НД) на приборы конкретных типов.

41.7.3 Оформление результатов поверки

41.7.3.1 Результаты первичной поверки при выпуске из производства и ремонта осциллографов оформляют отметкой в паспорте.

41.7.3.2 На осциллографы, признанные годными при поверке в органах Госстандарта России, выдают свидетельство установленной формы.

41.7.3.3 Результаты периодической ведомственной поверки оформляют документом, составленным ведомственной метрологической службой.

41.7.3.4 Осциллографы, не удовлетворяющие требованиям настоящего стандарта, к выпуску и применению не допускают.

41.**8 Пример отчета по лабораторной работе**

Цель работы: Измерить напряжение диода в электромагнитном колебательном контуре при помощи осциллографа, класс точности которого равен 3. Найти СКО и доверительную границу НСП.

Сделав необходимое число измерений, результат оформить в виде таблицы 41.2.

Таблица 41.2 – Результаты измерений

Показания осциллографа, (В)	Погрешность, допустимая по НД, (В)	Среднее значение, (В)
28,10; 28,15; 28,18	0,1066	28,14

Находим среднее значение измеряемой величины по формуле:

$$\overline{x} = \frac{28{,}10 + 28{,}15 + 28{,}18}{3} = 28{,}14 \text{ В}, \qquad (41.15)$$

Вычисляем среднее квадратическое отклонение:

$$S(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(28{,}1 - 28{,}14)^2 + (28{,}15 - 28{,}14)^2 + (28{,}18 - 28{,}14)^2}{2}} = \qquad (41.16)$$

$$= \sqrt{\frac{0{,}0016 + 0{,}0001 + 0{,}0016}{2}} = 0{,}0406\ B,$$

Находим доверительную границу НСП результата измерений Θ(P) согласно РМГ 29 – 99:

$$\Theta(\mathrm{P}) = \pm\left|\Sigma\Theta_{\mathrm{i}}\right|, \qquad (41.17)$$

$$\Theta(\mathrm{P}) = \Delta_{\text{đđĺä.}} + \Delta_{\text{äî đ.}};,$$

$\Delta_{пред}$=2,132 *дел* · 0,05 = 0,1066 В

$\Delta_{доп} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 0{,}1066 = 0{,}00533$ В

Θ(P) = ±(0,1066+0,00533) = ± 0,1119 В

Вычисляем доверительную границу погрешности результата измерений:

$$\Theta(P)/S(x) = 0{,}1119 / 0{,}0406 = 2{,}756 \qquad (41.18)$$

$$\Delta P = K_{\Sigma}\left[\Theta(P) + \in P\right], \qquad (41.19)$$

где $K_{\Sigma} = \frac{\sqrt{1+\gamma^2}}{1+\gamma}$; $\gamma = \frac{\Theta(Đ)}{\sqrt{3}\cdot \hat{E}_{Đ}\cdot S(X)}$; здесь K_P = 1,3 при n =3; (41.20)

$$\gamma = \frac{0{,}1119}{\sqrt{3}\cdot 1{,}3\cdot 0{,}0406} = 0{,}1224; \qquad K_{\Sigma} = \frac{\sqrt{1+(0{,}1224)^2}}{1+0{,}1224} = 0{,}897;$$

$$\in (Đ) = Z_{p/2}\cdot S(x), \qquad (41.21)$$

где $Z_{p/2}$ = 1,414 при P = 0,95 и n = 3

$\in (P) = 1{,}414 \cdot 0{,}0406 = 0{,}0574;$

ΔP = 0,897· [0,1119 + 0,0574] = 0,152 В;

Результат измерений теперь можно записать следующим образом:

A = (28,14 ± 0,152) В

Вывод по проведенной лабораторной работе

В результате проведения лабораторной работы мы измерили напряжение диода, рассчитали СКО и определили, что осциллограф применён допустимо правильно, т.к. погрешность допустимая по НД = 0,1066 В, а погрешность данного прибора равна 0,152 В, с учетом предела допустимой погрешности для осциллографа классом точности 3 - = ±3 В.

41.9 Варианты и исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ по списку группы	Напряжение, (В)	№ по списку группы	Напряжение, (В)
1	75,3	17	60,1
2	73,5	18	59,0
3	71,5	19	59,9
4	75,1	20	58,0
5	70,2	21	58,9
6	72,0	22	57,9
7	69,5	23	57,7
8	68,5	24	58,7
9	67,5	25	59,6
10	66,5	26	59,7
11	65,6	27	56,9
12	64,5	28	56,8
13	63,5	29	56,7
14	62,5	30	56,6
15	61,5	31	56,5
16	60,5	32	55,9

41.10 Вопросы для самоконтроля

- Понятие "измерение", "методы измерения".
- Методы измерения магнитных величин.
- Основные параметры магнитно-мягких материалов.
- Индукционный метод измерения.
- Феррометрический метод измерения.
- Осциллографический способ измерения.
- Параметрический метод измерения.
- Классификация осциллографов по принципу действия.
- Основные элементы электромеханического осциллографа.

- Электронный осциллограф.
- Электронно-лучевой осциллограф.
- Виды осциллографов.
- Структурная схема осциллографа.
- Характеристика осциллографа-мультиметра С1-107.
- Работа осциллографа.
- Условия поверки осциллографа.
- Этапы поверки.
- Метрологические параметры, определяемые при поверке.
- Оформление результатов поверки.

12 Перечень лабораторных работ раздела 8:

Раздел 8 Измерение электромагнитных величин.
Лабораторная работа № 41 Осциллограф

13 Раздел 9. Измерение колебаний

13.1 Измерение колебаний механических величин

13.1.1 Моделирование механических колебаний

Рассмотрим процесс колебаний груза массы m веса P, подвешенного вертикально на упругой пружине, рисунок 9.1а, где изображены в комплексе и модель колебаний. В состоянии равновесия груз находится на расстоянии y_o от точки подвеса. Из рисунка ясно видно, что если оттянуть груз вниз на величину Δy, для этого необходимо приложить механическое воздействие, $\Delta y = y - y_o$, а затем отпустить груз, то он начнёт колебаться относительно равновесного положения y_o. Для изучения процесса колебаний необходимо описать его математически.

Для этого необходимо воспользоваться вторым законом И. Ньютона (произведение массы тела на ускорение равно сумме сил, действующих на тело).

В данном случае на груз действует сила веса P, направленная вниз, и сила упругости пружины, направленная вверх и равная произведению коэффициента упругости k на отклонение груза Δy от равновесного положения. Если обозначить ускорение груза через a_y, то можно написать уравнение движения его в виде:

$$m \cdot a_y = \mathrm{P} - k \cdot \Delta y; \qquad (13.1)$$

Решить это уравнение, значит, найти, как в процессе движения будут изменяться координата груза y, его скорость υ_y, ускорение a_y и каков будет период колебаний T.

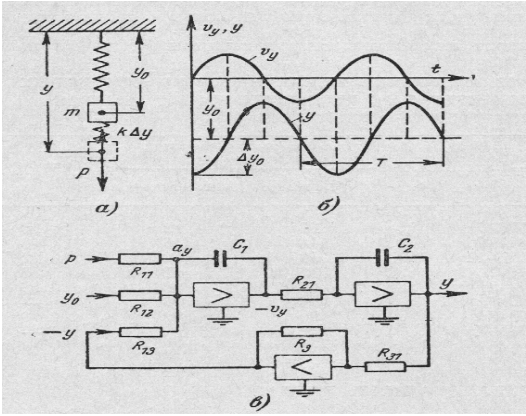


Рисунок 13.1 Моделирование механических колебаний
а) – механическая колебательная система с грузом и пружиной;
б) – графики изменения координаты y и скорости υ_y груза;
в) электронный аналог механической системы как модель процесса.

Задача, как правило, решается при конкретных значениях P, m, k, y_o и начальном значении отклонения механического воздействия Δy_o.

Выразив из уравнения движения ускорение:

$$a_y = \frac{P}{m} - \frac{k}{m} \cdot y + \frac{k}{m} \cdot y_o; \qquad (13.2)$$

легко видеть, что вычислить ускорение можно с помощью усилителя, на входы которого подаются электрические аналоги величин P, y_o и y, если последнюю считать известной. Если этот усилитель выполняет операцию интегрирования, то на его выходе можно получить электрический аналог скорости с обратным знаком, а именно - υ_y. Эту величину можно ещё раз проинтегрировать с помощью второго решающего усилителя и получить аналог координаты y, который по цепи обратной связи через блок перемены знака подаётся на вход первого усилителя.

Таким образом, схема решения поставленной задачи будет иметь вид, представленный на рисунке 13.1в.

Если принять все масштабные коэффициенты равными единице, то для элементов схемы справедливы следующие соотношения:

$$\frac{1}{R_{11}} \cdot \frac{1}{R_{11} \cdot C_1} = \frac{1}{m}; \quad \frac{1}{R_{12} \cdot C_1} = \frac{k}{m}; \qquad (13.3)$$

$$\frac{1}{R_{13} \cdot C_1} = \frac{k}{m}; \quad \frac{1}{R_{21} \cdot C_2} = 1; \quad \frac{R_3}{R_{31}} = 1; \qquad (13.4)$$

Регистрируя изменение напряжений на выходах решающих усилителей, можно получить графики изменения υ_y и координаты y, а по ним определить период колебаний T, рисунок 13.1б.

Рассмотренная схема позволяет моделировать колебания любой физической природы (механические, электрические, звуковые, ультразвуковые и т.д.), при условии, что они описываются аналогичными уравнениями.

Второй подход к механическим колебаниям - геометрические соображения.

Вместо того чтобы подвешивать груз на пружине или нити и заставлять его качаться, прикрепим груз к ободу вращающегося колеса. на первый взгляд не видно, как вращательное движение связано с колебательным, хотя можно заметить, что в обоих случаях груз регулярно возвращается в одну и ту же точку и повторяет своё движение с определённой частотой. Если наблюдать вертикальную проекцию перпендикулярно на плоскость или ось x вращающегося груза, то схожесть этих двух движение становится вполне понятной. Угловое положение груза задаётся углом $\Theta = \omega t$, где ω - угловая скорость. Положение проекции груза на ось x даётся величиной $x = r \cdot \sin \Theta = r \cdot \sin \omega t$.

На рисунке 13.2 это явление хорошо иллюстрируется.

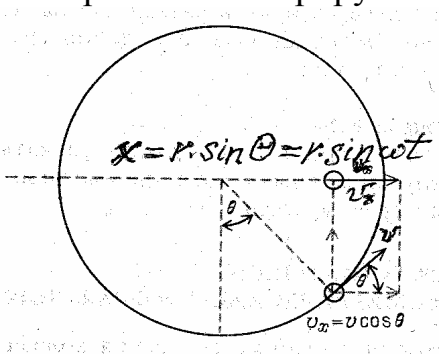


Рисунок 13.2 Проекция точки на ось вращающегося груза

Нетрудно заметить, что эти геометрические соображения автоматически как бы приводят колебания к синусоидальной форме зависимости положения груза от времени. Тангенциальная сила массы груза и скорость вращающегося груза всегда постоянна по модулю, но меняется по знаку – по направлению. Проекция вектора скорости равна $v_x = v \cdot \cos \Theta = v \cdot \cos \omega t = r \cdot \omega \cdot \cos \omega t;$ где $v = r \cdot \omega;$

Остаётся определить ускорение проекции груза, который вращается с постоянной угловой скоростью. Известно, что во всех случаях, когда на тело действует сила, подчиняющаяся закону $F = - kx$, оно совершает колебательное движение. Период колебания – время, за которое совершается полный цикл, - может быть найден из геометрических соотношений между вращательным и колебательным движениями. Ускорение при колебании $\alpha = -\omega v = - \omega^2 r \sin \omega t;$ А угловая скорость может быть выражена через вращение $2\pi f$ или $2\pi/T$. Радиус вращательного движения обычно равен амплитуде колебаний, которая выражается обычно обозначением буквы A, поэтому выражение ускорения можно переписать – $\alpha = - \omega^2 A \sin \omega t$; Центробежное смещение колеблющегося груза имеет вид $F=m\alpha=-kx;$ После подстановки имеющихся значений, можно получить преобразованные выражения: $m (- \omega^2 A \sin \omega t) = - k (A \sin \omega t);$ Здесь видно множитель $A \sin \omega t$ и знак минус, которые можно сократить, тогда имеем более короткое выражение $m \omega^2 = k;$, а из этого можно вычислить значение частоты и периода колебаний: $f = (1/2 \pi)\cdot\sqrt{k / m}; T = 2\pi \sqrt{m / k};$ Следует обратить внимание на

то, что в формуле периода колебания масса груза в числителе, следовательно, чем больше масса груза, тем больше его инерция и менее податлив он для усилия перемещения цикла колебания. Жесткость пружины ***k*** входит в знаменатель, поэтому сильная пружина имеет большее значение ***k*** и быстрее возвращает груз в положение равновесия по сравнению со слабой пружиной.

13.1.2 Третий подход к механическим колебаниям - подвешенный маятник.

Каким образом изменится выражения, если подвесить груз на гибком тросе и заставить его качаться как маятник? Теперь уже нет никакой пружины. Удовлетворяется ли в этом случае требование $F = -kx$? Покажем на рисунке силы, действующие на груз маятника:

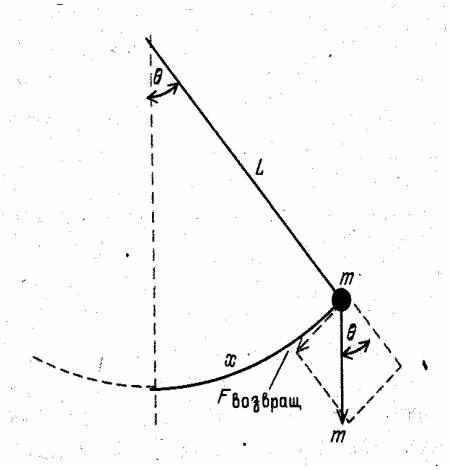


Рисунок 13.3 Возвращающая сила груза массой m.

Сила тяжести разбивается на две составляющие – радиальную, направленную вдоль троса, и тангенциальную, направленную по линии движения. Тангенциальная составляющая силы сообщает грузу ускорение в направлении положения равновесия: $F_{возвращ} = -mg \sin \Theta = -mg \sin (x/L)$; Однако это не то соотношение, которое было бы необходимо. Вместо того чтобы получить возвращающую силу, пропорциональную смещению, взятому со знаком минус, мы получили возвращающуюся силу, пропорциональную взятому с обратным знаком синусу смещения параметра отклонения к длине троса маятника. Если в этом случае взять предположение малости углов отклонения маятника при которых будет обеспечиваться равенство: $\sin \Theta \approx 0$; , то тогда:

$$F_{возвращ.} \approx -mg\,(x/L) = -(mg/L)\,x; \quad k = mg/L; \quad F_{в.} = -kx;$$

В результате этих рассуждений ясно, что закон изменения силы имеет тот же вид с коэффициентом пропорциональности. Период колебания маятника при малых углах отклонения будет иметь следующий вид:

$$T = 2\pi \sqrt{m / k} = 2\pi \sqrt{m / mgL} = 2\pi \sqrt{L / g};$$

Следует обратить внимание, что период колебания маятника не зависит от массы груза, если не учитывать массу троса подвеса, считая её бесконечно малой величиной по сравнению с массой груза. Однако, если такая необходимость возникнет, то тогда будет необходимо учитывать моменты инерции и центры масс конструкции маятника.

13.1.3 Простые гармонические колебания и другие виды колебаний.

Во всех случаях, когда система может колебаться около равновесного положения и действующая на неё сила пропорциональна смещению от центра колебаний, движение является синусоидальным, и оно называется простым гармоничным колебанием (ПГК). Простое оно потому, что прост закон изменения силы и потому, что происходит только с одной частотой. А гармоничным оно называется в том смысле, что происходит от музыкальных теорий и инструментов в музыке, так как основная нота может быть основой для **гармонических обертонов.**

КОЛЕБАНИЯ - движения или процессы, обладающие той или иной степенью повторяемости. Колебания могут быть периодическими, когда в результате нарушения состояния равновесия возникают изменения состояния физической системы, повторяющиеся через равные промежутки времени, называемые периодом колебаний, и апериодическими, когда нет полного повторения процесса изменения. Различают механические колебания, (например, колебания маятника, струны, моста, корабля на волне, плотности и давления воздуха при распространении звука и т.д.), электромагнитные колебания (например, колебания электрических и магнитных полей, возбуждающиеся в колебательном контуре, распространяющиеся в виде волн в пространстве, в волноводах и др.) и их комбинации. Колебания различной природы подчиняются общим закономерностям. Простейшим видом колебаний являются гармонические колебания. Эта выдержка из энциклопедического словаря / 41/.

13.2 Измерение колебаний электрических величин

Рассмотрение измерений электрических колебаний подробно проводится в седьмом разделе при изучении измерений напряжений и токов переменных значений. Поэтому в данном разделе приходится переадресовывать материал в раздел №7 и в раздел № 8,10. В разделах 8 и 10 рассматривается подробно вид колебаний в виде электромагнитных явлений и частоты проявляющихся в различных технических проблемах деятельности человеческого общества и в приборостроительной индустрии. Так для изучения измерений электротехнических колебаний создаются соответствующие измерительные генераторы, которые могут быть генераторами гармонических колебаний, негармонических - специальных колебаний, звуковых генераторов, сверхвысокочастотных генераторов, генераторов ультразвуковой частоты, акустические генераторы, генераторы частот настройки часов и т.д.

13.2.1 Колебательный контур - замкнутая электрическая цепь, содержащая катушку с индуктивностью *L,* конденсатор с ёмкостью С и электрическое сопротивление *R,* в которой могут возбуждаться электрические колебания. В колебательном контуре дважды за период происходит перекачка энергии из электрического поля конденсатора в магнитное поле катушки индуктивности и обратно. При этом часть энергии теряется на преодоление сопротивления проводников цепи *R,* переходя в тепло, что приводит к затуханию колебаний. Если *R* мало, то затухание слабое и частота колебаний колебательного контура близка к частоте собственных колебаний: $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$;

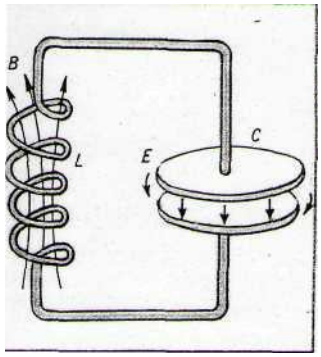


Рисунок 13.4 Колебательный контур: L - индуктивность; C - ёмкость; E - электрическое поле; B - магнитное поле.

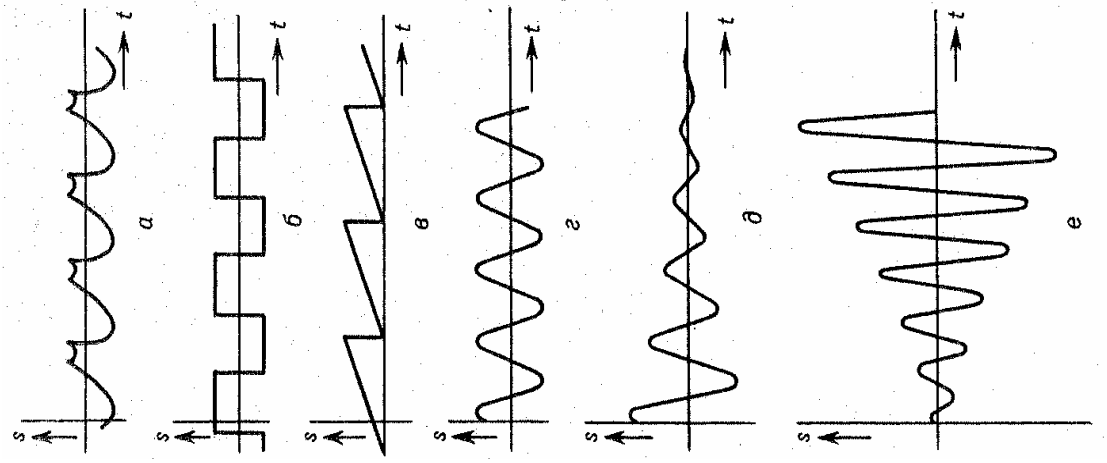


Рисунок 13.5 электрические колебания: а) Периодические сложной формы; б) Прямоугольные; в) Пилообразные; г) синусоидальные; д) Апериодические (затухающие); е) Нарастающие; Здесь: S - смещение; t - время.

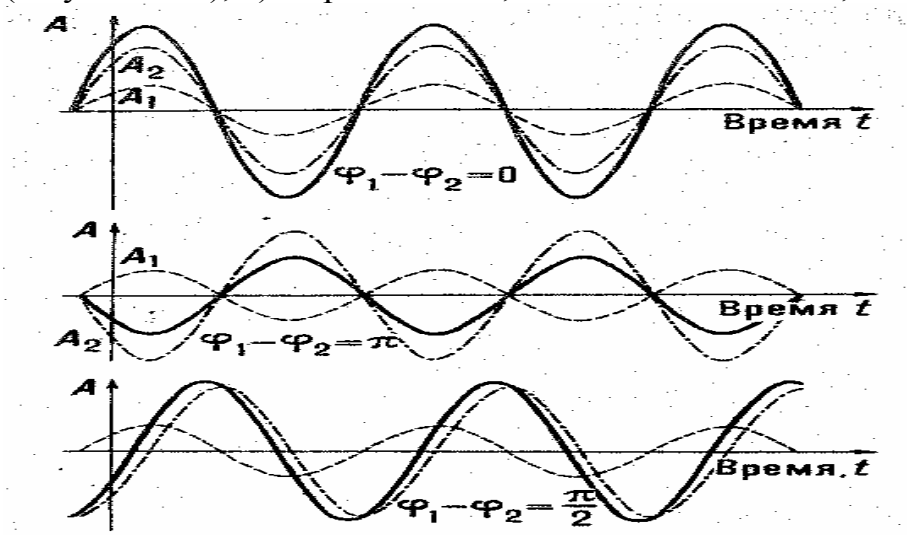


Рисунок 13.6 Когерентность колебаний: Сложение двух гармонических колебаний (пунктир) с амплитудами A_1 и A_2 при различных разностях фаз (φ_1;φ_2).

Результирующее колебание - сплошная линия.

13.2.2 Когерентность - (от латинского слова cohaerens, род. п. cohaerentis - пребывающий во взаимной связи), согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов (любой природы), проявляющееся при их сложении. Колебания называются когерентными, если разность

их фаз остаётся постоянной (или закономерно изменяется) во времени. Когерентность - необходимое условие интерференции волн. В более широком смысле понятие - «когерентность» применяется в различных областях физики для описания коррелированного (согласованного) поведения большого числа частиц.

13.2.3. Демпфирующее устройство.

В электрических измерительных приборах (системах) применяются тормозящие устройства - демпферы, существуют и в механических системах пружинные устройства с демпфированием частоты колебаний, так называемые «успокоители колебаний». Этот процесс имеет теоретический аспект, который будет рассмотрен ниже, после показа иллюстрирующих рисунков.

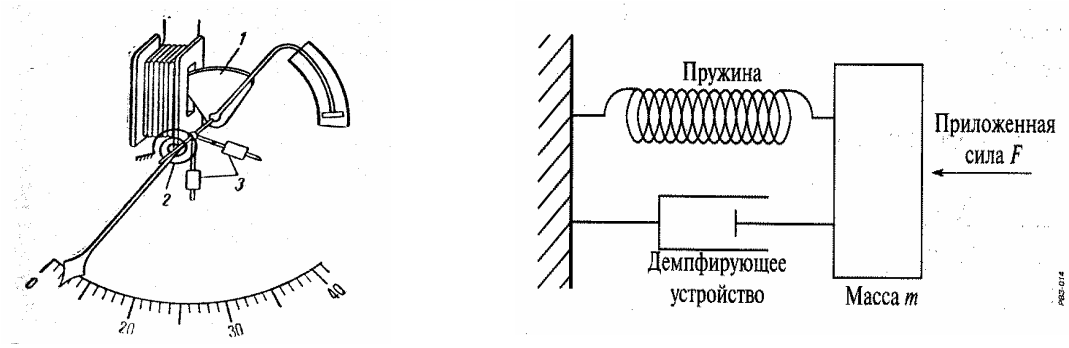


Рисунок 13.7 Демпфирующее устройство прибора или системы успокоения.

Многие системы (механические, электрические, радиоэлектронные и т.д.) второго порядка можно свести к системам, имеющим три основных элемента: массу *m,* пружину и демпфирующее устройство. Результирующая сила, действующая на массу, равна разности приложенной силы *F,* силы упругости пружины (либо от ее растяжения, либо от сжатия) и силы демпфирующего устройства. Сила упругости от сжатия и растяжения пружины пропорциональна изменению ее длины ***x,*** т.е. ее можно представить в виде ***kx,*** где ***k*** - коэффициент жесткости пружины. В качестве демпфирующего устройства можно представить себе конструкцию, состоящую из поршня, двигающегося в цилиндре, заполненном маслом. Тогда сила от демпфирующего устройства будет пропорциональна скорости перемещения поршня, которую можно представить в виде ***c(dx/dt)***, где ***c*** - константа. Таким образом, результирующую силу ***R,*** действующую на массу ***m***, можно представить как:

$$R = F - kx - c\frac{dx}{dt}; \qquad (13.5)$$

По второму закону Ньютона эта сила заставляет массу двигаться с ускорением. Так как ускорение - это производная скорости *(dv/dt),* а скорость - это производная перемещения *(dx/dt),* то ускорение - это вторая производная перемещения $(d^2 x/dt^2)$. Следовательно, будем иметь следующее выражение:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + c\frac{dx}{dt} + kx = F; \qquad (13.6)$$

В случае отсутствия демпфирующего устройства масса, прикрепленная к концу пружины, будет свободно колебаться с собственной частотой $\omega_п$, определяемой в виде:

$$\omega_{d'} = \sqrt{\frac{k}{m}}; \qquad (13.7)$$

Если колебания затухают с коэффициентом затухания ζ, определяемым как:

$$\acute{r} = \frac{c}{2\sqrt{(mk)}}; \qquad (13.8)$$

После такого преобразования уравнение приобретает следующий вид:

$$\frac{1}{\omega_{d'}^2}\cdot\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{2\zeta}{\omega_{d'}}\cdot\frac{dx}{dt} + x = \frac{F}{k}; \qquad (13.9)$$

Теперь можно считать, что теоретические предпосылки по колебаниям достаточно исчерпаны.

Для организации лабораторных работ по разделу № 8 измерения электромагнитных величин на кафедру МСиС ТФ ГОУ ОГУ приобретена лабораторная установка «Методы измерения электрических величин МСИ 6», - паспорт МСИ 6 ПС от Министерства образования РФ ФГО ООО «ИНТОС+» заводской № 009 по ТУ 9.461 – 2004 дата изготовления и упакована для отправки в ГОУ ОГУ на кафедру МСиС ТФ 15.09 2008 года:

1 Назначение

Установка лабораторная «Методы измерения частоты МСИ 6» (далее - установка) является частью учебно-лабораторного комплекса, используемого для проведения лабораторных работ при изучении дисциплины «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для специальности 200503 – Стандартизация и сертификация и 220501 – Управление качеством.

Установка должна эксплуатироваться в помещениях при температуре воздуха от+ 10°Сдо + 35°С, относительной влажности воздуха до 80 % при 25 ° С.

2 Основные технические данные

Установка предназначена для формирования частот заданного спектра в электрической и оптической формах, измерение частоты промышленными приборами

2.1 Питание от сети переменного тока:	
- напряжением, В	220 ± 22
- частотой, Гц	50 ± 0, 4
2.2 Потребляемая мощность, В А	не более 5
2.3 Характеристики	
2.3.1 Максимальное значение формируемой частоты, кГц	5,0 ± 0 , 5
2.3.2 Минимальное значение формируемой частоты, кГц	1 , 0±0 , 1 5, 0
2.3.3 Максимальное значение напряжения электрического сигнала, В	± 1 , 0 0, 5 ± 0,
2.3.4 Минимальное значение напряжения электрического сигнала, В	2
2.5 Габаритные размеры установки, мм	
длина	не более 200
ширина	не более 150
высота	не более 100
2.6 Масса установки, кг	не более 1, 0
2.7Средняя наработка до отказа, ч	не менее 1000
2.8 Средний срок службы до списания, лет	10

42 Лабораторная работа № 42 ХРОНОМЕТР

(Демонстрационная практическая работа)

Цель работы

Ознакомиться с методами и средствами измерения различного рода колебаний и раздела № 9 «Теоретические предпосылки».

Знакомство с конструкцией и назначением хронометра, приобретение навыков в обращении с ним.

42.1 Исторические справки по приборам измерения времени - хронометрами

Хронометр – точные механические часы, сертифицированные Палатой мер и весов Швейцарии, и сопровождающиеся официальным сертификатом этого органа о соответствии принятым нормам. На каждые часы выдается сертификат с данными теста:

- Механический хронограф – секундомер с автоподзаводом или ручным заводом. Достаточно сложный механизм, особенно если он многофункционален и «уложен» в тонкий корпус. Как правило, дорогие часы. Изобретение хронографа относится к 1720 году, когда английский часовщик по фамилии Грэхэм (Graham) создал первые часы, которые позволили измерить отрезок с точностью 1/16 секунды. В 1831 году был изобретен сплит–хронограф – часы, с секундомером, имеющие функцию промежуточного финиша. Хронограф, принципы работы которого остались неизменными до наших дней (включение, остановка и возвращение к нулю), был разработан Адольфом Николем (Adolphe Nicole) в 1862 году. С того времени до середины нашего века было сделано около 400 изобретений, касающихся усовершенствования работы механизма хронографа. Широкое распространение хронографы получили с развитием аэронавтики и спорта. Благодаря повышению требований к хронографам был изобретен хронограф с функцией Fly–back. Для осуществления воздушной навигации на маленьких самолетах используются компас и часы. Двигаясь в воздушных коридорах, пилот должен следовать в заданном направлении по компасу в течение заданных промежутков времени. При смене курса ему необходим новый отсчет времени. При больших скоростях полета и низкой высоте требуется максимально быстрое переключение хронометра с минимальным количеством движений. Для этого был изобретена функция fly–back, позволяющая производить сброс показаний хронографа одновременно с началом нового отсчета. При этом используется только одно нажатие кнопки, в отличие от стандартного хронографа, где требуется два нажатия. Такие хронографы впервые стали производиться для германской авиации в 30–ые годы швейцарскими фирмами Hanhart и Tutima. Приблизительно в 1910 году создали ручной хронограф. Вообще, развитие наручных часов и хронографов, как типа наручных часов, шло друг за другом. Инновации в производстве наручных часов достаточно быстро появлялись и в производстве хронографов. Появлением водонепроницаемых часов в 1930 году привело к производству водонепроницаемых хронографов в 1933. То же самое произошло и при появлении антимагнитных часов. Хотя были и исключения. В 30–40х годах широкое развитие получили часы с автоподзаводом. Но совмещение автоподзавода с хронометром и, тем более, серийное производство автоматических хронографов было невозможно из–за существовавших тогда технических проблем. Например, Lemania = один из крупнейших производителей часовых механизмов, разработала автоматический хронограф уже в 1947 году, но серийное производство его так и не начиналось. В результате в течение следующих 20 лет, до 1965 года, существенных изменений в производстве автоматических хронографов не произошло.

В 1965 году была создана Ассоциация из компаний Buren–Hamilton, Breitling, Dubois–Depraz и Heuer–Leonidas для решения проблемы совмещения механизма хронографа с механизмом часов с автподзаводом. В результате в 3 марта 1969 году был презентован первый автоматический хронограф, презентация которого одновременно состоялась в Женеве, Нью–Йорке, Токио, Гонг–Конге и Бейруте. Новый Caliber 11 назвали Chronomatic (от CHRONOgraph и autoMATIC). Он работал с частотой 19 800 полуколебаний в час. Chronomatic выпускался с 1969 – 1972 г. Затем был изобретен Caliber 12 с частотой 21 600 полуколебаний в час. Пример – Жан Марсель с функцией FLY BACK – Самая важная функция этого

хронографа называется "обратный полёт" ("retour en vol" или по–английски "fly back"), которая позволяет одним нажатием второй (нижней) кнопки хронографа вернуть центральную секундную стрелку к нулю и снова начать отсчёт. В обычном хронографе эта операция проходит в два этапа: сначала останавливают стрелку с помощью кнопки остановки, а затем другой кнопкой заставляют её вернуться в начальное положение. Чтобы вновь начать замеры, необходимо ещё раз нажать первую кнопку. Таким образом, для нового измерения требуется три нажатия на кнопки. При использовании хронографа с функцией "обратный полёт" стрелка возвращается к нулю и немедленно начинает новые замеры при единственном нажатии на кнопку, расположенную внизу. Эта функция необходима при проведении нескольких различных, следующих один за другим измерении, во время которых нежелательны задержки между этими измерениями отрезков времени;

- Виброграф - аппарат, используемый с 1933 г. для определения качества хода часов за короткий период времени (1-3 мин). Более длительный период наблюдения позволяет выявить дефекты в механизме часов: неравномерность работы заводной пружины и т.п.

42. 2 Устройство и принцип работы кварцевых часов

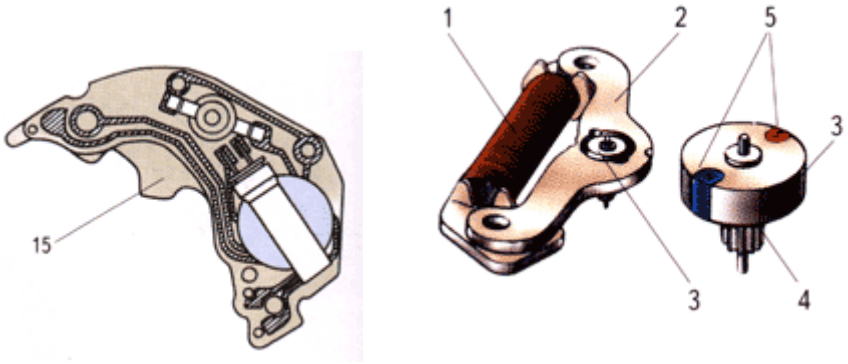
За несколько столетий человек смог значительно усовершенствовать наручные механические часы. Путем создания различных сложных по конструкции устройств удалось добиться точности хода до ± 0,005 секунд в сутки. Но такие часы были сложны в изготовлении и, как следствие, очень дороги.

Электричество, все сильнее вторгавшееся во все области жизни человека, не могло обойти часовое дело. С появлением кварцевых технологий высокоточные часы стали доступны каждому жителю Земли, а качество часов стало зависеть не столько от мастерства и опыта людей, сколько от точности работы автоматических линий. Сегодня абсолютное большинство выпускаемых в мире часов относятся именно к кварцевым. Как они устроены, как работают и почему все больше людей отдают предпочтение именно кварцевым часам?

42.2.1 В двух словах

Основными элементами кварцевых часов являются электронный блок и шаговый электродвигатель. Электронный блок раз в секунду посылает импульс двигателю, а тот поворачивает стрелки. Очень высокую стабильность частоты вырабатываемых импульсов, а значит, и высокую точность хода, обеспечивает кристалл кварца, из-за которого часы и получили свое название. Батарейка, питающая электронный блок и двигатель, рассчитана на несколько лет работы и избавляет от необходимости заводить часы в течение всего этого срока. Получается уникальное сочетание высокой точности и удобства в использовании. Иногда вместо циферблата со стрелками используется цифровой дисплей. Такие часы у нас принято называть электронными, но во всем мире их называют кварцевыми часами с цифровой индикацией. Это название подчеркивает, что, во-первых, основой часов является кварцевый генератор, а во-вторых, информация о времени в них отображается в виде цифр. По сути, кварцевые часы являются мини-компьютером.

Запрограммировав соответствующим образом микросхему, их легко превратить в многофункциональное устройство: хронограф, секундомер, добавить к ним будильник и т.д. Причем, в отличие от механических часов, их стоимость при этом возрастает не так сильно. На рисунке 42.1 показан принцип работы кварцевых часов.

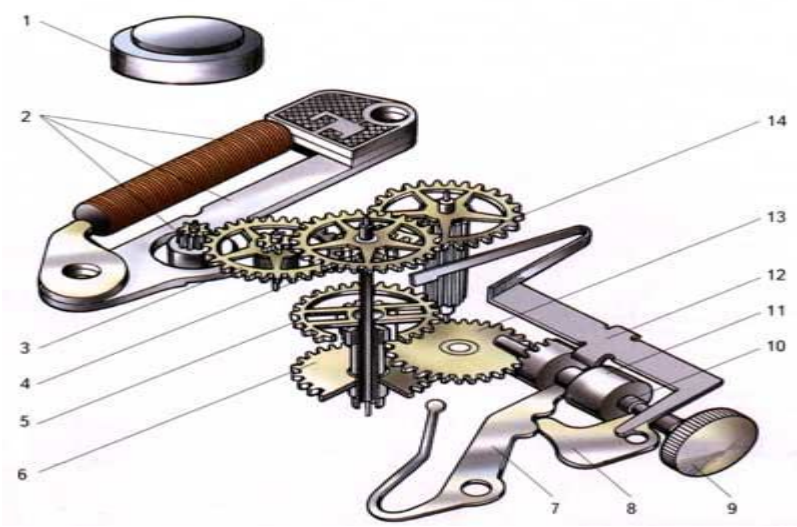


1. Катушка
2. Стартор
3. Ротор
4. Триб ротора
5. Магниты

Рисунок 42.1 – Принцип работы кварцевых часов

42.2.2 Зачем часам кристалл

Кристалл кварца обладает уникальными свойствами: при сжатии он порождает электрический импульс, а при воздействии электрического тока кварц сжимается. Таким образом, кристалл можно заставить сжиматься – разжиматься, т.е. колебаться, под воздействием электрического тока. Подбором размеров кристалла добиваются частоты резонанса 32768 герц.



1 Источник питания; 2 Шаговый двигатель; 3 Передаточное колесо;
4 Секундное колесо; 5 Центральное колесо; 6 Часовое колесо;
7 Рычаг кулачковой муфты; 8 Переводной рычаг; 9 Переводная головка;
10 Переводной вал; 11 Кулачковая муфта; 12 Тормозной рычаг;
13 Минутное колесо; 14 Промежуточное колесо; 15 Блок кварцевого генератора.

Рисунок 42.2 - Кварцевые часы на основе кристалла

Электронный блок кварцевых часов состоит из двух частей. Одна часть, генератор, вырабатывает электрические колебания, которые стабилизируются кварцевым кристаллом на его резонансной частоте. Таким образом, мы имеем генератор электрических колебаний, причем частота этих колебаний очень стабильна. Остается эти равномерные колебания превратить в равномерное же движение стрелок. Генератор вырабатывает 32768 электрических колебаний в секунду. Это примерно в 10000 раз больше, чем число колебаний баланса в обыкновенных часах. Ни одно механическое устройство не может работать с такой скоростью. Поэтому другая часть электронной схемы, называемая делителем, преобразует эти колебания в импульсы частотой 1 герц. Эти импульсы подаются на обмотку шагового электродвигателя. Двигатель состоит из статора, неподвижно закрепленной на нем катушки с обмоткой и ротора - постоянного магнита, насаженного на ось. При прохождении через катушку электрического импульса возникает магнитное поле, которое поворачивает ротор на пол-оборота. Ротор через систему шестерен вращает стрелки.

42.2.3 Сколько же прослужит "кварц"?

Колесный механизм у кварцевых часов имеет тот же ресурс, что и у механических. Очень долго прослужит и шаговый двигатель. Сегодня можно встретить работоспособные радиоприемники 20-х годов, т.е. ресурс электронных компонентов также велик и до конца еще не изучен. Поэтому, теоретически, хорошие кварцевые часы по долголетию не должны уступать механическим. Статистики по "долгожительству" кварцевых часов пока не набрано, ведь они появились всего 30 лет назад. Но многие электронно - балансовые часы, выпущенные лет 40 назад, прекрасно ходят и по сей день. С другой стороны, 100 лет назад часы передавали по наследству потому, что это была чрезвычайно редкая и дорогая вещь. Те времена давно прошли, сегодня все чаще мы покупаем новую вещь не потому, что старая испортилась, а потому, что она морально устарела. А срок, необходимый для морального устаревания, кварцевые часы «выхаживают», доставляя владельцу минимум хлопот. В нашей стране механические часы пока популярнее кварцевых. Но, по прогнозам зарубежных специалистов, в ближайшие годы ситуация будет резко меняться и через 4 - 5 лет доля кварцевых часов составит не менее 80% рынка.

42.2.4 Всё о хронографах - Как это работает?

42.2.4.1 Хронограф представляет собой секундомер, встроенный в часы и работающий за счет основного механизма. Он позволяет измерять промежутки времени при помощи минутного и часового (часовой счетчик встречается далеко не на каждых часах) счетчиков, а также центральной секундной стрелки, которую можно легко запустить, остановить или вернуть в исходное положение. Существуют различные типы хронографов - простые и суммирующего действия, одно- и двухстрелочные (с "догоняющей" стрелкой или Сплит - хронографы).

42.2.4.2 Простые хронографы имеют одну кнопку управления. При первом нажатии секундная и минутная стрелки приходят в движение и начинают отсчитывать время. При втором нажатии секундомер останавливается и фиксирует время, прошедшее между первым и вторым нажатием. При третьем нажатии кнопки обе стрелки возвращаются в исходное "нулевое" положение. Обычно кнопка совмещается с заводной головкой.У хронографов **суммирующего действия** - две кнопки. Первая запускает и останавливает секундомер. Количество пусков не ограничено, однако, при последней остановке хронограф фиксирует суммарную продолжительность всех промежутков времени. Вторая кнопка служит для сброса показаний секундомера. Она может сработать только при остановленном секундомере. Даже довольно простые хронографы имеют очень сложный часовой механизм. Конструктивно хронограф - это колесный механизм с рычажным управлением. Колеса имеют такие мелкие зубья, что при разглядывании невооруженным глазом кажутся просто шероховатыми. Поэтому часовщики называют их "бархатными". (Это относится только к секундному хронографному колесу.)

Рисунок 42.3 – Внешний вид кварцевых часов (крышка снята)

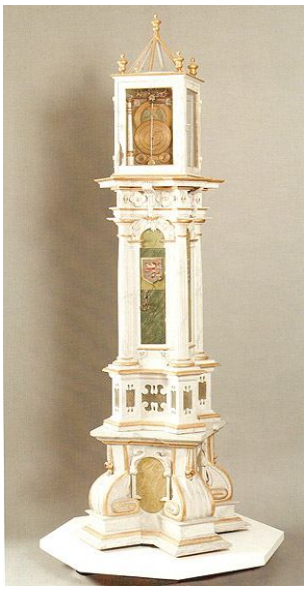
Обычно шаг зубьев в нем в 2 - 3 раза больше, чем в сопряженном с ним колесом. Причем форма зубьев у них в виде пилы. Это сделано для уверенного зацепления колес при пуске, а также для снижения пусковой погрешности. Дальнейшее увеличение шага зубьев натыкается на технологические сложности. Своего рода центр управления хронографа, отвечающий за координацию действий, вызываемых нажатием кнопок, - это колонное колесо. Оно обеспечивает точный запуск, остановку и возврат в начальное положение секундной стрелки хронографа, а также стрелок часового и минутного счетчиков. Общий вид часов с хронографом зависит от количества вспомогательных циферблатов. Их может быть два, три и даже четыре, причем один из них - боковой - показывает секунды текущего времени. По завершении полного оборота и возвращении центральная секундная стрелки в положение "12 часов" стрелка счетчика минут перескакивает на следующее деление. (Минутные циферблаты накопителей обычно бывают на 30, 45 или 60 минут.) Более сложные хронографы имеют кроме минутного дополнительный часовой циферблат. Это дает возможность измерять отрезки времени продолжительностью до 12 часов. Традиционно, если хронограф запущен, то несвоевременное обнуление счетчиков может привести к поломке механизма. Механизм Flyback (или Retour-en-vol), напротив, сделан таким образом, что обнуление возможно в любой момент. Достаточно нажать одну из двух кнопок, и показания счетчиков будут сброшены. Если же ее отпустить, то хронограф тут же начнет новый отсчет. Таким образом, отпадает необходимость в дополнительных нажатиях кнопок, отвечающих за функции "стоп" и "сброс". (Blancpain и Lange Datograph). Механизм сплит-хронографа, называемого во Франции "rattrapante", расширяет набор функций обычного хронографа. Измерение двух и более событий, начавшихся одновременно, но имеющих разную длительность. Это могут быть

полезным, например, в авто-, вело- и прочих гонках. В сплит-хронографах центральных секундных стрелок - две. С помощью специальной кнопки стрелка может быть остановлена столько раз, сколько нужно, и снова запущена "с нуля", в то время как стрелка хронографа продолжает, не прерывая, своё движение.

42.3 Хронограф и хронометр

Термины хронограф и хронометр часто путают и используют без разбора, хотя они обозначают два разных типа часов. Термин хронометр относится к часам, выдержавшим ряд строгих испытаний, которые строго регламентированы протоколами официального швейцарского института хронометрии (Central Officiel Swiss des Chronometres - COSC). Вследствие повышения качества и точности наручных часов эти правила корректируются из года в год. Хронограф также может получить "звание" хронометра, если он отвечает установленным стандартам. Тогда на циферблате (или на корпусе) появится надпись officially certified chronometer (официально сертифицированный хронометр).

42.4 Маятниковые часы



Пожалуй, самым значительным шагом вперед в истории измерения времени было введение механических часов с колесиками, которые с XII века начали устанавливать на башнях церквей. В качестве приводного механизма в них использовались грузы, укрепленные на металлической цепи. При опускании груза цепь сматывалась и вращала цилиндр, соединенный с системой колес и стрелкой. В XIV веке механические башенные часы использовались повсеместно, а в 1657 году голландец Христиан Гюйгенс построил первые маятниковые часы. Еще в 1583 году великий итальянский физик Галилей открыл, что полное качание маятника (вперед и назад) всегда происходит за одно и то же время, т.е. маятник идеально задает такт для часов. Можно, например, изготовить такой маятник, одно колебание которого продолжается ровно секунду.

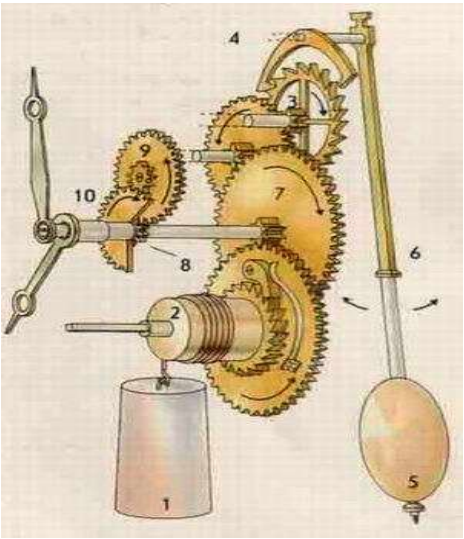


Рисунок 42.4 - Пример декоративных башенных часов.

Рисунок 42.5 – Маятниковые часы

Если какое – либо устройство подсчитает число колебаний маятника с того момента, как он был запущен, то можно узнать, сколько секунд прошло. Вот только как осуществить на практике эту идею? Почти все маятниковые часы сконструированы следующим образом: в часовом механизме, который вы видите на рисунке 42.5, груз 1 с помощью троса через валик 2

приводит в движение систему колес. Этот груз обеспечивает энергию для часов. Усилие через несколько колесных пар передается на тормозное колесико 3. Проворачивание часового механизма тормозится в результате взаимодействия тормозного колесика 3 и анкера 4 и регулируется маятником 5. Тормозное колесико будет продвигаться дальше лишь в том случае, если маятник приведет анкер в такое положение, когда он отпустит тормозную шестеренку. Одновременно другой конец анкера проходит в пространство между шестеренками и тем самым ограничивает движение тормозного колесика 3 на половину длины зубчика. Теперь, когда маятник будет совершать обратное движение, зубчик тормозной шестеренки надавит на анкер и через стержень 6 передаст усилие на маятник. Маятник при этом получает небольшую дополнительную энергию, что компенсирует имеющиеся у него потери на трение. Эта игра повторяется при каждом движении маятника. Таким образом, тормозное колесико движется в такт колебаниям маятника! Через несколько шестеренок оно соединено с минутной шестеренкой 7. Скорости промежуточных шестеренок рассчитаны таким образом, чтобы минутная шестеренка проворачивалась один раз в час, т.е. со скоростью большой стрелки, соединенной с минутной шестеренкой. И, наконец, шестеренки 8, 9 и 10 служат для того, чтобы маленькая стрелка двигалась в 12 раз медленнее, чем большая. Комбинацию из стрелок 8, 9 и 10 называют также стрелочным механизмом. Можно сказать, что описанные здесь простые маятниковые часы представляют собой измерительное устройство для подсчета числа колебаний маятника. За одну секунду маятник один раз качнется вперед – назад. Это значит, что полному вращению большой стрелки соответствуют 3600 колебаний, другими словами, когда маятник качнулся 3600 раз, прошло 3600 секунд, или 60 минут.

Рисунок 42.6 – одна из разновидностей маятниковых часов

42.5 Особенности устройства и ремонта механических часов сложных конструкций

Крупногабаритными часами считаются настольные, настенные и напольные часы. Важной особенностью механизма крупногабаритных часов является наличие двух платин — передней и задней, между которыми располагается колесная система. Как правило, платины таких часов имеют прямоугольную форму. Кроме того, в них проделаны большие смотровые отверстия. В крупногабаритных часах может быть использован как пружинный, так и гиревой двигатель. Настольные часы обычно выпускают с пружинным двигателем и с балансовым регулятором хода. Пружинный двигатель применяется и для настенных часов (часы с гиревым двигателем — «ходики» — сейчас весьма редки). В качестве регулятора хода

настенных часов употребляются как маятники, так и балансы. Для напольных часов применяются гиревой двигатель и маятниковый регулятор.

42.6 Маятниковые часы

Часы, в механизме которых используется маятниковый регулятор, называются маятниковыми. В зависимости от вида двигателя маятниковые часы подразделяются на гиревые и пружинные. Маятниковые часы могут быть различных размеров и конструкций, простые и сложные, например с такими дополнительными устройствами, как бой, кукушка. Самой простой конструкцией маятниковых часов являются часы - ходики с гиревым двигателем показанные на рисунке 42.7.

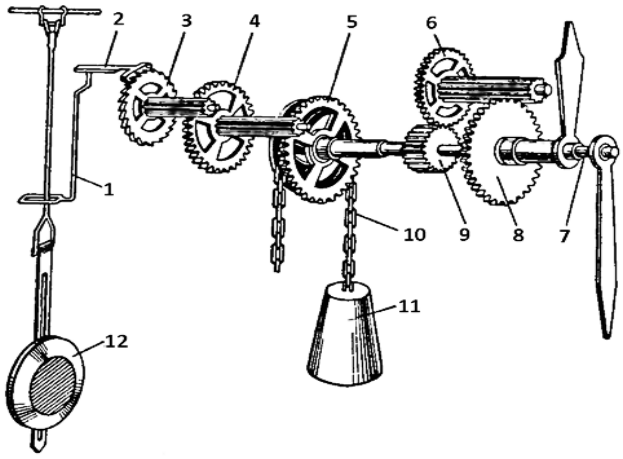


Рисунок42.7 Кинематическая схема часов с гиревым двигателем: 1 - поводок; 2 - скоба; 3 - колесо анкерное; 4 - колесо промежуточное;5-колесо централь-ное; 6 - колесо вексельное с трибом; 7 - ось минутного триба; 8 - колесо часовое; 9 - триб минутной стрелки; 10 - цепь; 11 - гиря; 12 – маятник.

Гиря (11) надета на цепь (10), которая, в свою очередь, закреплена на металлической звездочке, находящейся за колесом. Для того чтобы цепь не могла соскочить со звездочки, ее закрепляют двумя боковыми шайбами и трехлепестковой пружиной, выступающей в качестве запирающей собачки. В целом весь этот узел называется блочком. Блочок установлен так, чтобы свободно вращаться на втулке центрального колеса (5). Колесо неподвижно закреплено на оси триба минутной стрелки (9). Сама минутная стрелка насажена на конец триба. Когда гиря опускается, цепь вращает звездочку по часовой стрелке. Вместе с ней вращается и весь блочок. Согнутые лепестки пружины попадают в окна центрального колеса (5), и колесо начинает вращаться по часовой стрелке. Вместе с центральным колесом вращается и ось (7) с минутной стрелкой. Ось делает один оборот в час. Чтобы начало двигаться часовое колесо, движение передается сначала на триб минутной стрелки (9), затем на вексельное колесо (6) и его триб. Число оборотов часового колеса (8) в 12 раз меньше числа оборотов триба минутной стрелки. На втулку часового колеса насаживается часовая стрелка. Центральное колесо приводит в движение триб промежуточного колеса (4), оттуда движение передается на триб анкерного колеса (3), а с него — на скобу (2). Скоба предназначена для поддержания колебаний маятника (12). Импульсы на маятник она подает через

поводок (1). Помимо этого, скоба периодически затормаживает и освобождает анкерное колесо. Когда вы поднимаете гирю, то звездочка, а вслед за ней и весь блочок начинают вращаться против часовой стрелки. В этом случае трехлепестковая пружина просто скользит своими лепестками по поверхности спиц центрального колеса.

42.7. Осциллографический способ отображения колебаний

Другими способами отображения колебаний служат осциллографические методы визуального и измерительного характера регистрации механических или электрических частотных сигналов, а также колебательных процессов.

Допустим, калибровочные метки известной частоты наносятся на изображение сигнала путем модуляции яркости луча, т.е. подачи на сетку Электронной Лучевой Трубки осциллографа напряжения известной частоты f_0, $T_0 = 1/f_0$. При этом $T_{сиг н} = nT_0$, где n - количество калибровочных меток.

Существующие способы повышения точности этого метода также используются в цифровых осциллографах. В некоторых случаях это позволяет получить погрешность менее 1 %.

В некоторых случаях сравнение частот двух гармонических сигналов можно получить методом интерференционных фигур ***(фигур Лиссажу)***. С этой целью колебания известной — образцовой частоты f_0 - подаются на один вход осциллографа (например, ***X;*** собственная развертка осциллографа отключается). На второй вход подаются колебания неизвестной частоты $f_{изм}$. Частоту образцового генератора подстраивают так, чтобы на экране осциллографа получилась простейшая устойчивая фигура, примерные виды которой приведены в таблице 42.1.

Таблица 42.1

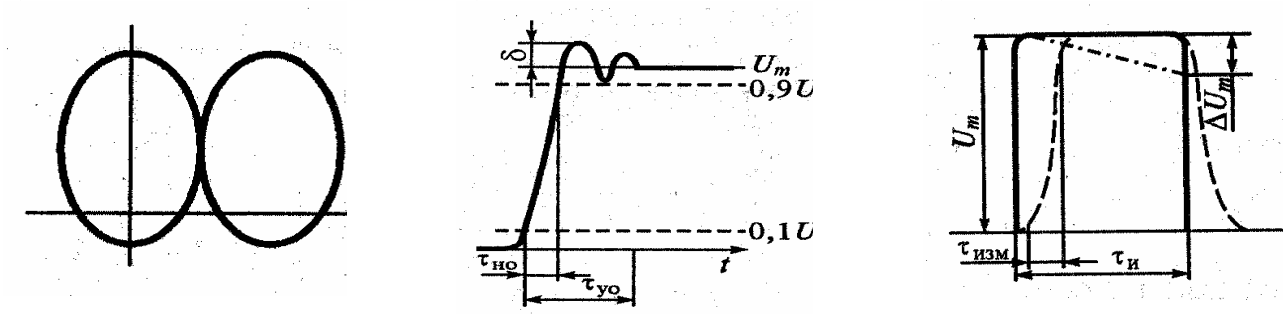
Соотношение частот	Фазовый сдвиг, град				
	0	45	90	135	180
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{1}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{2}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{3}$					

Точность такого метода определения частоты оказывается высокой и определяется стабильностью образцового генератора, однако получение и наблюдение таких фигур — достаточно сложная измерительная задача.

Соотношение частот двух гармонических колебаний может быть определено как отношение числа точек пересечения по вертикали к числу точек пересечения по горизонтали. Например, как показано на рисунке 42.8 *а*, это соотношение составляет:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2};$$

а) б) в)



Рисунки 42.8 – а); - б); - в) - Характеристики импульсов

При осциллографировании импульсных сигналов особое значение имеет правильное определение вида и параметров фронтов импульса. Основными влияющими факторами на правильное воспроизведение импульсного сигнала являются:

- частотный диапазон канала вертикального отклонения $\acute{\Gamma}\,\mathbf{F}_{\mathbf{y}} = f_{\hat{a}} - f_{\acute{i}}$;

где $f_В$, $f_Н$ - верхняя и нижняя граничные частоты канала;

ΔF - переходная характеристика канала осциллографа.

Частотные свойства осциллографа отражаются параметрами его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) - зависимости размера изображения гармонического сигнала от его частоты. Более подробно о работе осциллографов можно ознакомиться из лабораторной работы № 41 «Осциллограф». АЧХ характеризуют полосой пропускания, определяемой верхней граничной частоты $f_В$, отсчитываемой по уровню 0,707 от значения АЧХ на низких частотах. Среди других параметров отметим рабочий диапазон АЧХ, в пределах которого ее неравномерность не превышает погрешности измерения напряжения для данного осциллографа. Этот параметр определяет частотные границы измерения амплитуд гармонических сигналов с заданной точностью. К параметрам переходной характеристики, представленной на рисунке 2 б, относят время нарастания $\tau_{но}$ - интервал, в течение которого луч проходит от 0,1 до 0,9 от установившегося значения (уровня U_m) переходной характеристики. Плоская часть переходной характеристики может быть с выбросом или с осцилляциями; в этих случаях используют дополнительные параметры: время установления $\tau_{уо}$, отсчитываемое от уровня 0,1 до момента уменьшения осцилляции до заданного уровня; выброс определяется параметром δ. Время нарастания - основной параметр канала ***Y*** осциллографа. Для исследования кратковременных сигналов необходим осциллограф, имеющий время нарастания не более 0,3 от длительности сигнала. Учитывая вышеизложенное, можно рекомендовать верхнюю границу частотного диапазона определять по формуле: $f_В = 2 / \tau_И$;

При этом длительность импульса определяется по выражению:

$$\acute{\Gamma}_{\hat{o}} \cong \sqrt{\acute{C}^2_{\check{c}\,\check{c}\check{e}} - \acute{C}^2_{\acute{i}\,\hat{i}}}\,;$$

15 Перечень лабораторных работ раздела 9:

Раздел 9 Измерение колебаний

Лабораторная работа № 42 ХРОНОМЕТР

16 Раздел 10 Измерение частоты

Измерение частоты можно осуществлять не только частотомером, но и осциллографом. Осциллограф универсальный С1 - 68 - предназначен для наблюдения и исследования формы электрических процессов путем визуального наблюдения и измерения их временных и амплитудных значений. По точности воспроизведения сигнала, измерения временных и амплитудных значений прибор относится ко 2—3 классам точности. Условия эксплуатации: рабочая температура окружающего воздуха от минус 10° до плюс 50 °С; предельная температура от минус 50 °С до +60 °С; относительная влажность воздуха до 95 % при температуре до плюс 30 ºС. Прибор нормально работает после воздействия (в укладочном ящике) ударных нагрузок: многократного действия с ускорением до 15g длительностью импульса от 5 до 10 мс; одиночного действия с ускорением до 75g длительностью импульса от 1 до 10 мс. Прибор устойчив к циклическому изменению температуры окружающего воздуха от предельной положительной до предельной отрицательной. Прибор выпускается в двух вариантах исполнения: настольном И22.044.053; стоечном И22.044.054.Технические данные. Осциллограф С1 - 68 обеспечивает:

а) наблюдение формы импульсов обеих полярностей длительностью от 2 мкс до 16 с амплитудой от 1 мВ до 300 В;

б) наблюдение периодических сигналов в диапазоне частот от 0,06 Гц до 1 МГц;

в) измерение амплитуд исследуемых сигналов в диапазоне от 2 мВ до 300 В, а с выносным делителем 1:10 - от 20 мВ до 350 В;

г) измерение временных интервалов — от 2 мкс до 16 с.

Коэффициенты отклонения (положение переключателя «V/cm, mV/cm») устанавливаются:

а) скачкообразно от 1 мВ/см до 5 В/см с возможностью умножения (уменьшение чувствительности) на 10; плавное перекрытие каждого поддиапазона не менее 2,5 раза;

б) основная погрешность измерения напряжения в диапазоне от 2 мВ до 300 мВ при размере изображения от 2 до 6 делений не превышает: ± 5 % — при коэффициентах отклонения от 2 мВ/см до 50 В/см; ± 8 % — при коэффициенте отклонения 1 мВ/см «xl» или «x10» коэффициент отклонения канала горизонтального отклонения не более 1 В/см. Время нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения луча не более 0,35 мкс; с выносным делителем 1:10 — 0,45 мкс. Время установления переходной характеристики канала вертикального отклонения луча не более 1,1 мкс: с выносным делителем 1:10 — 1,8 мкс. Выброс переходной характеристики канала вертикального отклонения не более 5 %; с выносным делителем 1:10 —не более 8 %. Спад вершины переходной характеристики при закрытом входе не более 10 %

при длительности 10 мс. Неравномерность переходной характеристики не более 3 %; с выносным делителем 1:10 — не более 10 %. Параметры входов:

а) канала вертикального отклонения — входное активное сопротивление (1 ± 0,02) МОм, входная емкость (50 ± 5) пФ; с выносным делителем 1:10—входное сопротивление (10 ± 1) МОм, входная емкость не более 13 пФ, погрешность коэффициента деления не более ± 10 %;

б) канала горизонтального отклонения — входное активное сопротивление не менее 50 кОм, входная емкость не более30 пФ;

в) входа внешней синхронизации — входное активное сопротивление не менее 50 кОм в положении переключателя синхронизации «Внеш. 1:1» и не менее 500 кОм в положении «Внеш.1:10», входная емкость не более 50 пФ;

г) канал «Z» — входное сопротивление (1 ± 0,2) МОм, входная емкость не более 35 пФ. Допускаемое суммарное значение постоянного и переменного напряжений в закрытом входе не более 350 В.

Максимальный измеряемый размах исследуемого сигнала не более 300 В.

Максимальный размах исследуемого сигнала, подаваемого на вход прибора через выносной делитель 1:10, не более 350 В. Пределы перемещения луча по вертикали не менее двух значений номинального вертикального отклонения.

Пределы перемещения луча по горизонтали обеспечивают совмещение начала и конца рабочей части развертки с центром экрана. Генератор развертки может работать в периодическом или ждущем режиме и имеет следующие параметры:

а) диапазон длительностей развертки (калиброванных коэффициентов развертки) от 2 с/см до 2 мкс/см разбит на 19 фиксированных поддиапазонов. Предусмотрена возможность пятикратной растяжки развертки (пятикратного уменьшения коэффициента развертки в положении «0,2»). Плавное перекрытие каждого поддиапазона не менее 2,5 раза;

б) основная погрешность измерения временных интервалов в диапазоне от 2 мкс до 16 с при измеряемом размере изображения по горизонтали от 4 до 8 делений рабочей части развертки не более ± 5 % без растяжки и ± 8 % — с использованием растяжки. Внутренняя синхронизация развертки осуществляется сигналом любой полярности при минимальном уровне изображения не более 3 мм и максимальном уровне — 60 мм в диапазоне частот от 1 Гц до 1МГц и импульсными сигналами длительностью от 1,4 мкс и более. Внешняя синхронизация развертки осуществляется сигналом в диапазоне частот от 1 Гц до 1 МГц при амплитуде сигнала от 0,5 до 50 В, а также импульсными сигналами с длительностью от 1,4 мкс и более при амплитудах от 0,5 до 50 В.

Нестабильность синхронизации развертки (размытость изображения) не превышает ширины линии луча.

Синхронизация от сети — частотой 50, 400 Гц, минимальный уровень изображения — не более 3 мм, максимальный уровень — не менее 60 мм. Амплитуда напряжения развертки для запуска внешних устройств, выведенного на гнездо « ^ » в пределах от 5 до 12 В на нагрузке сопротивлением не менее 20 кОм и

емкостью не более 100 пФ. Размеры рабочей части экрана по вертикали не менее 60 мм (6 делений) и по горизонтали не менее 80 мм (8 делений). Ширина линии луча не более 0,7 мм, а при коэффициенте отклонения по вертикали 1 мВ/см — не более 1 мм. Минимальная частота следования развертки, при которой обеспечивается наблюдение исследуемого сигнала на наиболее быстрой развертке, не более 250 Гц. Нелинейность отклонения не превышает 5 %. Полоса пропускания канала горизонтального отклонения от 0 до 500 кГц. Опорная частота 1 кГц. Параметры, определяющие нестабильность положения луча: долговременный дрейф нулевой линии в течение 1 ч работы после 15 мин. прогрева не превышает 3,5 мВ (35 мм); кратковременный дрейф за 1 мин в течение 1 ч не превышает 0,3 мВ (3 мм); смещение луча при изменении напряжения питания на ± 10 % не более 0,3 мВ (3 мм). Периодические (от внутреннего преобразователя напряжения или случайные шумы) отклонения луча не превышают 2 %. Задержка начала развертки относительно сигнала синхронизации не более 0,3 мкс. Нелинейность развертки в пределах рабочей части развертки не превышает 5 %. При растяжке длительности развертки «хО,2» нелинейность не превышает 10 %.

Параметры, зависящие от электронно-лучевой трубки:

а) геометрические искажения не более 3 %;

б) погрешность ортогональности не более 2°;

в) яркость луча осциллографа регулируется от полного отсутствия до величины, удобной для наблюдения.

Модуляция яркости обеспечивается при подаче на гнездо «-£) Z» сигнала с амплитудой от 20 до 50 В в диапазоне частот от 20 Гц до 200 кГц. Яркость подсвета шкалы регулируется от полного отсутствия до величины, удобной для наблюдения. В приборе обеспечивается возможность подачи исследуемых сигналов в полосе частот от 20 Гц до 10 МГц непосредственно на открытый симметричный вход отклоняющих пластин электронно-лучевой трубки через внешний переходной конденсатор емкостью не менее 0,1 мкФ. Параметры входов «Пластины Y» и «Пластины X» входное сопротивление относительно корпуса — (1 ± 0,2) МОм при входной емкости не более 20 пФ. Чувствительность входа «Пластины Y» не менее 1,0 мм/В «Пластины X» — не менее 0,6 мм/В (определяется техническими условиями на ЭЛТ). Внутренний источник калиброванного напряжения генерирует П-образные импульсы с частотой 2 кГц (период 0,5 мс)и амплитудой 0,1 и 1 В: а) основная погрешность напряжения и частоты не превышает ± 1,5 %;

б) ассиметрия импульсов не превышает 20 %. Питание прибора осуществляется: - от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В частотой (50 ± 0,5) Гц, напряжением (115 ± 5,75) В и (220 ± 11) В частотой (400 ± 12) Гц и содержанием гармоник до 5 %. - от источника постоянного тока напряжением (12,6 ± 1,26) В и (24 ± 2,4) В. Мощность, потребляемая от сети при номинальном напряжении, не превышает 40 ВА. Величина тока, потребляемого прибором от источника постоянного тока напряжением 12,6 В, не превышает 1,8 А. Время установления рабочего режима прибора не превышает 15 мин. Прибор допускает непрерывную работу в течение 16 часов. Наработка приборов на отказ не менее 1500 ч. Средний срок службы прибора 10 лет. Средний ресурс 5000 ч. Масса

прибора не более: для настольного исполнения — 10 кг; для стоечного исполнения — 14 кг. Масса прибора с транспортной тарой не более: для настольного исполнения — 45 кг; для стоечного исполнения — 46 кг. Габаритные размеры прибора: для настольного исполнения — 274X182X440 мм. для стоечного исполнения — 520X160X510 мм

Рисунок 10.1 - Некоторые виды осциллографов

Рисунок 10.1а

Рисунок 10.1б

10.2 Амплитудно частотные характеристики различных приборов, измеряющих частоту электрических сигналов.

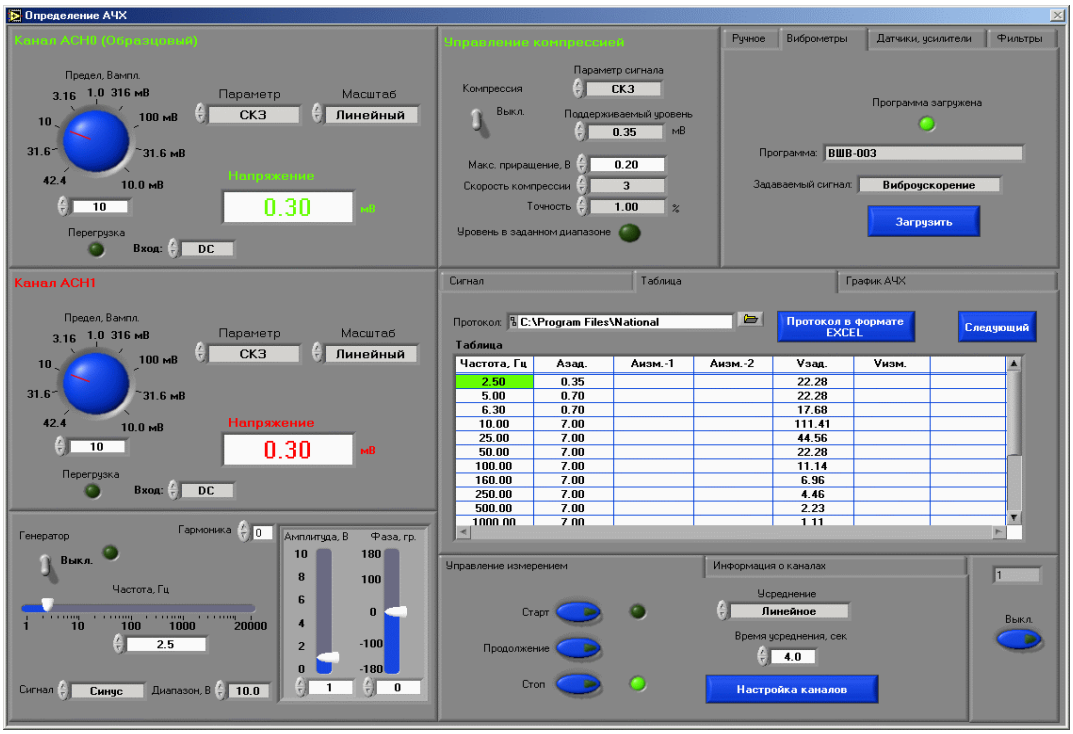


Рисунок 10.2 - Определитель АЧХ

Предназначен для определения амплитудно-частотных характеристик различных приборов и датчиков. Особенности. Встроенный генератор сигналов различной формы в диапазоне от 0.3 Гц до 20 кГц. Частотный диапазон: 0.3 Гц - 20 кГц. Интегрирование сигнала: виброускорение, виброскорость, вибросмещение; Усреднение по линейному и показательному закону с выбираемой постоянной времени. Компрессия: управление и поддержание заданных уровней вибрации вибростенда. Протокол. Формирование протоколов в формате EXCEL.

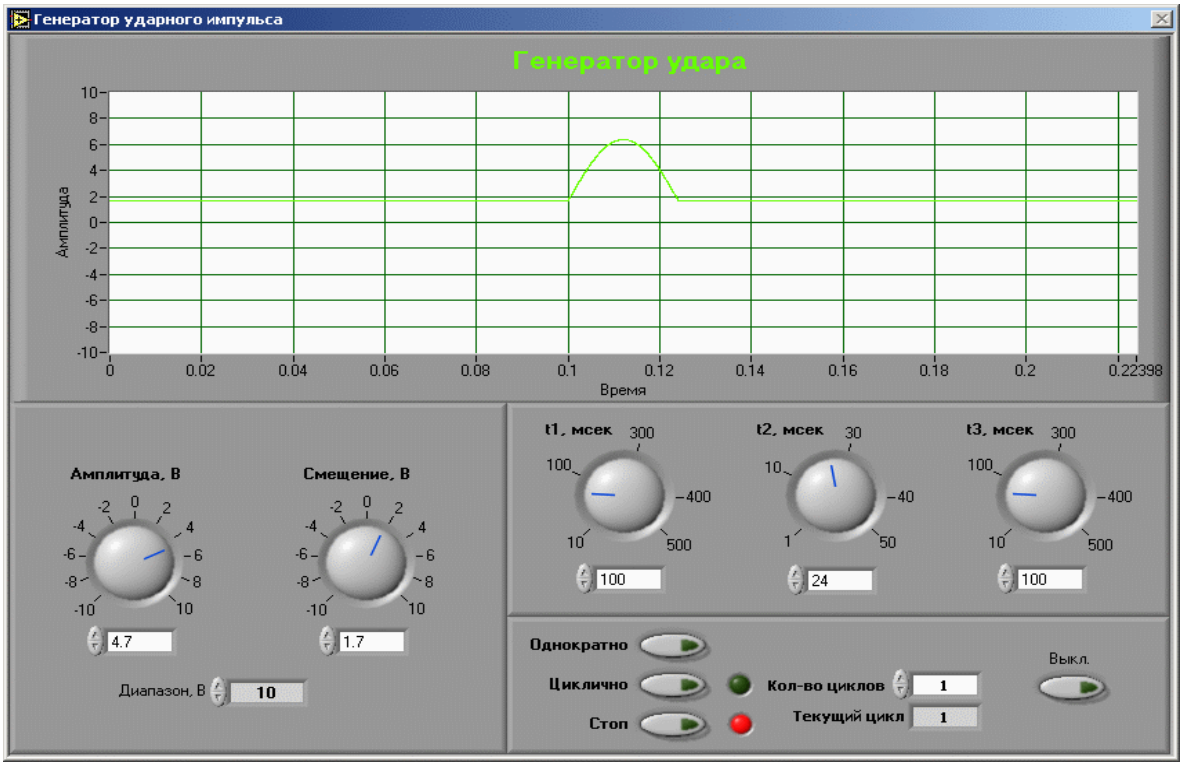


Рисунок 10.3 - Генератор ударных импульсов
Генерация сигналов ударных импульсов различной длительности

Рисунок 10.4 - Прибор «Вибротест СШВ» Прибор поверки пьезодатчиков методом электрического возбуждения

Частотный диапазон: 0 Гц - 80 кГц.

42.8 Оборудование для проведения лабораторных работ разделов 8, 9, 10

Для организации лабораторных работ по разделу № 8, 9, 10 измерения электромагнитных величин на кафедру МСиС ТФ ГОУ ОГУ приобретена лабораторная установка «Методы измерения электрических величин МСИ 6», - паспорт МСИ 6 ПС от Министерства образования РФ ФГО ООО «ИНТОС+» заводской № 009 по ТУ 9.461 - 2004 дата изготовления и упакована для отправки в ГОУ ОГУ на кафедру МСиС ТФ 15.09 2008 года:

42.8.1.Назначение

Установка лабораторная «Методы измерения частоты МСИ 6» (далее - установка) является частью учебно - лабораторного комплекса, используемого для проведения лабораторных работ при изучении дисциплины «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для специальности 200503 – Стандартизация и сертификация и 220501 – Управление качеством.

Установка должна эксплуатироваться в помещениях при температуре воздуха от+ 10°Сдо + 35°С, относительной влажности воздуха до 80 % при 25 ° С.

42.8.2 Основные технические данные

Установка предназначена для формирования частот заданного спектра в электрической и оптической формах, измерение частоты промышленными приборами

42.8.2.1 Питание от сети переменного тока:	
- напряжением, В	220 ± 22
- частотой, Гц	50 ± 0, 4
42.8.2.2 Потребляемая мощность, В А	не более 5
42.8.2.3 Характеристики	
42.8.2.3.1 Максимальное значение формируемой частоты, кГц	5,0 ± 0,5
42.8.2.3.2 Минимальное значение формируемой частоты, кГц	1,0 ± 0,1
42.8.2.3.3 Максимальное значение напряжения электрического сигнала, В	5,0 ± 1,0
42.8.2.3.4 Минимальное значение напряжения электрического сигнала, В	0,5 ± 0,2
42.8.2.5 Габаритные размеры установки, мм	
длина	не более 200
ширина	не более 150
высота	не более 100
42.8.2.6 Масса установки, кг	не более 1,0
42.8.2.7 Средняя наработка до отказа, ч	не менее 1000
42.8.2.8 Средний срок службы до списания, лет	10

42.8.3 Комплектность

Таблица 42.2 – Комплектность поставки установки

Наименование и условное обозначение установки	Количество	Примечание
Установка лабораторная «Методы измерения частоты МСИ 6»	1 шт.	-
Документация - Паспорт на установку «МСИ 6 ПС»	1 шт.	-
Приборы, входящие в состав установки МСИ 6	1 шт.	-
Частотомер МСИ 6 - Сб 5	1 шт.	-
Фототахометр - стробоскоп АТТ - 6002	1 шт.	-
Осциллограф универсальный ОСУ 10А (В)	1 шт.	-

42.8.4 Устройство и принцип действия установки

42.8.4.1 Установка представляет собой настольную конструкцию, на лицевой панели которой находится окно, закрытое прозрачным материалом, за которым распологоден чёрный оптический диск с белым сектором и 60-тью отверстиями по краю, а также ручка задатчика частоты.

42.8.4.2 Белый сектор предназначен для измерения скорости вращения оптического диска с помощью тахометра - стробоскопа, а отверстия на диске служат для работы оптопары с открытым оптическим каналом и измерения электрического сигнала, создаваемого ею, частотомером и осциллографом.

42.8.4.3 На задней панели установки размещены: гнёзда для подключения осциллографа и частотомера, клавишный выключатель сетевого питания, предохранитель и шнур сетевого питания.

42.8.4.4 Конструктивно все элементы электрической схемы установки размещены на печатной плате, соединенной проводниками с органом коммутации, управления, электродвигателем, оптопарой и трансформатором питания.

42.8.4.5 На печатной плате расположены: источник стабилизированного питания оптопары и регулируемый стабилизатор питания электродвигателя постоянного тока (генератора частоты).

5 Указание мер безопасности

5.1 К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с её устройством, принципом действия, а также с разделам 5, 6 настоящего паспорта.

5.2 К работам по монтажу и проверке установки допускается персонал, обученный методам безопасной работы с электрооборудованием напряжением до 1000 В в соответствии с требованиями действующих "Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" (ПТБ).

5.3 Во избежание поражения электрическим током установка при вскрытии должна быть отключена от сети.

42.8.6 Подготовка к работе

42.8.6.1 Произвести внешний осмотр установки и убедиться в целостности защитного стекла, надежном креплении органов коммутации и управления, целостности сетевого кабеля, а также в целостности и работоспособности комплектных измерительных приборов.

42.8.6.2 Подключить входы осциллографа и частотомера, входящих в комплектацию, к соответствующим гнёздам на задней панели установки и подключить осцилограф к питающей сети.

42.8.6.3 Перед подключением установки к сети установить переключатель " СЕТЬ " в положение " О ", а ручку задатчика частоты приблизительно в среднее положение.

42.8.6.4 Подготовить к работе фототахометр - стробоскоп входящий в комплект установки и изучить принципы измерения скорости вращения фототахометром и стробоскопом. Наклеивать на оптический диск светоотражающую метку не надо, поскольку её роль выполняет белый сектора диска.

42.8.7 Порядок работы установки МСИ 6.

42.8.7.1 Произвести включение осциллографа и частотомера и установить пределы их измерения в соответствии с ожидаемой частотой и уровнем напряжения электрического сигнала. Произвести включение установки установив переключатель «СЕТЬ» в положение «I», при этом должен начать вращаться оптический диск. Поворотом ручки задатчика частоты установить по частотомеру заданную частоту. Произвести измерение частоты осциллографом по длительности развёртки. Произвести измерение скорости вращения оптического диска фототахометром - стробоскопом; значение скорости вращения измеренное стробоскопом должно быть численно равно частоте, измеренной частотомером;

42.8.7.2 Произвести измерение величины максимального и минимальногоэлектрического сигнала осцилографом.

42.8.7.3 Некоторая нестабильность частоты и амплитуды электрического сигнала, особенно в нижней части диапазона вызвана неточностью изготовления отверстий в оптическом диске и неравномерностью его вращения.

42.8.7.4 Порядок работы на установке определяется также в соответствии с методическими указаниями по проведению лабораторных работ и описаниями на соответствующие измерительные приборы.

43 Лабораторная работа № 43 Измерение частот частотомером

Введение

Повышению качества продукции, в том числе средств измерений, в стране уделяется самое серьезное внимание. От качества продукции зависят эффективность общественного производства, экспорт продукции, экономия материальных ресурсов, достоверный учет материально-технических ценностей.

Под качеством продукции понимают совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Вместе с тем, между отдельными свойствами изделия имеется связь, иногда противоречивая.

Так, повышение точности средств измерений требует разработки специальных средств и мер защиты от внешних воздействий, компенсации их влияния, что может привести к снижению производительности, надежности, повышению стоимости.

В то же время, качество продукции является одним из важнейших факторов успешной деятельности любого предприятия. Высокое качество продукции должно стать эффективным средством повышения дохода предприятий за счет снижения потерь от брака, уменьшения непроизводительных затрат на исправление дефектов.

43.1 Цель работы

Цель данной лабораторной работы состоит в знакомстве с методами повышения точности измерений, а также в приобретении знаний о частотомерах и навыков практических расчетов погрешностей при измерениях частотомерами, а также - изучить устройство лабораторной установки МСИ 6 «Методы измерения частот МСИ 6» смотри раздел № 10 «Описание устройства лабораторной установки».

43.2 Методы повышения точности средств измерений

Их можно разделить на две группы: методы предотвращения возникновения погрешностей и методы снижения влияния погрешностей.

К первой группе относятся конструктивно-технологические и защитно-предохранительные методы.

Конструктивно-технологические методы заключаются в использовании материалов, элементов и узлов со стабильными параметрами, применении предварительного старения, выборе стабильных режимов использования деталей. Для уменьшения частотной зависимости применяют, например, частотно-независимые резисторы, для уменьшения температурной зависимости -

манганиновые резисторы, имеющие малый температурный коэффициент сопротивления и т. п.

Защитно-предохранительные методы предназначены для уменьшения влияния внешних влияющих величин и заключаются в уменьшении диапазона их изменения. Это достигается применением термостатирования, экранирования, стабилизации, фильтрации и т. п. Применение защитно-предохранительных методов можно проиллюстрировать следующими примерами: для исключения влияния внешних магнитных и электрических полей, электромагнитных наводок применяют соответствующее экранирование; для исключения влияния напряжения питания - стабилизация напряжения источника питания; для исключения влияния пульсаций напряжения питания и наводок, возникающих от электрических и электромагнитных связей с другими электрическими устройствами, применяют электрические фильтры, для исключения погрешности от вибраций применяют амортизаторы и т.д.

Методы снижения влияния погрешностей включают в себя методы коррекции (обычно систематических погрешностей) и методы статистической минимизации.

Методы коррекции или методы функциональной минимизации погрешностей измерительных приборов заключаются в снижении их уровня в процессе аналитического или экспериментального определения погрешностей.

Статистическая минимизация заключается в снижении случайных погрешностей измерительных приборов и может осуществляться как в процессе, так и после измерения. Например, снижение погрешностей, изменяющихся по периодическому закону, путём интегрирования за время, равное периоду, уменьшение случайных погрешностей путём временного или пространственного осреднения результатов многократных или множественных измерений, статистическая минимизация погрешности от квантования.

Коррекция погрешностей может осуществляться как вручную, оператором, так и автоматически.

Методы ручной коррекции можно разделить на методы подналадки, которую раньше называли "калибровкой", заключающиеся в регулировке прибора, и методы обработки результата измерения без воздействия оператора на прибор, путём введения поправки.

Методы автоматической коррекции (структурные методы коррекции) основываются либо на использовании внешней влияющей величины или неинформативного параметра (применяется в схемах прямого преобразования), либо на использовании самой погрешности, выявленной с помощью дополнительных образцовых измерительных приборов, мер, измерительных преобразователей (применяется в схемах уравновешивающего преобразования).

При рассмотрении методов коррекции суммарную погрешность разделяют на три составляющие: аддитивную (погрешность нуля), мультипликативную (погрешность чувствительности) и погрешность от нелинейности, которая зависит от измеряемой величины нелинейно. Аддитивную составляющую можно обнаружить при измеряемой величине на входе измерительного прибора, равной нулю. Для обнаружения мультипликативной погрешности нужна образцовая мера

или масштабный преобразователь. Коррекцию аддитивной погрешности называют установкой нуля, а коррекцию мультипликативной погрешности - корректировкой. Сначала производят установку нуля, а затем корректировку. Погрешности, как известно, можно скорректировать по результатам измерения без воздействия на измерительный прибор, введением поправки, а также обработкой результатов измерений, проведённых по специальной методике с целью уменьшения погрешностей.

Особые перспективы имеют структурные методы коррекции погрешности. В случае их реализации погрешности корректируются автоматически, без участия оператора. Принцип структурного метода коррекции состоит в выработке величины, с помощью которой можно было бы создать корректирующее воздействие на прибор. Такой величиной может быть, как указывалось, влияющая величина, неинформативный параметр входного сигнала или величина, пропорциональная погрешности. Первые два случая применяют в структурных схемах прямого преобразования, третий - в схемах уравновешивающего преобразования.

Структурные методы коррекции по способу введения корректирующего воздействия разделяют на аддитивные и мультипликативные. При аддитивной коррекции величина, пропорциональная погрешности, обычно суммируется с выходной величиной. Мультипликативная коррекция осуществляется изменением коэффициента преобразования преобразователя корректирующей величиной, пропорциональной погрешности. Управление коррекцией погрешностей осуществляется схемами с микропроцессорами.

Методы статистической минимизации направлены на снижение уровня уже возникших случайных погрешностей. В качестве примера рассмотрим статистическую минимизацию погрешности квантования в цифровом измерительном приборе (ЦИП). Пусть U - постоянная во времени измеряемая величина, а $\Delta U_д$ - некоторый дополнительный случайный сигнал с известным средним квадратическим отклонением $\sigma(\Delta U_д)$. Пусть ΔU_K - шаг квантования. С помощью некоторой схемы суммирования образуется новый случайный сигнал $U_\Sigma = U + \Delta U_д$, который подается на ЦИП. Снимается n отсчетов значения U_Σ. Например, один из них $U_\Sigma i = Ni\Delta U_K$. В этом результате будет погрешность квантования ΔU, значение которой оценивается путем статистической обработки. Результат измерения определяется временным осреднением n наблюдений. Среднее значение будет приближаться к значению U со средним квадратическим отклонением Погрешность определения U включает в себя погрешность квантования и зависит от числа отсчетов n, которое можно найти из условия уменьшения погрешности квантования по формуле (43.1):

$$\sigma(\overline{U}) = \frac{\sigma(\Delta U_{Ä})}{\sqrt{n}}. \qquad (43.1)$$

где t_p - коэффициент Стьюдента.

Временное осреднение можно представить как преобразование быстродействия в точность. Поскольку $n = T/T_и$, где $T_и$ - время разового наблюдения, а T - общее время измерения, то при T = const можно снизить $\sigma(\overline{U})$ за счет уменьшения $T_и$, т.е. увеличения быстродействия ЦИП.

43.3 Понятие о частоте и методах ее измерения

Диапазон используемых частот в радиоэлектронике, автоматике, экспериментальной физике, технике связи и т. д. простирается от долей герц до тысяч гигагерц, т.е. от инфранизких до сверхвысоких частот.

Частота - одна из важнейших характеристик периодического процесса; определяется числом полных циклов (периодов) изменения сигнала в единицу времени. Период - наименьший интервал времени, удовлетворяющий уравнению u(t) = u(t+T). Мгновенная угловая частота определяется через производную во времени от фазы напряжения сигнала по формуле (43.2):

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt}, \qquad (43.2)$$

Так как фаза у гармонического сигнала растёт во времени по линейному закону, то частота f - постоянная величина, т.е.

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\omega}{2\pi}, \qquad (43.3)$$

Выбор метода измерения частоты определяется её диапазоном, необходимой точностью измерения, формой сигнала, мощностью источника сигнала измеряемой частоты и другими факторами.

Частота электрических сигналов измеряется методами непосредственной оценки и сравнения.

Измерение частоты методом непосредственной оценки производится частотомерами: аналоговыми электромеханическими с логометрическими механизмами, цифровыми (электронно-счётными). Измерение частоты сигналов методом сравнения осуществляется с помощью осциллографа, частотно-зависимого моста переменного тока, частотомеров гетеродинных, построенных на биениях, и т.д.

Метод дискретного счета основан на счете числа периодов измеряемой частоты за калиброванный интервал времени. Частотомеры, работающие по данному принципу, являются цифровыми измерительными приборами. Метод является наиболее точным и перспективным. Применяется в диапазоне от десятка герц до сотен мегагерц. Относительная погрешность измерения частоты достигает 10^{-3}... 10^{-10}.

Метод заряда и разряда конденсатора основан на измерении среднего тока разряда или заряда образцового конденсатора, переключаемого с заряда на разряд с измеряемой частотой. Метод применяется на частотах от 10...20 Гц до сотен

килогерц. Реализованные на его основе приборы имеют погрешность частоты 1,5...2 % (например, Ч3-7).

Метод измерения, основанный на сравнении с образцовой частотой, применяется в диапазоне частот 100 кГц... 100 ГГц и обеспечивает высокую точность, которая зависит от погрешности, с которой известна образцовая частота. Частотомеры, построенные по принципу сравнения частот (гетеродинные частотомеры), имеют погрешность $10^{-5}...10^{-6}$. Гетеродинные частотомеры прекрасно дополняют электронно-счетные частотомеры на сверхвысоких частотах (СВЧ) и в миллиметровом диапазоне. Гетеродинные переносчики частоты снижают измеряемую частоту в точно известное число раз до значений, которые удобно измерять электронно-счетными частотомерами.

Резонансный метод состоит в настройке резонансной колебательной цепи, предварительно прокалиброванной по образцовому генератору и частотомеру, на измеряемую частоту и отсчете ее значения по шкале, связанной с элементом настройки. Метод применяется на частотах от 100 кГц до 100 ГГц (используются различные колебательные системы от LC-контуров до квазиоптических резонансных цепей). Резонансные волномеры отличаются простотой устройства, погрешность их примерно 10^{-3}. В резонансных волномерах непосредственно измеряется длина волн, а частота f получается пересчетом по формуле (43.4):

$$f = \frac{\nu}{\lambda}, \qquad (43.4)$$

где v - скорость распространения электромагнитных волн в системе;
λ - длина волны.

43.4 Некоторые сведения о современных частотомерах

Современные частотомеры - это универсальные приборы, с помощью которых производятся измерения частоты, периода, временных интервалов, длительности и частоты следования импульсов, подсчёт последовательности импульсов; с помощью соответствующих преобразователей могут измеряться постоянное напряжение, а также неэлектрические величины - количество оборотов вращающихся устройств, давление и т. д.

Высокая стабильность, короткое время полной готовности после транспортировки делают многие современные частотомеры идеальными для процедур калибровки с высокой точностью вне лабораторных условий (например, в передатчиках больших сетей телесвязи подобно GSM или CDMA). Широкий выбор пределов измерения позволяет производить цифровые измерения калибровки в большом диапазоне, не используя синтезаторы, смесители и фильтры, чтобы обеспечить требуемое разрешение до последней цифры.

43.5 Классификация частотомеров

В зависимости от способа представления величин частотомеры подразделяются на аналоговые и цифровые.

Аналоговые электромеханические частотомеры с логометрическими механизмами (электромагнитные, электродинамические, ферродинамические) предназначаются в основном для измерения частоты гармонических напряжений в диапазоне 20 - 2500 Гц. Эти частотомеры имеют ограниченное применение из-за невысокой точности, значительной мощности потребления и подверженности к вибрациям.

Цифровые (электронно-счётные) частотомеры предназначаются для точных измерений частоты гармонических и импульсных сигналов в диапазоне 10 Гц - 50 ГГц; используются для измерения отношения частот, периода, длительности импульсов, интервалов времени.

По принципу работы цифровые частотомеры можно разделить на четыре следующие группы.

Частотомеры средних значений образуют наиболее многочисленную группу и получили наибольшее применение. Такие приборы позволяют измерять среднее значение частоты за некоторый интервал времени T_o. Диапазон измеряемых частот весьма широк - от десятков герц до сотен мегагерц, а со специальными преобразователями (переносчиками частоты) этот диапазон может быть расширен до тысяч мегагерц.

Частотомеры мгновенных значений позволяют измерять частоту в более узком диапазоне, причем частотомеры, измеряющие период, наибольшее применение получили для измерения низких и инфранизких частот.

Следящие частотомеры наиболее эффективны при измерении средних частот (десятки килогерц - единицы мегагерц). В них производится непрерывное по времени измерение частоты. По существу все нецифровые (электронные и электромеханические) частотомеры - следящие. Достоинством таких приборов является возможность получения отсчетов в любой произвольный момент времени. Принципиально следящие частотомеры могут быть и цифровыми.

Частотомеры номинальных значений и процентные предназначены для измерения изменений частоты в узком диапазоне частот. Причем первые позволяют получать отсчет в абсолютных единицах, а вторые - в относительных. Диапазон частот, охватываемый такими приборами, относится к области низких частот (не более десятков килогерц).

По своему назначению и основным характеристикам электронно-счетные частотомеры (ЭСЧ) подразделяются на сервисные, универсальные и специализированные. Отдельную группу составляют приборы, расширяющие функциональные возможности ЭСЧ. Конструктивно они изготавливаются в виде отдельных блоков.

Сервисные ЭСЧ - это малогабаритные приборы, максимально использующие интегральные схемы, благодаря чему обладают повышенной надежностью в работе. Сервисные ЭСЧ используются как в виде автономных приборов, часто переносных, так и встроенных приборов в составе автоматизированных измерительных систем. В последнем случае они имеют вывод информации о

результатах измерения в цифровом параллельном коде для автоматической регистрации. Сервисные ЭСЧ можно использовать для измерения различных физических величин, применяя внешние преобразователи частоты и соответствующие датчики. Примером сервисных ЭСЧ являются приборы Ч3-36, Ч3-41.

Универсальные ЭСЧ отличаются многофункциональностью, они обеспечивают работу во всех режимах, присущих ЭСЧ. Конструктивно они выполнены так, что позволяют использовать сменные блоки (гетеродинные преобразователи, широкополосные усилители, умножители, преобразователи напряжения в частоту, делитель измеряемой частоты и т.д.), что расширяет функциональные возможности приборов. Все универсальные ЭСЧ должны иметь вывод результатов в цифровом параллельном коде и дистанционное управление и входить в состав единого агрегатируемого комплекса автоматизированных систем измерительной техники (ЕАКАСИТ).

Примером универсальных ЭСЧ могут служить приборы: Ч3-47, Ч3-54, Ч3-57, Ч3-49.

Специализированные ЭСЧ предназначены, как правило, для работы в режиме измерения частоты. Они значительно проще универсальных и уступают им по техническим характеристикам. Специализированные ЭСЧ предназначены для замены резонансных волномеров во всем диапазоне радиочастот от 100 кГц до 70 ГГц. На СВЧ в специализированных ЭСЧ применяются гетерогенные преобразователи частоты.

43.6 Цифровые частотомеры

43.6.1 Измерение частоты

Принцип действия цифрового (электронно-счетного) частотомера построен по схеме, в которой подсчитывается число импульсов N, соответствующее числу периодов неизвестной частоты f_x за известный высокоточный интервал времени, называемый временем измерения $T_и$. Если за время $T_и$ подсчитано N импульсов, то среднее значение измеряемой частоты вычисляют по формуле:

$$f = \frac{N}{T_È}, \qquad (43.5)$$

При времени измерения $T_и$ = 1 с количество подсчитанных импульсов (периодов) N и есть значение измеряемой частоты (Гц), т.е. $f_x = N$.

На рисунке 43.5 приведён пример построения схемы одного из цифровых частотомеров.

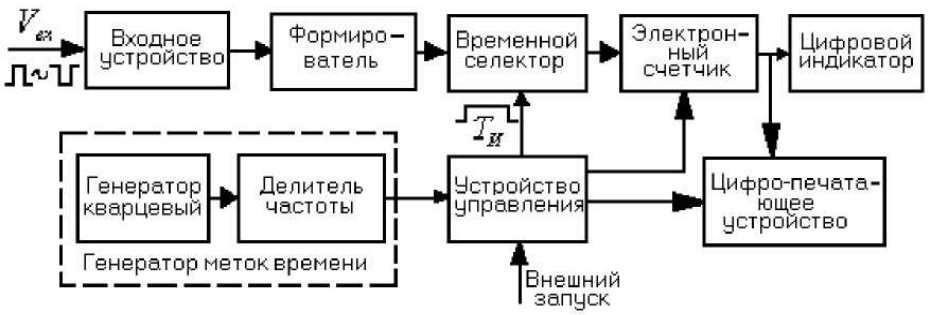


Рисунок 43.1 – Схема цифрового частотомера

Входное устройство, состоящее из широкополосного усилителя и аттенюатора, предназначено для согласования частотомера с источником сигнала, а также для усиления или ограничения напряжения на входе до значения, запускающего формирователь. Последний преобразует синусоидальные или периодические импульсные сигналы в последовательность импульсов постоянной амплитуды с большой крутизной фронтов, независимо от входного сигнала, частота следования которых равна частоте измеряемого сигнала (рисунок 43.2).

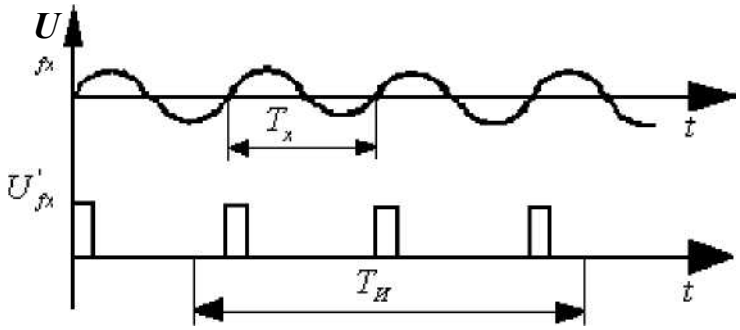


Рисунок 43.2 – Временные диаграммы, поясняющие принцип работы частотомера

Временной селектор (электронный ключ с двумя входами) открывается строб-импульсом, вырабатываемым устройством управления (схемой автоматики), на высокоточное время измерения и пропускает эти импульсы на электронный счётчик. Цифровой индикатор автоматически выдаёт результат измерения в герцах. Генератор меток времени состоит из генератора образцовой частоты 1 МГц с кварцевой стабилизацией (кварцевого генератора) и делителя частоты. Делитель частоты делит частоту кварцевого генератора 1 МГц декадными ступенями до 0,01 Гц, т.е. 100; 10; 1 кГц, 100; 10; 1; 0,1; 0,01 Гц. Полученные частоты используют для формирования высокоточного времени измерения - меток времени, равных соответственно 10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}; 1; 10; 100 с.

Устройство управления (автоматики) управляет всем процессом измерения и обеспечивает регулируемое время индикации 0,3 - 5 с результатов измерения на цифровом табло; сброс счётных декад и других схем в "нулевое" состояние перед каждым измерением; режим ручного, автоматического и внешнего пуска прибора; вырабатывает из частот, поступающих с делителей, строб-импульс, открывающий селектор на время счёта; импульс запуска цифропечатающего устройства.

Электронный счётчик, предназначенный для счёта поступающих с временного селектора N импульсов; состоит из нескольких последовательно соединённых счётных декад, каждая из которых соответствует определённому порядку частоты f_x (единицам, десяткам, сотням герц и т. д.). Цифровой индикатор обеспечивает отображение результатов измерений, поступающих с дешифратора. Последний преобразует двоично-десятичный код, поступающий со счётных декад, в десятичный.

Основная особенность последовательного счёта импульса, положенного в основу работы цифровых частотомеров, состоит в увеличении погрешности измерения при уменьшении частоты.

Относительная погрешность измерения частоты:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_è}{T_è}, \qquad (43.6)$$

Значение первой компоненты $\Delta N/N$ погрешности дискретности зависит от соотношения времени измерения $T_и$ ("временных ворот" селектора) и периода $T_x = l/f_x$ исследуемого сигнала. Погрешность дискретности в основном обусловлена несовпадением моментов появления счётных импульсов относительно фронта и спада строб-импульса: если $T_и$ некратные числа, то погрешность счёта импульсов $\Delta N = 0$, если же $T_и$ и T_x - некратные числа, то значение ΔN зависит от взаимного расположения $T_и$ и T_x, т. е. несовпадения моментов их появления; при этом максимальная абсолютная погрешность счёта импульсов ΔN не превышает одного импульса $\Delta N=\pm 1$, определяющего младший разряд счёта.

Значение второй компоненты погрешности $\Delta T_И/T_И$ определяется нестабильностью частоты кварцевого генератора f_o, задающего "временные ворота" прибора $T_и$.

Относительная погрешность времени измерения равна относительной погрешности частоты внутреннего кварцевого генератора и составляет значение порядка 10^{-7}, т. е. $\Delta T_И/T_И = \Delta f_o/f_o=\delta_o$.

Итак, относительная погрешность измерения (%) частоты:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_è}{Ò_è} = \frac{1}{N} + \delta_î = \frac{1}{f_x Ò_è} + \delta_î, \qquad (43.7)$$

или, если учесть $\delta_o = 10^{-7}$, то

$$\delta_f = \frac{\Delta f_x}{f_x} \cdot 100 = \pm\left(\frac{1}{f_x Ò_è} + 10^{-7}\right) \cdot 100, \qquad (43.8)$$

где f_x - измеряемая частота, Гц.

Как следует из (43.8), относительная погрешность измерения частоты исследуемого сигнала при прочих равных условиях зависит от его значения. Относительная погрешность измерения частоты ничтожна при измерении высоких частот и велика при измерении низких частот. Например, если f_x = 10 МГц, $T_и$ = 1 с, то $\delta_f = 2 \cdot 10^{-5}$ %; если f_x = 10 Гц, $T_и$ = 1 с, то δ_f=10 %.

Следовательно, при измерении высоких частот погрешность обусловлена в основном нестабильностью кварцевого генератора, а при измерении низких частот - погрешностью дискретности. Для уменьшения погрешности измерения низких частот необходимо увеличить время измерения, но это не всегда возможно, поэтому в цифровых частотомерах либо применяют умножители, позволяющие повышать измеряемые частоты в $10^п$ раз, либо переходят от измерения частоты исследуемого сигнала к измерению его периода T_x с последующим вычислением значения измеряемой частоты по формуле $f_x = 1/T_X$.

43.6.2 Измерение периода

Период измеряется по схеме, показанный на рисунке 43.9. Входной сигнал через входное формирующее устройство В поступает на устройство управления (автоматику), формирующее строб-импульс. Длительность строб-импульса равна периоду измеряемого сигнала. На вход электронного счётчика поступают импульсы с генератора меток времени.

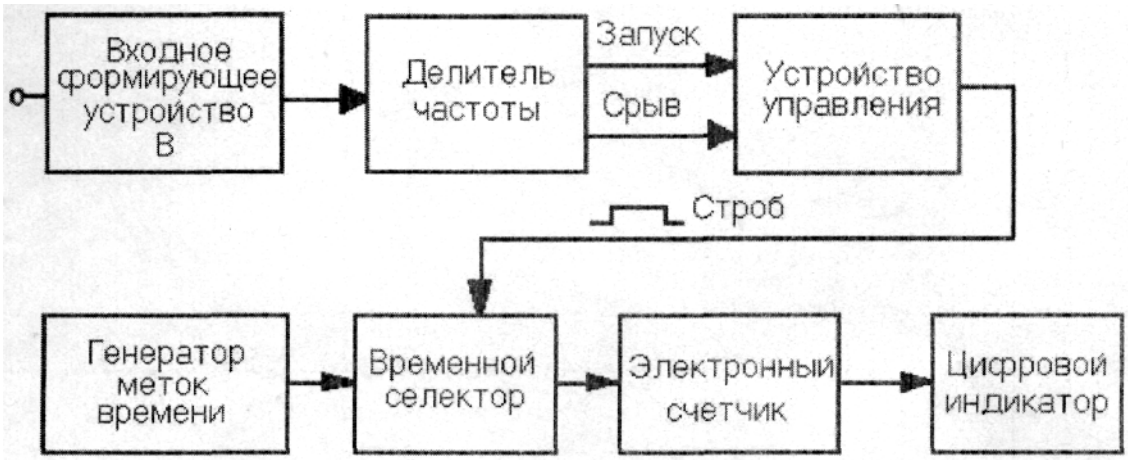


Рисунок 43.9 - Схема измерения периода

Более точное измерение периода производится с использованием декадных делителей частоты. В этом случае входной сигнал после формирования поступает на декадные делители, где его период умножается в 10, 10^2, 10^3 или 10^4 раз, а затем поступает на устройство управления. Длительность строб-импульса в этом случае равна периоду измеряемого сигнала, умноженному на коэффициент деления используемого делителя. Основная относительная погрешность измерения периода прибором (%):

- при синусоидальном сигнале вычисляется по формуле (43.9):

$$\delta_T = \left[\delta_{\hat{i}} + \frac{0{,}03}{n} + \frac{T_o}{nT_x} \right] \cdot 100, \qquad (43.9)$$

- при импульсном сигнале с длительностью фронтов входных импульсов не более половины периода меток времени – по формуле (43.10):

$$\delta_T = \frac{\delta_o + T_o}{nT_x} \cdot 100, \qquad (43.10)$$

где δ_0- основная относительная погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора или внешнего источника образцовой частоты;

T_x - измеренный период, с;

T_0 - период следования меток времени, с;

n - коэффициент умножения периода.

43.6.3 Измерение отношения частот

Отношение частот измеряется по схеме, показанной на рисунке 43.10. Низшая из частот формируется входным формирующим устройством и управляет устройством управления (схемой автоматики). Высшая из сравниваемых частот усиливается входным формирующим устройством А и через селектор подаётся на вход электронного счётчика.

Рисунок 43.10- Схема измерения отношения частот

Основная относительная погрешность измерения отношения частот (% при синусоидальном сигнале низшей из сравниваемых частот вычисляется по формуле (43.11):

$$\delta_{\hat{i}\grave{o}\acute{i}} = \pm \left[\frac{0{,}003}{n} + \frac{f_n}{nf_B} \right] \cdot 100, \qquad (43.11)$$

при импульсном сигнале низшей из сравниваемых частот и при длительности фронтов импульсов низшей частоты не более половины периода высшей из сравниваемых частот – по формуле (43.12):

$$\delta_{\text{îòí}} = \frac{f_n}{nf_n} \cdot 100, \qquad (43.12)$$

где f_B, f_H - высшая и низшая из сравниваемых частот, Гц;
n - коэффициент умножения периода.

43.6.4 Измерение интервала времени

Измерение интервала времени и длительности импульса производится по структурной схеме, приведённой на рисунке 6.5. Импульсы, интервал времени между которыми нужно измерить, подаются на входные формирующие устройства В и Г. Устройство управления (автоматики) вырабатывает строб-импульс, длительность которого равна измеряемому интервалу времени. На электронный счётчик поступают метки от генератора меток времени. При измерении длительностей импульса входной сигнал подаётся одновременно на входы В и Г, а выбор фронта для запуска и срыва автоматики производится соответствующими тумблерами.

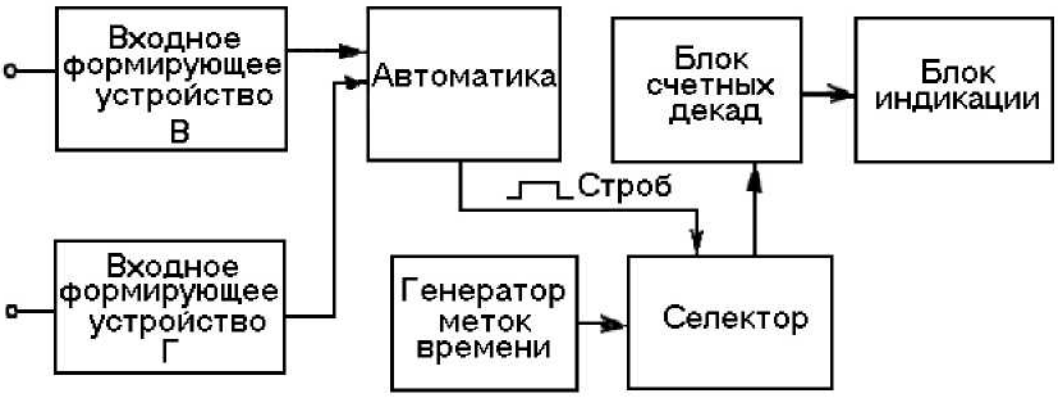


Рисунок 43.11 - Схема измерения интервала времени и длительности импульса

43.6.5 Самоконтроль частотомера

Самоконтроль производится по схеме, показанной на рисунке 43.12. На электронный счётчик поступают внутренние метки времени от генератора меток времени непосредственно или через схему автоматики.

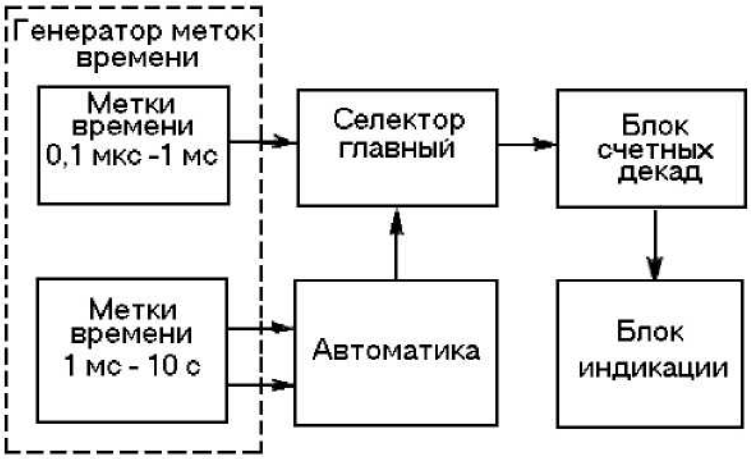


Рисунок 43.12 - Схема самоконтроля прибора

43.6.6 Частотомер ручной в корпусе мультиметра с диапазоном измерений до 2,5 ГГц АКТАКОМАСН – 2500

Прибор обеспечивает измерения в широком диапазоне частот (от 10 Гц до 2,5 ГГц) с основной погрешностью $4 \cdot 10^{-6}$ Гц; хорошая разрешающая способность (не хуже 0,1 Гц).

Данное устройство является высокочувствительным малогабаритным прибором для измерений частот в диапазоне очень высоких и ультравысоких частот. Прибор обеспечивает измерения в широком диапазоне частот, хорошая разрешающая способность. В приборе используется специальная микропроцессорная интегральная схема, в которой реализованы функции измерения частоты, периода сигнала, функции мультиразрешения, функция фиксации данных, функция относительных измерений, регистрации данных (отсчеты максимальных, минимальных и средних значений). Реализована функция автоматического отключения питания (Auto power off). Жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) обеспечивает удобство и простоту отсчета показаний даже в условиях высокой освещенности. Такой индикатор характеризуется малым потреблением энергии. Высокая точность измерений обеспечивается применением в приборе в качестве опорного кварцевого генератора низкой частоты.

Телескопическая антенна может быть использована для вылавливания в эфире передающихся частот портативных, стационарных или подвижных радиоизлучающих систем, таких как полицейские, пожарные радиосистемы, радиосистемы скорой помощи, такси, самолетные, морские и т.п. в диапазонах приблизительно от 5 до 30 см (обладающих различными мощностями, конструкциями радиопередающих систем, антенн и т.д.).

Таблица 43.1 - Технические характеристики

Характеристики	Значения		
1	2		
Индикация на приборе	ЖКИ (13 мм), 8 цифр.		
Измерения	Частот, в режиме фиксации данных, в режиме относительных измерений, запоминание (минимальных, максимальных, средних значений), измерение периода сигнала.		
Диапазон	2500 МГц	От 50 МГц до 2500 МГц (типовое значение максимум 2600 МГц)	
	500 МГц	От 10 МГц до 500 МГц	
	10 МГц	От 10 Гц до 10 МГц	
	Период	От 10 Гц до 10 МГц	
Чувствительность (среднеквадратичные	Диапазон	50 МГц - 75 МГц	J100 мВ
	2500 МГц	76 МГц - 2500 МГц	J 50мВ
	Диапазон	10 МГц-35 МГц	J120 мВ
	500 МГц	36 МГц - 350 МГц	J50мВ
		351 МГц-450 МГц	J120 мВ
	10 МГц	J50мВ	
	Период	J50мВ	

1	2
Погрешность измерения частоты	± (4 импульса в минуту+1 цифра)
Опорный генератор	Кварцевый генератор частотой 4,194 МГц
Температурный коэффициент опорного генератора	0,1 импульса в минуту/ 1 °С (стандартные условия (23 ± 5) °С)
Максимально допустимые значения	Максимальное значение напряжения размаха на диапазонах 500 и 2500 МГц составляет 5В
	Максимальное значение напряжения размаха на диапазонах 10 МГц и измерения периода сигнала составляет 250 В
Разъем для подачи сигнала на вход прибора	Типа BNC, гнезда
Корпус	Прочный пластмассовый корпус
Температура в условиях работы	От 0 °С до 50 °С

Продолжение таблицы 43.1		
Относительная влажность в условиях работы	Не выше 90 % в диапазоне температур от 0 °С до 35 °С	
Питание прибора	Батареи 4*1,5 В	
Потребляемый ток	Приблизительно 105 мА постоянного тока в диапазонах 500 МГц и 2500 МГц	
	Приблизительно 45 мА постоянного тока в диапазоне 10 МГц и в режиме измерения периода	
Параметры питания адаптера	9 В, диапазон токов от 300 до 500 мА, приспособлен для включения в розетку	
Отключение питания	Система автоматического отключения питания	
Габариты	173*80*35 мм	
Вес	340 г	
	АТ-20	Телескопическая антенна с BNC-разъемом
	РВ-01	Щуп для непосредственных измерений с BNC-разъемом
	СА-03	Мягкий чехол для переноски прибора, пара зажимов типа крокодил (только для частот J500 МГц)

Таблица 43.2 - Разрешающая способность и время осуществления выборок

Диапазон	Выбор времени пропускания сигнала	Разрешающая способность	Время осуществления выборок
1	2	3	4
2500 МГц	Быстрый режим - FAST	1000 Гц	0,5 с
	Медленный режим - SLOW	100 Гц	2,75 с
	Медленный режим - SLOW (вариант 1)	200 Гц	1,5 с
	Медленный режим - SLOW (вариант 2)	500 Гц	0,75 с
	Быстрый режим - FAST	100 Гц	0,75 с
10 МГц	Медленный режим - SLOW	1Гц	1,25 с

Продолжение таблицы 43.2

	Медленный режим -SLOW (вариант 1)	0,2 Гц	6с
	Медленный режим -SLOW (вариант 2)	0,1Гц	11с
500 МГц	Медленный режим -SLOW	10 Гц	6с
	Медленный режим -SLOW (вариант 1)	1000 Гц	5с
	Медленный режим -SLOW (вариант 2)	1000 Гц	1,5 с
	Быстрый режим -	1000 Гц	0,5 с

43.7 Поверка частотомеров

Поверка частотомеров осуществляется в соответствии с ГОСТ 8.422 - 81, который распространяется на щитовые, переносные, показывающие и самопишущие частотомеры (далее - частотомеры) классов точности 0,02 и ниже, предназначенные для измерения частоты электрических колебаний от 10 до 20000 Гц, изготовленные по ГОСТ 22261 - 94, ГОСТ 7590 - 93, ГОСТ 9999 - 94, а также по действовавшей ранее нормативно-технической документации, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 7.1, и применены следующие средства поверки: образцовый частотомер, пределы допускаемой основной погрешности которого приведены в таблице 7.2; вольтметр переменного тока класса точности 2,5 с пределом измерений 0 - 400 В, частотой 10 - 20000 Гц по ГОСТ 8711 - 93; универсальный осциллограф типа С1 - 76 с полосой частот 0-1 МГц; источник переменного тока синусоидальной формы с диапазоном регулирования выходного напряжения от 0 до 380 В, диапазоном частот 10 - 20000 Гц, мощностью 20 Вт; значения коэффициента нелинейных искажений не должны превышать указанных в нормативно-технической документации на частотомер конкретного типа; механический секундомер типа СОПпр-2а - 3 - 010; установка для испытания электрической прочности изоляции с испытательным напряжением до 2,0 кВ типа УПУ - 1М; мегаомметр типа М4101; поверочное приспособление для определения дополнительной погрешности от неуравновешенности подвижной части частотомера (клиновидная плита с углом наклона 5 °).

Таблица 43.3 - Операции поверки

Наименование операции	Обязательность проведения поверки при	
	выпуске из производства и ремонта	эксплуатации и хранении
Внешний осмотр	Да	Да
Проверка электрической прочности изоляции	Да	Нет
Проверка сопротивления изоляции	Да	Нет
Определение основной погрешности и вариации показаний	Да	Да
Определение дополнительной погрешности от неуравновешенности подвиж - ной части частотомера	Да	Да
Определение времени установления показаний частотомера	Да	Да

Таблица 43.4 - Пределы допускаемой основной погрешности образцового частотомера

Класс точности поверяемого частотомера	Предел допускаемой погрешности, % образцового частотомера
0,02	$1*10^{-3}$
0,05	$1*10^{-2}$
0,1	±0,02
0,2	±0,05
0,5	±0,1
1,0	±0,2
1,5	±0,5
2,5	±0,5
4,0	±1,0
5,0	±1,5

Для поверки частотомеров, имеющих допустимый угол наклона его установки в рабочем положении более чем на 5 °, изготовляют приспособление с углом наклона, соответствующим допустимому углу наклона поверяемого частотомера.

Допускается применять другие, вновь разработанные или находящиеся в применении средства поверки, прошедшие метрологическую аттестацию в органах

государственной метрологической службы и удовлетворяющие по точности требованиям настоящего стандарта.

При проведении поверки должны быть соблюдены условия по ГОСТ 22261 – 94, ГОСТ 7590 – 93, ГОСТ 9999 – 94: температура окружающего воздуха (20 ± 2) °С - для частотомеров классов точности 0,02 - 0,5 и (20 ± 5) °С - для частотомеров классов точности 1-5; относительная влажность воздуха (65 ± 15) %; напряжение сети питания (220 ± 4,4) В; частота 50 Гц; предельные отклонения частоты 50 Гц и содержание гармоник по ГОСТ 13109 – 97.

Основную погрешность и вариацию показаний определяют по истечении времени прогрева, указанного в ГОСТ 7590 – 93, ГОСТ 9999 – 94 и нормативно-технической документации на частотомер конкретного типа.

Основную погрешность и вариацию показаний определяют сравнением показаний поверяемого частотомера с действительным значением измеряемой частоты.

Основную погрешность и вариацию показаний определяют на всех числовых отметках шкалы, а у вибрационных частотомеров - на каждом из язычков.

Основную погрешность и вариацию показаний для частотомеров с несколькими значениями номинальных напряжений определяют: на всех числовых отметках шкалы - для одного из напряжений, на двух числовых отметках - для остальных напряжений. Одна из числовых отметок - конечная, другая - та, на которой при поверке на всех числовых отметках была максимальная погрешность.

Пределы допускаемых основных погрешностей частотомера могут быть выражены в виде абсолютной, приведенной или относительной погрешности.

Основную абсолютную погрешность Af^x в Гц определяют как максимальную разность между показаниями поверяемого частотомера и действительным значением измеряемой частоты и рассчитывают по формуле (43.7.1):

$$\Delta f_{max} = f_n - f_{\ddot{A}}, \qquad (43.7.1)$$

где f_n - показание поверяемого частотомера, Гц;

$f_д$ - действительное значение измеряемой частоты, Гц.

Основную относительную погрешность 8 в процентах определяют по формуле (43.13):

$$\delta = \pm \frac{\Delta f_{max}}{f_n} \cdot 100, \qquad (43.13)$$

где δ - относительная погрешность в процентах от значения измеряемой частоты;

Δf_{max} - наибольшая по абсолютному значению разность между показаниями поверяемого частотомера и действительным значением измеряемой частоты, Гц;

f - значение измеряемой частоты, Гц.

Приведенную погрешность ν в процентах определяют по формуле (43.14):

$$\nu = \pm \frac{f_{max}}{f_N} \cdot 100, \qquad (43.14)$$

где ν - приведенная погрешность в процентах от нормирующего значения;

f_N - нормирующее значение частоты, Гц.

Нормирующее значение при установлении приведенной погрешности определяют по ГОСТ 7590 – 93 или действующей нормативно-технической документации на частотомер конкретного типа.

Предел допускаемой вариации показаний в зависимости от класса точности или допускаемой основной погрешности определяют по ГОСТ 7590 – 93, ГОСТ 9999 – 94 и нормативно-технической документации на частотомер конкретного типа.

Вариацию частоты b в Гц определяют по формуле (43.15):

$$b = f_1 - f_2, \qquad (43.15)$$

где f_1 и f_2 - действительные значения измеряемой частоты, соответствующие одной и той же отметке шкалы поверяемого частотомера при плавном увеличении и уменьшении частоты. Допускается определять вариацию в процессе определения основной погрешности.

Основную погрешность и вариацию показаний частотомера определяют следующим образом. Поверяемый частотомер подключают к источнику переменного тока, обеспечивающему возможность регулировки выходного напряжения и частоты в пределах, необходимых для поверки частотомера, и имеющему синусоидальную форму кривой тока. Для визуального контроля формы кривой используют осциллограф. Значение выходного напряжения устанавливают равным номинальному значению напряжения поверяемого частотомера и контролируют в процессе поверки по вольтметру. Изменением частоты источника переменного тока устанавливают указатель шкалы поверяемого частотомера на поверяемой отметке, а действительное значение частоты отсчитывают по образцовому частотомеру, подключенному параллельно поверяемому. Если в качестве источника переменного тока используют низкочастотный измерительный генератор сигналов с усилителем мощности, допускается подключение образцового частотомера до усилителя мощности. Действительное значение измеряемой частоты допускается определять по шкале генератора, если используется прецизионный генератор, имеющий погрешность установки частоты не более $1*10^{-3}$ Гц. Если в качестве образцового частотомера используют электронно-счетный частотомер, допускается включать его в режиме измерения периода. При этом действительное значение измеряемой частоты f в Гц определяют как равенство (43.16):

$$f = \frac{1}{T}, \qquad (43.16)$$

где T - измеряемый период, с.

Погрешности измерения и вариации определяют дважды: при подходе к поверяемой отметке со стороны увеличения и уменьшения частоты.

Основную абсолютную, приведенную или относительную погрешности и вариацию показаний рассчитывают по формулам (43.12 – 43.15).

Частотомер, основная погрешность или вариация показаний которого по результатам поверки превышает допустимую, признают непригодным к применению.

Дополнительную погрешность, вызванную изменением положения частотомера от нормального, определяют следующим образом. Частотомер устанавливают на клиновидную плиту, имеющую угол наклона, равный допустимому углу наклона поверяемого частотомера, так, чтобы частотомер был наклонен вперед, и при номинальном значении напряжения и неизменном значении измеряемой частоты определяют дополнительную погрешность. Операцию повторяют при наклоне частотомера назад, влево, вправо, изменяя положение частотомера на плите.

Предел допускаемой дополнительной погрешности, вызванный отклонением положения частотомера от нормального, не должен превышать предельного значения допускаемой основной погрешности.

Частотомер, у которого дополнительная погрешность по результатам поверки превышает допускаемую, признают непригодным к применению.

Положительные результаты государственной первичной поверки оформляют записью в паспорте и нанесением на частотомер оттиска поверительного клейма.

Положительные результаты государственной периодической поверки оформляют нанесением оттиска поверительного клейма и выдачей свидетельства по форме, установленной Госстандартом, с указанием на обороте максимального значения погрешности частотомера. Положительные результаты поверки образцового частотомера оформляют нанесением оттиска поверительного клейма и выдачей свидетельства, на лицевой стороне которого наносят слово "образцовый", а на оборотной стороне записывают результаты поверки по ГОСТ 8.422 – 81.

Положительные результаты первичной и периодической ведомственной поверки оформляют в порядке, установленном ведомственной метрологической службой.

Частотомеры, не удовлетворяющие требованиям ГОСТ 8.422 – 81, к выпуску и применению не допускают, на них выдают извещение о непригодности, а клеймо гасят.

43.8 Пример отчета по лабораторной работе

Цель работы: Приобретение знаний о частотомерах и навыков практических расчетов погрешностей при измерениях частотомерами. В данной лабораторной работе проводят измерения с однократными наблюдениями ($n < 4$)

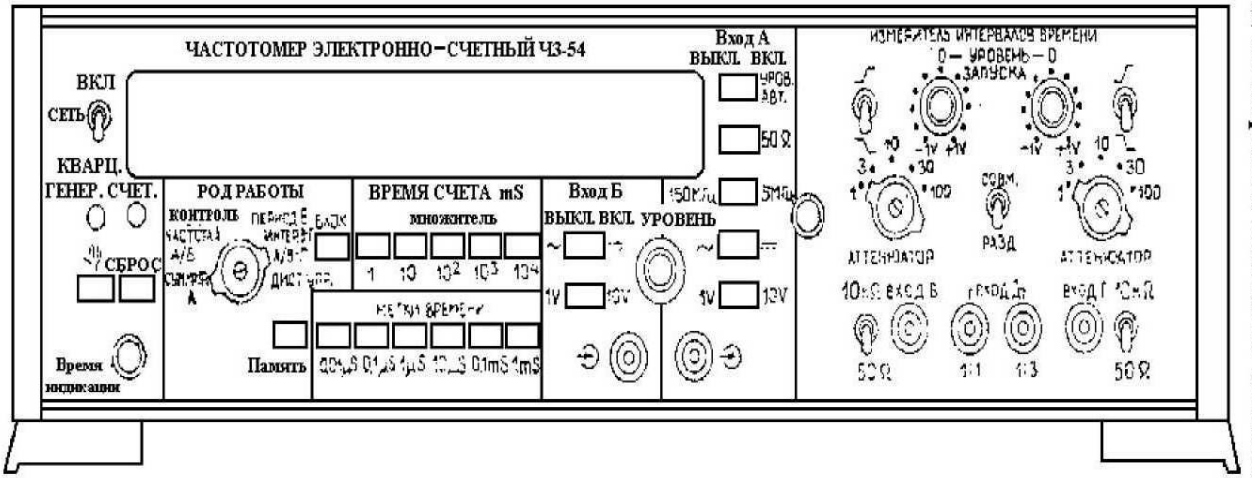


Рисунок 43.13 – Внешний вид электронно-счетного частотомера Ч3-54

Допустим, при измерении частоты частотомером получены три результата:
x_1 = 213,000005 Гц;
x_2 = 213,000004 Гц;
x_3 = 213,000006 Гц
при температуре 25 ° С.

Вычисляем среднее арифметическое значение:

$$\bar{x} = \frac{(213{,}000005)+(213{,}000004)+(213{,}000006)}{3} = 213{,}000005\,\text{Гц} \qquad (43.17)$$

Находим среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$S(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(0{,}000002)}{3-1}} = 0{,}000001\ \text{Гц} \qquad (43.18)$$

Известно, что предельно допустимая основная погрешность частотомера $\Delta_{си}$ = ± 0,000004 Гц.

Если $T_{изм}$ (температура, при которой производили измерения) не входит в интервал [18; 28] ° С, т. е. отличается от стандартных условий (23 ± 5) °С, то необходимо учесть температурный коэффициент опорного генератора, который составляет 0,1 импульса в минуту/ 1 °С.

С учетом перевода минут в секунды:

при $T_{изм}$ > 28 °С

$$\Delta_{äî ď.} = \pm 0{,}1 \cdot \frac{T_{čçě.} - 28}{60};, \qquad (43.19)$$

при $T_{изм}$<18°C

$$\Delta_{äî\,d'.} = \pm 0{,}1 \cdot \frac{18 - T_{čçě.}}{60};, \qquad (43.20)$$

В нашем случае $T_{изм}$ = 25 °C, т.е. выполняется условие 18 ≤ $T_{изм}$ ≤ 28, и $\Delta_{д\,оп}$ не учитывается.

Погрешность измерения частоты $\Delta_{допf}$ составляет ± (4 импульса в минуту + 1 цифра).

С учетом перевода минут в секунды:

$$\Delta_{äî\,d'.f} = \pm \Delta_{ŃČ} \cdot \frac{4}{60} = \pm \frac{\Delta_{ŃČ}}{15};, \qquad (43.21)$$

$$\Delta_{äîïf} = \pm \frac{0{,}000004}{15} = \pm 0{,}00000027\,\text{Гц}$$

Находим не исключенную систематическую погрешность (НСП):

$$\Theta = \pm \left| 0{,}000004 + 0{,}00000027 \right| = \pm\, 0{,}00000427 \qquad (43.22)$$

Определяем отношение НСП к СКО:

$$\Theta(P)/S(x) = 0{,}00000427/0{,}000001 = 4{,}27$$

Т. к. выполняется условие 0,8 ≤ Θ(P)/S(x) ≤8, то

$$\Delta P = K_{\Sigma}\left[\Theta(P) + \in P\right], \qquad (43.23)$$

$$\gamma = \frac{Q(P)}{\sqrt{3} \cdot K(P) \cdot S(x)}, \qquad (43.24)$$

$$\gamma = \frac{0{,}00000427}{\sqrt{3} \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}000001} = 2, \qquad K_{\Sigma} = \frac{\sqrt{1+(\gamma)^2}}{1+\gamma} = \frac{\sqrt{1+(2)^2}}{1+2} = 0{,}745;$$

$$\in (Đ) = Z_{p/2} \cdot S(x), \qquad (43.25)$$

где $Z_{p/2}$ - Коэффициент Лапласса, определяемый по таблице.

$$\in (P) = 1{,}414 \cdot 0{,}000001 = 0{,}00000414;$$

$\Delta P = 0{,}745\ [0{,}00000427 + 0{,}0000001414] = 0{,}000003286 = 0{,}0000033$ Гц

Результат измерений теперь можно записать следующим образом:

$$A = (213{,}000005 \pm 0{,}0000033)\ \text{Гц}$$

Выводы по проведенной лабораторной работе

Так как предел допускаемой погрешности частотомера составляет $4 \cdot 10^{-6}$ Гц, и случайная погрешность его не превышает, то можно сделать следующие выводы: такие точные наблюдения возможны только при поверочных работах сравнения с мерой; из-за своей малости систематическая погрешность не является определяющей при рядовых измерениях; случайная погрешность при рядовых измерениях также не будет иметь сильное отражение на разбросе результатов наблюдений.

В тех случаях, когда Вам нужно будет измерить фактическую частоту в какой-либо электронной схеме при ремонте или наладке данным частотомером, результаты наблюдений не будут иметь заметного разброса, так как $\Delta_{си}$, предел основной погрешности на высоких показаниях частот, имеет очень маленькую величину (4- 10^{-6} Гц).

43.9 Варианты и исходные данные для выполнения лабораторной работы

№ по списку группы	Частота, Гц	№ по списку группы	Частота, Гц
1	75.0	17	125.0
2	76.8	18	128.9
3	77.6	19	130.6
4	78.0	20	136.0
5	79.0	21	146.0
6	83.5	22	156.0
7	84.0	23	165.0
8	85.0	24	176.9
9	88.0	25	186.0
10	90.0	26	198.0
11	95.0	27	213.0
12	96.9	28	200.9
13	100.7	29	210.0
14	110.0	30	213.0
15	115.0	31	214.0
16	120.0	32	225.0

43.10 Вопросы для самоконтроля

- Какие методы повышения точности средств измерений Вы знаете, и в чем они заключаются?
- Чем определяется выбор метода измерения частоты?
- Перечислите достоинства современных частотомеров.
- Каким образом классифицируются частотомеры?
- Что можно измерить частотомером?
- Почему цифровые частотомеры получили большее применение, чем аналоговые?
- Для измерения каких частот чаще используются частотомеры мгновенных значений?

18 Перечень лабораторных работ раздела 10:

Раздел 10 Измерение частоты

Лабораторная работа № 43 Измерение частот частотомером

Список использованных источников

1 **Алтоиз, Б.А.** Влияние граничного слоя жидкости на эффективность теплообмена в системах с каналами малого сечения / Б.А. Алтоиз, В.Т. Дейнега – Научно-технический сборник «Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры» - Одесса: Вып.1. - 2001.- С.15 – 18.

2 **Алтоиз, Б.А.** Капиллярный вискозиметр для исследования тонких неоднородных жидких прослоек / Б.А. Алтоиз, Ю.М. Поповский – Вісник Одеськ. держ. ун – ту. – 2001. 1.6, вип.3. Фп. мат. Науки – с. 191 – 198.

3 **Алтоиз, Б.А** Физика приповерхностных слоев / Б.А. Алтоиз, Ю.М. Поповский - Одесса: Астропринт, 1995. – 153 с;

4 **Ландау, Л.Д** Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц - М.: Наука, 198 . – 617с.

5 **Царгородская, А.Б** Исследование ориентационных слоев нитробензола, образованных на металлической эролиспершой системе / А.Б. Царгородская, Б.А. Алтоиз, А.Ю.Поповский – Одеса, Вища школа, - 1998.

6 **Алтоиз, Б.А**. Метод клиновидной кюветы в исследованиях ориентационно упорядоченных пристенных слоев, сформированных вблизи непрозрачных подложек / Б.А.Алтоиз, А.Ю.Поповский – Збірник наукових праць «Вісник

Одеського державного університету» - 1999. – Т.4. – Вип.4. – с.22 – 26.

7 **Поповский, Ю.М** Исследование оптической анизотропии граничных слоев полидиметилсилоксилана и его смесей с тетрадеканом / Ю.М. Поповский, Н.Б. Берникова – Вопросы физики формообразования и фазовых превращений – Калинин: КГУ. – 1983. – С. 25 – 32.

8 **Зорин, З.М.** Вязкость полимолекулярных пленок воды и декана на поверхности кварца / З.М. Зорин, Н.В. Чураев, А.В. Новикова – Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. – Тула, 1993. – Вып. 3. – с. 42 – 49.

9 **Алтоиз, Б.А** Капиллярный вискозиметр для исследования тонких неоднородных жидких прослоек / Б.А. Алтоиз, Ю.М. Поповский – ВісНИК Одеськ. нашон. ун-ту.– 2001.– Т. 6.– Вип. 3. Фіз.– мат. науки.– с. 191 – 198.

10 **Овчинников, П.Ф.** Виброреология / П.Ф. Овчинников – Киев: Наукова думка, 1983. – 271 с.

11 **Алтоиз, Б.А** Капиллярный вискозиметр для исследования тонких неоднородных жидких прослоек / Б.А. Алтоиз, Ю.М. Поповский – Весник Одеськ. нацон. ун – ту. 2001. Т.6. Вип.3.

12 **Алтоиз, Б.А** Метод клиновидной кюветы в исследованиях ориентационно упорядоченных пристенных слоев сформированных вблизи непрозрачных подложек / Б.А. Алтоиз, А.Ю. Поповский – Вісник Одеськ. держ. ун – ту.– 1999.– Т. 4., вип.3. Фіз.–мат. науки.– с. 22–26.

13 **Поповский, Ю.М** Исследование оптической анизотропии граничных слоев полидиметилсилоксилана и его смесей с тетрадеканом. / Ю.М. Поповский, Н.Б. Берникова – Вопросы физики формообразования и фазовых превращений – Калинин: КГУ. – 1983. – с.25–32.

14 **Зорин, З.М** Вязкость полимолекулярных пленок воды и декана на поверхности кварца / З.М. Зорин, Н.В. Чураев, А.В. Новикова - Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. – Тула, 1993. – Вып.3. – с.42 – 49.

15 **Алтоиз, Б.А** Физика приповерхностных слоев / Б.А. Алтоиз, Ю.М. Поповский – Одесса: Астропринт, 1995.

16 **Р.Фейман** Фейнмановские лекции по физики / Р. Фейман, Р.Лейтон, М. Сэндс – Физика сплошных сред – Москва: Мир, 1977 – с 253 – 257.

17 **Авдеев, Б.Я.** Основы метрологии и электрические измерения / Б.Я. Авдеев – Л: Энергоатомиздат, 1987 – 480 с.

18 **Алиев, И.И.** Справочник по электротехнике и электрооборудованию / И.И. Алиев – М.: Машиностроение, 1979. - 385 с.

19 **Алиев, Т.М.** Измерительная техника: Учебное пособие для технических вузов / Т.М. Алиев, А.А. Тер –Хачатуров – М.: Высшая школа, 1991. – 384с.

20 **Артемьев, Б.Т** Справочное пособие для работников метрологических служб / Б.Т. Артемьев, С.М. Голубев: в 2 – х книгах – 3 – е издание, переработанное и дополненное – М.: Издательство стандартов, 1990 – 428с.

21 **Атамалян, Э.Г.** Приборы и методы измерения электрических величин: Учебное пособие для втузов / Э.Г. Атамалян – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.

22 **Брянский, Л.Н.** Краткий справочник метролога: Справочник / Л.Н.Брянский, А.С. Дойников – М.: Издательство стандартов, 1991 – 79с.

23 Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для втузов/ А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов – М: Машиностроение, 1986 – 352 с.

24 **Вайсбанд. М. Д.** Техника выполнения метрологических работ / М.Д. Вайсбанд, В.И. Проненко – Киев: Техника, 1986 – 230 с.

25 ГОСТ 8.563 – 96 Методика выполнения измерения. М.: Издательство стандартов, 1997-16с.

26 РМГ 29 – 99 ГСИ. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Общие термины и определения. – М: Издательство стандартов, 2000 – 46 с.

27 ГОСТ 8711 – 93 Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 1. Определения и основные требования методы испытаний. - М.: Издательство стандартов, 1993 – 29с.

28 ГОСТ 8711 – 93 Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Основные требования к амперметрам и вольтметрам. – М.: Издательство стандартов, 1993 – 37с.

29 ГОСТ 8711 – 93 Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 9. Рекомендуемые методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1993 – 31с.

30 ГОСТ 22261 – 94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. Введён с 01.01.1996. - Минск: Издательство стандартов, 1995 - 31 с.

31 ГОСТ 84 76 – 93 «Ваттметры и варметры» – М.: Стандарт, 1993– 15 с.

32 ГОСТ 8. 311 – 78 Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки Введ. с 07.07.78. – М.: Государственный комитет по стандартам, 1978 – 18 с.

33 ГОСТ 8. 422 – 81 Частотомеры. Методы и средства поверки. - М.: Издательство стандартов, 1982 – 10 с.

34 **Грановский, В.А.** Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т.Н. Сирая – Л.; Энергоатомиздат, 1990 – 288 с.; ил.

35 Дойников А.С. Соотношение понятий "погрешность" и "неопределенность" // Законодательная метрология 2002 – №4 – с. 38 – 40.

36 **Ермолов, Р.С.** Цифровые частотомеры / Р.С. Ермолов – Л.: Энергия, 1973. – 158 с.

37 **Жарковский, Б.И.** Приборы автоматического контроля и регулирования / Б.И. Жарковский - 1-е издание – М.: Издательство Высшая школа, 1983 - 309с.

38 Измеритель цифровой ЦР8001;Техническое описание и инструкции по эксплуатации./Завод изготовитель/Омск,1982 – 35с.

39 **Илюнин, К.К.** Справочник по электроизмерительным приборам / К.К. Илюнин – Л: Энергия, 1973 – 704 с.

40 **Кончаловский, В.Ю.** Цифровые измерительные устройства: Учебное пособие для вузов / В.Ю. Кончаловский - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.

41 **Кузнецов, Н.В.** Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Н.В. Кузнецов - М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

42 **Кукуш, В.Д.** Электрорадиоизмерения: Учебное пособие для вузов / В.Д. Кукуш – М.: Радио и связь, 1985. – 386 с.

43 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / Под ред. В.И.Нефедова. - М.:Высш.шк., 2001 - 383 с.

44 Никитин В.А. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: Учебное пособие по курсу «Методы и средства измерений, испытаний и контроля». – Оренбург: ОГУ, 2001. – 186 с.

45 **Никитин, В.А.** Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие/ В.А. Никитин, С.В. Бойко – 2-е изд. перераб. и доп.- Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007 – 462 с.

46 **Новака, Ю.А.** Основные виды промышленного оборудования, электрооборудования и приборов / Ю.А. Новака – М.: Высшая школа, 1988. – 272 с.

47 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов Б.Я.Авдеев, Е.М.Антонюк, Е.М.Душин и др.; под ред. Е.М.Душина - 6-е изд., перераб. и доп. - Л.; Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1987 - 480 с.;

48 Переносные амперметры и вольтметры постоянного тока. М.;-Л.: Госэнергоиздат, 1985. - 362с.

49 **Попов, В.С.** Электротехнические измерения и приборы / В.С. Попов – М: Госэнергоиздат, 1963 – 512 с.

50 Сигнализатор СТМ 10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации – Смоленский газоанализаторный завод, 1998 - 43 с.

51 **Соловцов, В.К.** Контрольно-измерительные приборы / В.К. Соловцев – М.: Изд. “Машиностроение”, 1966 – 268с.

52 **Тычино, К.К.** Цифровые частотомеры на транзисторах / К.К. Тычино – М.: Энергия, 1971 - 64 с.

53 **Фарзане, Н.Г.** Технологические измерения и приборы / Н.Г.Фарзане, Л.Г. Ильясов – М.: Высш.шк.., 1989. – 456 с.

Послесловие к лабораторному практикуму по курсу «Методы и средства измерений, испытаний и контроля», охватывающее все 3 части

Данное учебное пособие создавалось на протяжении более десяти лет. На всём протяжении этой работы, начиная с 2000 года, мне оказывали практическую помощь мои ученики и впоследствии выпускники квалификационной кафедры «Метрология, стандартизация и сертификация» транспортного факультета ГОУ ОГУ. Мне хочется выразить всем им искреннюю благодарность и признательность за помощь и участие, не смотря на то, что все они параллельно учились становиться исследователями и инженерами. Сотрудничество с бывшим заведующим кафедрой к.т.н., доцентом Бойко С.В. создало творческую атмосферу в преподавательской работе, и мне приятно выразить ему свою искреннюю признательность и благодарность. Мне приятно перечислить имена всех тех, кто, так или иначе, имеет отношение к этой работе:

1 Кузнецова А.А., совместное эл. издание уч. № 25Н091152000;
2 Проскурникова А.А., совместное эл. издание уч. № 25Н091142000;
3 Полтавцева Ж.В., совместное эл. издание уч. № 25Н091162000;
4 Заварзина О.В., совместное эл. издание уч. № 30Б101212000;
5 Бобылёва Н.А., совместное эл. издание уч. № 6Н101192000;
6 Алимамедова Л.В., совместное эл. издание уч. № 6н101172000;
7 Клычёва Е.А., совместное эл. издание уч. № 6Н101182000;
8 Золотарёва А.С., совместное эл. издание уч. № 02Н07612000;
9 Заварзина Т.В., Попова Е.С. (ныне Подлесных Е.С.), совместное эл. издание уч. № 06Н06272002;
10 Бондаренко Е.Г., совместное эл. издание уч. № 3Н06392003;
11 Хлынина Т.А., совместное эл. издание уч. № 17Н06472003;
12 Пономарёва М.А., совместное эл. издание уч. № 17Н06462003;
13 Бахтыбаева З.Т., совместное эл. издание уч. № 9Н06392003;
14 Николенко Н.А., совместное эл. издание уч. № 05Н05253003;
15 Нестеренко К.В., Артёмова Г.Н., совместное эл. издание уч. № 09Н06532004;
16 Бойко С.В. по уч. пособию, совместное эл. издание уч. № 30Б101212000 и № 13Н051092005;
17 Ванюшин А.Ю., совместное эл. издание уч. № 03Н071542006;
18 Лукоянов В.А., совместное эл. издание уч. № 04Н061562009;
19 Вольнов А.С., совместное эл. издание уч. № 29Н051542009;
20 Репях М.С., совместное эл. издание уч. № 05Н061572009;
21 Авилова Л. А., совместная верстка лабораторной работы «Вискозиметры»;
22 Бохан Е.С., «Фотометр фотоэлектрический КФК – 3», совместная верстка;
23 Варламова О.В., «Ареометры», совместная верстка;
24 Даутова О.М., «Амперметр переменного тока», совместная верстка;
25 Зарипова Г.Р., «Обзор по лабораторным весам», совместная верстка;
26 Кеян К.Е., «Термометры манометрические», совместная верстка;
27 Кройтор А.Ф., «Сахариметр», совместная верстка;

28 Мешков С.С., «Грузопоршневые манометры», совместная верстка;
29 Новиков Г. , «Жиромер», совместная верстка;
30 Панчишина И.А., Казаева К.Е., «Поверка теплотехнических величин», совместная верстка;
31 Салимова Э.И., «Ротаметры», совместная верстка;
32 Серосекова О.П., «Дилатометрические термометры», совместная верстка;
33 Шорохов Д.А., «Автомобильные весы», совместная верстка;
34 Шутяева Е.С., «Ртутные стеклянные термометры», совместная верстка;
35 Яншев Р.М., « Реометры стеклянные лабораторные», совместная верстка;
36 Головачёва А.С. «Влагомеры», совместная верстка;
37 Горбунов И.В., «Газоанализатор», совместная верстка;