

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Автоматизированный электропривод»**

**В. В. Логвин, В. В. Брель**

**ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ  
ТЕХНИКИ**

**ПРАКТИКУМ**

**по выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной формы обучения**

**Гомель 2022**

УДК 621.317(075.8)  
ББК 31.22я73  
Л69

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 10 от 25.06.2021 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *В. С. Захаренко*

**Логвин, В. В.**  
Л69 Основы метрологии и измерительно-преобразовательной техники : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. формы обучения / В. В. Логвин, В. В. Брель. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 32 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены электроизмерительные аналоговые и цифровые приборы, даны задания и рекомендации по выполнению работ.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной формы обучения.

УДК 621.317(075.8)  
ББК 31.22я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2022

## Введение

Современный этап развития человечества характеризуется огромными потоками измерительной информации, поэтому изучение метрологии, как учения об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности, является одной из обязательных дисциплин, изучаемых студентами различных технических специальностей, так как инженер обязан иметь четкое представление о метрологическом обеспечении производства и возможностях современной измерительной техники.

Важное значение при изучении метрологии имеют лабораторные работы, поскольку будущий специалист должен уметь пользоваться средствами измерений и испытательным оборудованием, обрабатывать результаты измерений и оценивать погрешности полученных результатов. А это умение можно получить только из практического опыта, приобретаемого в процессе выполнения задач, связанных с измерениями.

Основная цель практикума – научить: а) работать с основными типами измерительных приборов; б) вычислять основную и дополнительные погрешности; в) определять причины возникновения погрешностей измерений и оценивать их вклад в полную погрешность измерений; г) пользоваться методиками выполнения измерений; д) самостоятельно проводить измерения различных физических величин.

Лабораторный практикум содержит шесть методических указаний по проведению лабораторных работ, выполняемых студентами технических специальностей при изучении курса «Метрология, стандартизация и сертификация». Каждое указание состоит из двух частей: основных теоретических положений и инструкции по выполнению лабораторной работы.

В основных теоретических положениях рассматриваются как вопросы, связанные со спецификой конкретной лабораторной работы, так и общие вопросы, которые совокупности по всем лабораторным работам охватывают основы метрологии.

# ОСЦИЛЛОГРАФЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

## Лабораторная работа 1

**Цель работы:** ознакомление с принципом действия и устройством электронно-лучевого осциллографа, приобретение навыков по проведению различных измерений с помощью осциллографа.

### Задачи

а) Измерение параметров переменной составляющей напряжения, получаемого от источника постоянного тока Б5-50.

б) Проверка работоспособности генератора прямоугольных импульсов в заданном диапазоне частоты повторения, длительности импульсов и амплитуды.

в) Проведение совместных измерений скважности и параметров напряжения последовательности прямоугольных импульсов.

### Принцип действия электронно-лучевого осциллографа

Осциллограф – это измерительный прибор, предназначенный для визуального наблюдения электрических процессов, изменяющихся во времени, и измерения различных параметров сигнала. Основная функция осциллографа заключается в получении графического изображения временных зависимостей электрических сигналов в прямоугольной системе координат, при этом осью времени является ось абсцисс, а по оси ординат откладывается напряжение сигнала. Визуальное наблюдение этих зависимостей производится на экране, который представляет собой либо экран электронно-лучевой трубки (электронно-лучевой осциллограф), либо жидкокристаллический дисплей (цифровые запоминающие осциллографы). Однако формирование изображения в электронно-лучевом и цифровом осциллографах осуществляется принципиально различным путем.

В электронно-лучевом осциллографе изображение получается путем перемещения узкого электронного луча по экрану электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Этот луч проходит между двумя парами взаимно перпендикулярных отклоняющих пластин: вертикально отклоняющих  $Y$  и горизонтально отклоняющих  $X$ . Если к отклоняющим пластинам приложить электрическое напряжение, то

положение луча будет изменяться пропорционально значению приложенного напряжения. При одновременном воздействии переменных напряжений на обе пары пластин можно получить различные осциллограммы в зависимости от соотношения формы, фазы и частоты этих напряжений.

Для получения изображения временной зависимости исследуемого сигнала этот сигнал подается на вертикально отклоняющие пластины. На горизонтально отклоняющие пластины подается напряжение, линейно зависящее от времени, которое называют развертывающим. Под действием этого напряжения луч равномерно перемещается в горизонтальном направлении по экрану.

Линейная непрерывная развертка осуществляется подачей на горизонтальные пластины X ЭЛТ пилообразного напряжения (рис. 1), вырабатываемого генератором развертки осциллографа. В течение времени прямого хода луча  $t_{пр}$  под действием линейно нарастающего напряжения светящееся пятно движется по экрану слева направо с равномерной скоростью. В течение времени обратного хода луча  $t_{об}$  луч быстро возвращается в исходное положение. Таким образом, за время  $T_p = t_{пр} + t_{об}$ , называемое периодом развертки, луч осуществляет прямой и обратный ход. Развертывающее напряжение формируется так, чтобы  $t_{пр} \gg t_{об}$ , т. е.  $T_p \approx t_{пр}$ . Из-за большой скорости и специального гашения запирающим напряжением обратный ход луча обычно не просматривается.

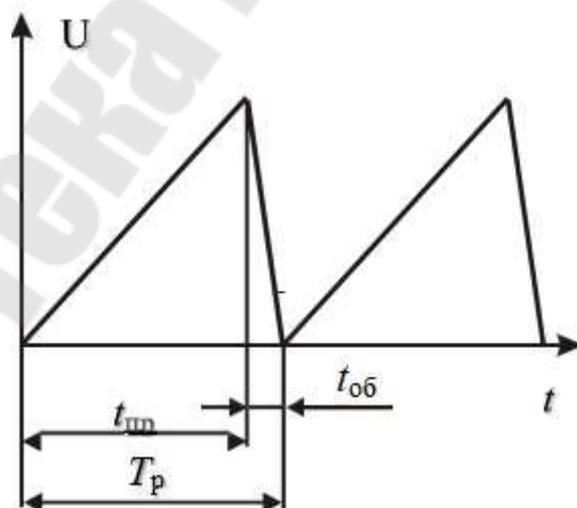


Рис. 1. Развертывающее напряжение осциллографа

При исследовании периодического напряжения изображение на экране осциллографа будет неподвижным и удобным для наблюдения лишь в том случае, когда период разворачивающего напряжения  $T_p$  равен или кратен периоду исследуемого сигнала  $T$

$$T_p = nT. \quad (1)$$

В случае невыполнения условия (1) изображение на экране будет неустойчивым, различные участки исследуемого сигнала будут накладываться друг на друга.

Электронно-лучевой осциллограф состоит из следующих основных узлов (рис. 2):

- аттенюатора (Ат);
- усилителя вертикального отклонения (УВО);
- электронно-лучевой трубки (ЭЛТ);
- калибратора (К);
- блока синхронизации (БС);
- генератора развертки (ГР);
- усилителя горизонтального отклонения (УГО).

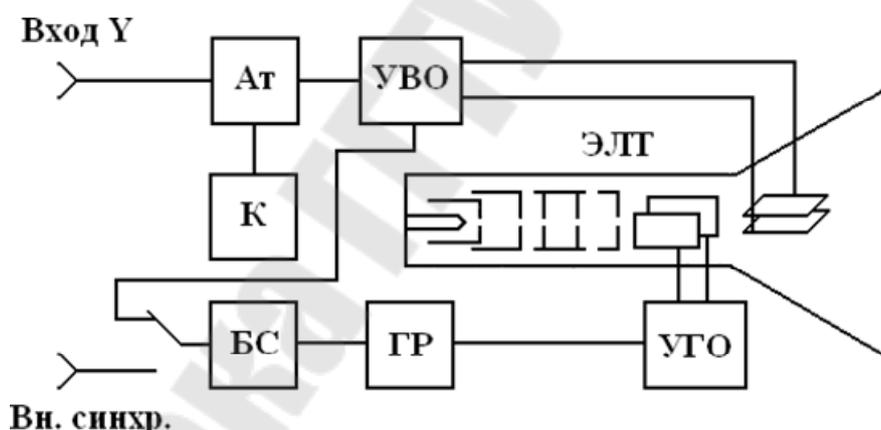


Рис. 2. Структурная схема электронного осциллографа

Исследуемый сигнал подается на вход  $Y$ , который имеет переключатель, обеспечивающий открытый или закрытый вход.

Открытый вход осциллографа – вход, при котором сигнал подается непосредственно на аттенюатор и используется для передачи постоянной составляющей сигнала.

Закрытый вход осциллографа – вход, при котором сигнал подается через разделительный конденсатор. Используется для отсечки постоянной составляющей сигнала.

Аттенюатор (делитель напряжения) предназначен для дискретной регулировки входного сигнала по амплитуде. Он обеспечивает постоянное значение коэффициента отклонения во всем диапазоне полосы пропускания УВО. Проградуирован в значениях коэффициента отклонения В/дел. УВО предназначен для усиления исследуемого сигнала до значения, достаточного для отклонения луча по вертикали на весь экран ЭЛТ.

Генератор развертки формирует линейно изменяющееся напряжение для горизонтального перемещения луча. Он имеет два основных режима работы: непрерывной (автоматической) и ждущей развертки. В непрерывном режиме генератор развертки вырабатывает непрерывное пилообразное напряжение. Этот режим используется при исследовании непрерывных периодических процессов, периодической последовательности импульсов с малой скважностью и т. п. При ждущем режиме генератор развертки выдает только один импульс развертки при поступлении исследуемого сигнала. Ждущий режим применяется при исследовании непериодических сигналов, а также импульсов малой длительности с большим периодом повторения.

Блок синхронизации предназначен для управления генератором развертки и обеспечивает кратность периодов сигнала и развертки. Для осуществления синхронизации в схему генератора развертки вводится синхронизирующий (запускающий) сигнал. В качестве такого сигнала можно использовать как сам исследуемый сигнал, так и внешний сигнал. Поэтому синхронизация бывает внутренняя, когда генератор развертки управляется исследуемым сигналом, и внешняя, при которой генератор развертки управляется внешним сигналом. Если генератор развертки управляется сигналом с частотой питающей сети, то развертка называется сетевой.

Выходной усилитель горизонтального отклонения предназначен для усиления напряжения развертки. Регулируя коэффициент усиления усилителя, можно увеличить напряжение развертки и растянуть изображение на экране, тем самым осуществляя временной масштаб (регулировка ДЛИТЕЛЬНОСТЬ). В усилителе предусмотрено смещение изображения по горизонтали.

Калибратор представляет собой генератор напряжений с точными значениями амплитуды и частоты. Эти напряжения подаются с выхода калибратора на вход Y для проверки правильности масштаба вертикальной (в единицах напряжений) и горизонтальной (в единицах времени) осей экрана.

## Лабораторная работа 2

**Цель работы:** ознакомление с принципом действия и устройством цифрового осциллографа, приобретение навыков по проведению различных измерений с помощью цифрового осциллографа.

### Задачи

а) Измерение параметров переменной составляющей напряжения, получаемого от источника постоянного тока Б5-50.

б) Проверка работоспособности генератора прямоугольных импульсов в заданном диапазоне частоты повторения, длительности импульсов и амплитуды.

в) Проведение совместных измерений скважности и параметров напряжения последовательности прямоугольных импульсов.

### Принцип действия цифрового осциллографа

Основным недостатком электронно-лучевых осциллографов является низкая точность измерения амплитуды и временных параметров переменных сигналов. Цифровые осциллографы не только устраняют этот недостаток, но и образуют новый класс многофункциональных приборов для одновременного измерения различных параметров сигналов.

Осциллографы С8-46/1, структурная схема которых приведена на рисунке 3, содержит следующие составные части:

- модуль основной;
- аттенюатор канала СН1 (Атт 1);
- аттенюатор канала СН2 (Атт 2);
- аналогово-цифровой преобразователь 1 (АЦП1);
- аналогово-цифровой преобразователь 2 (АЦП2);
- блок синхронизации;
- устройство преобразования;
- устройство управления яркостью;
- устройство формирования изображения;
- блок управления развертками;
- ЖКИ;
- блок питания (БП);
- внутренний генератор;

- устройство управления;
- CH1 - вход канала 1;
- CH2 - вход канала 2;
- TRIGGER - вход внешней синхронизации.



Рисунок 3 Схема структурная осциллографов

Исследуемые сигналы подаются на входы аттенюаторов 1 и 2. В аттенюаторах формируются сигналы синхронизации, поступающие на схему синхронизации, а также сигналы, поступающие на входы двух АЦП. АЦП преобразовывают аналоговые сигналы в цифровой код, который обрабатывается в устройстве преобразования.

Блок синхронизации получает сигнал от Атт. 1 (Атт. 2) или со входа TRIGGER и формирует импульсы запуска для устройства преобразования.

Модуль ЖКИ служит для отображения сигнала в видимое изображение.

Блок питания предназначен для получения ряда напряжений, которые необходимы для работы всех устройств осциллографа.

Устройство управления осуществляет выбор режимов работы осциллографа.

Внутренний генератор предназначен для формирования прямоугольных импульсов и для проверки работоспособности осциллографа.

Назначение органов управления, подключения и индикации, расположенных на передней панели осциллографа, указаны в таблице 1.

Таблица 1

Маркировка	Назначение
1	2
<b>SELECT</b>	Кнопка выбора курсора
<b>COARSE</b>	Кнопка переключения быстрого/плавного перемещения курсоров
	Ручка многофункционального контроля
<b>MEASURE</b>	Вход в меню измерений
<b>CURSOR</b>	Вход в меню курсорных измерений
<b>ACQUIRE</b>	Вход в меню сбора информации
<b>DISPLAY</b>	Вход в меню настроек параметров отображения
<b>STORAGE</b>	Вход в меню записи сигнала либо записи/вызова пользовательских установок
<b>UTILITY</b>	Вход в меню дополнительных функций
<b>RUN/STOP</b>	Запуск/остановка отображения информации на экране
<b>AUTO</b>	Включение функции автопоиска сигнала
<b>CH1</b>	Включение канала 1
<b>CH2</b>	Включение канала 2
<b>MATH</b>	Вход в меню математических функций
<b>REF</b>	Вход в меню работы с сохраненными сигналами
 <b>POSITION</b>	Ручка для перемещения по вертикали изображений сигналов в каналах CH1 или CH2
 <b>POSITION</b> 	Ручка для перемещения по горизонтали изображений сигналов
 <b>LEVEL</b>	Ручка уровня синхронизации
<b>OFF</b>	Выключение CH1, CH2, MATH или REF
<b>SET TO ZERO</b>	Установка смещения луча в нулевое положение
<b>SET TO ZERO</b>	Установка смещения луча в нулевое положение
<b>MENU (HORIZONTAL)</b>	Вход в меню для работы с выделенным окном
 <b>SCALE VOLTS/DIV</b>	Установка коэффициентов отклонения каналов
 <b>SCALE SEC/DIV</b> 	Установка коэффициентов развертки
<b>MENU (TRIGGER)</b>	Вход в меню установок режимов тракта синхронизации

Окончание таблицы 1

Маркировка	Назначение
1	2
<b>50%</b>	Установка уровня синхронизации на середину сигнала
<b>FORCE</b>	Форсированный запуск синхронизации
<b>HELP</b>	Вызов помощи
<b>X/CH1</b>	Вход канала CH1
<b>Y/CH2</b>	Вход канала CH2
<b>EXT TRIG</b>	Вход внешней синхронизации
<b>PROBE COMP</b>	Выход внутреннего генератора

Выполните измерения временных параметров переменной составляющей напряжения на клеммах источника постоянного тока Б5-50 и результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2

#### Результаты наблюдений напряжений

Измеряемые величины		Номинальное напряжение, В		
		5	10	15
Среднее значение	В			
	%			
Действующее значение	В			
	%			
Размах	В			
	%			
Максимальное значение	В			
	%			

Проведите проверку работоспособности генератора прямоугольных импульсов Г5-54 в заданном диапазоне частоты повторения, длительности импульсов и амплитуды, который задается преподавателем в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

**Варианты диапазонов частоты повторения,  
длительности импульсов и амплитуды**

Параметр	Вариант			
	А	Б	В	Г
Частота повторения, Гц	$(3...10)10^2$	$(1...3)10^3$	$(3...10)10^3$	$(3...10)10^4$
Длительность импульса, мкс	$(3...10)10^2$	$(3...10)10^2$	30...100	1...10
Амплитуда, В	0...22,5	0...7,5	0...7,5	0...2,25

Установите минимальное оцифрованное значение частоты повторения на шкале генератора Г5-54.

Снимите показания из экранных окон и занесите их в табл. 4.

Установите следующее оцифрованное значение частоты повторения на шкале генератора Г5-54, снимите показания и внесите их в табл. 4.

Таблица 4

**Показания осциллографа при проверке правильности задания  
частоты повторения**

Заданная частота, Гц	Показания осциллографа				Относительная погрешность, %
	Амплитуда, В	Период, мс	Длительность импульса, мс	Частота, Гц	

Повторяйте эту операцию до тех пор, пока не дойдете до верхнего значения заданного диапазона частот повторения.

Установите посредством ручки АМПЛ. генератора стрелку вольтметра на ближайшее большее деление шкалы, снимите показания и внесите их в табл. 5.

Таблица 5

**Показания осциллографа при проверке правильности задания амплитуды импульса**

Заданная частота, Гц	Показания осциллографа				Относительная погрешность, %
	Амплитуда, В	Период, мс	Длительность импульса, мс	Частота, Гц	

Выполните для получения зависимости между значением постоянной составляющей напряжения последовательности прямоугольных импульсов и скважностью (скважность  $Q$  – это отношение периода повторения к длительности импульса) следующие операции:

Установите минимальное значение длительности и частоты повторения импульса, а также среднее значение амплитуды (40 делений шкалы) для данного варианта.

Рассчитайте и внесите в табл. 6 для значений скважности 2, 4, 6, 8, 10 значения периода повторения и длительности импульса, учитывая то, что для скважностей 4, 6, 8, 10 в качестве опорного значения берется максимальное значение периода повторения из заданного диапазона частот повторения, а для скважности, равной 2, в качестве опорного значения используется длительности импульса при скважности, равной 4.

Установите в соответствии с табл. 6 с помощью ручек управления генератора значения периода повторения и длительности для определенного значения скважности, снимите показания по осциллографу и занесите их в табл. 6.

Таблица 6

**Результаты совместных измерений скважности и постоянной составляющей напряжения последовательности прямоугольных импульсов**

Q	T, мкс	$\tau$ , мкс	$U_M$ , В	$U_{0Э}$ , В	$U_{0Т}$ , В
10					
8					
6					
4					
2					

*Примечание:*

Q – скважность, T – частота повторения, τ – длительность импульса, U<sub>М</sub> – амплитуда импульса; U<sub>0Э</sub> – экспериментальное значение постоянной составляющей напряжения последовательности прямоугольных импульсов,

$$U_{от} = U_M / Q - \text{теоретическое значение постоянной}$$

составляющей напряжения последовательности прямоугольных импульсов.

Постройте по результатам совместных измерений графики зависимостей экспериментальных и теоретических значений постоянной составляющей от скважности.

Постройте по результатам совместных измерений графики зависимостей экспериментальных и теоретических значений амплитуды импульсов от скважности.

Таблица 7

**Результаты совместных измерений скважности и амплитуды напряжения последовательности прямоугольных импульсов**

Q	T, мкс	τ, мкс	U <sub>М</sub> , В	U <sub>размах</sub> , В	U <sub>МТ</sub> , В
10					
8					
6					
4					
2					

*Примечание:*

$$U_{MT} = (U_{размах} - U_M) / Q - \text{теоретическое значение}$$

амплитуды напряжения последовательности прямоугольных импульсов при закрытом входе.

### Содержание выводов отчета

1. По итогам выполнения задачи в выводах отчета должны быть представлены:

– результат измерения напряжения при установленном номинальном значении 10 В;

– результат измерения уровня переменной составляющей напряжения;

– результаты измерения частоты переменных составляющих.

2. По результатам выполнения задачи «б» в выводах отчета должны быть представлены:

– погрешность задания частоты повторения;

– погрешность задания длительности импульса;

– погрешность задания амплитуды;

– общее заключение о работе способности генератора;

– результат измерения для любого из наблюдаемых значений длительности импульса.

3. По результатам выполнения задачи «в» в выводах отчета должны быть представлены:

– результат измерения постоянной составляющей последовательности прямоугольных импульсов осциллографическим методом при открытом входе;

– результат измерения постоянной составляющей последовательности прямоугольных импульсов осциллографическим методом при закрытом входе;

– результат измерения скважности последовательности прямоугольных импульсов.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные узлы электронного осциллографа, объясните их назначение.

2. Как формируется изображение в электронном осциллографе?

3. Что значит открытый и закрытый входы осциллографа?

4. Чем отличается формирование изображения сигнала на экране электронно-лучевого и цифрового осциллографов?

5. Расскажите принцип действия цифрового осциллографа.

6. Назовите условия получения устойчивого изображения осциллографа.

7. Нарисуйте структурную схему цифрового осциллографа.

8. Напряжение какой формы вырабатывает генератор развертки электронного осциллографа?

9. Для каких целей в осциллографах применяются калибраторы?
10. Как влияет открытый и закрытый вход на значения параметров последовательности прямоугольных импульсов?
11. Чем обусловлено увеличение длительности фронта и среза импульса при наблюдении прямоугольного сигнала на осциллографе?
12. Как определить верхнюю граничную частоту осциллографа при измерении амплитуды прямоугольного импульса?
13. Назовите основные типы синхронизации.
14. Как измеряется амплитуда сигналов с помощью осциллографа?

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

### **Лабораторная работа 3**

#### **Измерительные механизмы приборов**

Измерительный механизм — основная часть каждого измерительного прибора. При воздействии на измерительный механизм измеряемой или функционально связанной с ней вспомогательной величины происходит перемещение его подвижной части. По углу поворота или по линейному перемещению подвижной части определяется значение измеряемой величины.

#### **Магнитоэлектрический измерительный механизм**

Подвижная часть магнитоэлектрического измерительного механизма (рис. 4) состоит из прямоугольной катушки (рамки) В. Обмотка рамки из тонкого изолированного медного провода наложена на алюминиевый каркас. На рамке укреплены две полуоси — керны, установленные в опорах. На одной из полуосей укреплены стрелка и концы спиральных пружин, через которые ток подводится к обмотке рамки.

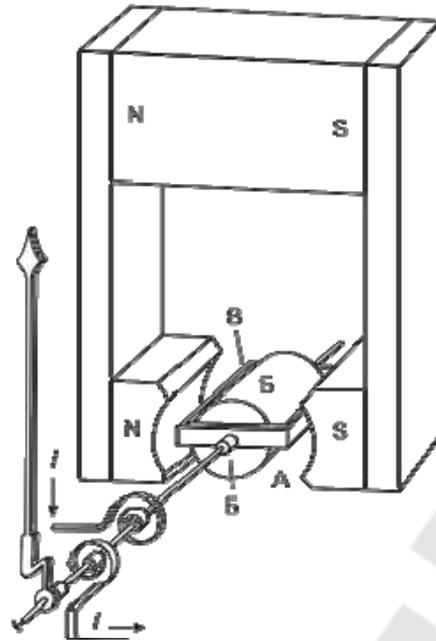


Рис. 4. Магнитоэлектрический измерительный механизм

Боковые стороны рамки расположены в узком воздушном зазоре А между неподвижным стальным цилиндром Б и полюсными башмаками N, S. Сильный постоянный магнит N—S создает в воздушном зазоре однородное радиальное магнитное поле.

На боковые стороны рамки, расположенные в магнитном поле, при наличии тока в обмотке, будет действовать пара сил  $F, F$  (рис. 5). Таким образом создается вращающий момент, пропорциональный току в рамке. Под действием этого момента рамка повернется на угол  $\alpha$ , при котором вращающий момент уравнивается противодействующим моментом пружин. Последний пропорционален углу закручивания пружин. Угол поворота рамки пропорционален току.

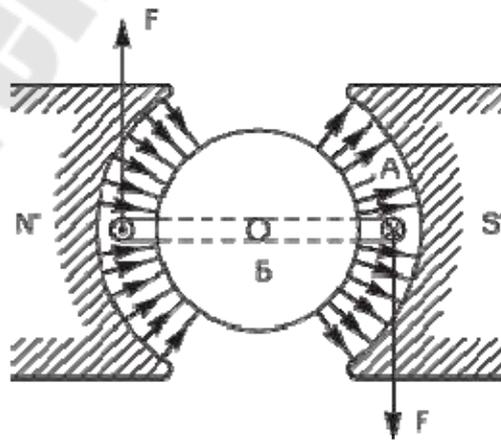


Рис. 5. Получение вращающего момента в магнитоэлектрическом измерительном механизме

**Успокоителем** называется приспособление, предназначенное для уменьшения времени колебаний подвижной части, возникающих после включения прибора. В магнитоэлектрическом измерительном механизме успокоителем является алюминиевый каркас рамки. При повороте подвижной части изменяется магнитный поток, пронизывающий каркас. В каркасе индуктируются токи, взаимодействие которых с магнитным полем магнита создает тормозной момент, обеспечивающий успокоение.

Рассмотренный измерительный механизм в связи с малым сечением пружин и провода обмотки изготавливается на малые номинальные токи 10—100 мА и меньше.

При включении магнитоэлектрического измерительного механизма рассмотренной конструкции в цепь переменного тока вращающий момент будет изменяться пропорционально мгновенному значению тока. При таком быстром изменении момента вследствие инерции подвижная часть не успеет следовать за изменением момента, и она отклонится на угол, пропорциональный среднему за период значению вращающего момента. При синусоидальном токе среднее значение тока, а следовательно, и момента равно нулю и подвижная часть не отклонится. Таким образом, рассмотренный измерительный механизм пригоден только для измерений в цепи постоянного тока.

### **Электромагнитный измерительный механизм**

Электромагнитный измерительный механизм показан на рис. 6. Он состоит из неподвижной катушки А и подвижной части — стального сердечника Б, указательной стрелки, пружины и секторообразного алюминиевого листка В успокоителя, укрепленного на одной оси.

Измеряемый ток, проходя по неподвижной катушке, создает магнитное поле, которое намагничивает сердечник Б и втягивает его внутрь катушки. По углу поворота сердечника определяют величину тока в катушке.

При движении листка В успокоителя в магнитном поле магнита М в нем индуктируются вихревые токи. Взаимодействие этих токов с полем магнита создает тормозной момент, обеспечивающий успокоение.

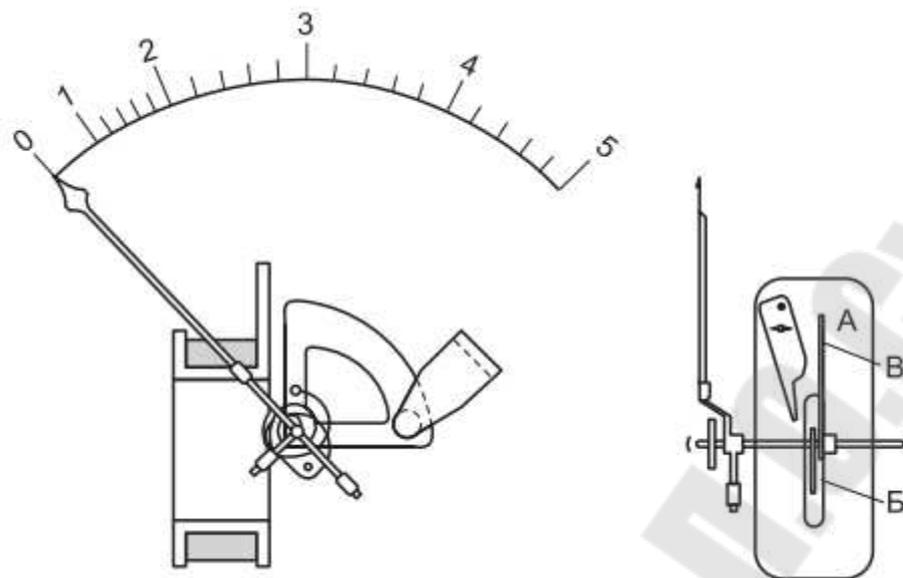


Рис. 6. Электромагнитный измерительный механизм

Электромагнитный измерительный механизм применим для цепей постоянного и переменного тока, так как втягивание сердечника в катушку не зависит от направления тока.

Вследствие влияния остаточной индукции сердечника втягивание, а следовательно, и показания измерительного механизма может быть различным при одинаковых значениях тока при увеличении тока и при уменьшении его. Следовательно, возможна погрешность от остаточной индукции. Для уменьшения этой погрешности сердечники изготавливают из пермалоя, остаточная индукция которого ничтожна.

Для уменьшения погрешности от внешних полей измерительный механизм окружают стальными экранами или кожухами. Для этой же цели применяют астатические измерительные механизмы с двумя последовательно соединенными катушками и соответственно с двумя сердечниками на одной оси. Измеряемый ток создает в катушках поля противоположного направления. Внешнее однородное поле уменьшает магнитное поле одной катушки и настолько же увеличивает поле второй катушки, таким образом, результирующее влияние внешнего поля будет ничтожным.

## Электродинамический измерительный механизм

Электродинамический измерительный механизм (рис. 7 и 8) состоит из двух катушек — неподвижной А, имеющей две секции, и подвижной Б, укрепленной на одной оси с указательной стрелкой, крылом В воздушного успокоителя и двумя спиральными пружинами.

При прохождении тока  $I_1$  по неподвижной катушке и тока  $I_2$  по подвижной катушке между ними возникает электродинамическое взаимодействие. В результате на подвижную катушку будет действовать пара сил  $FF$  (рис. 7), то есть вращающий момент. Поворот подвижной катушки происходит до тех пор, пока вращающий момент не уравнивается противодействующим моментом пружин.

При постоянном токе вращающий момент и угол поворота подвижной катушки пропорционален произведению токов в катушках. При переменном токе вращающий момент и пропорциональный ему угол поворота подвижной катушки определяется произведением действующих значений токов в катушках и косинусу угла сдвига между ними.

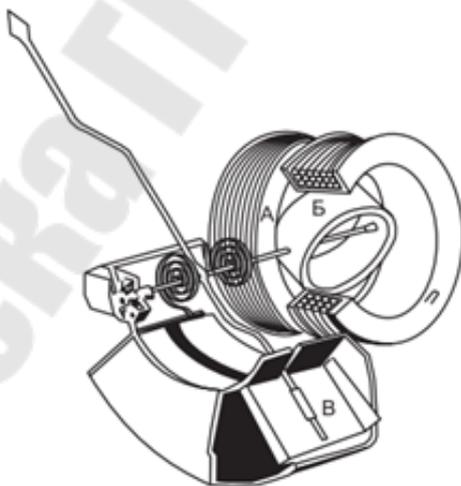


Рис. 7. Электродинамический измерительный механизм

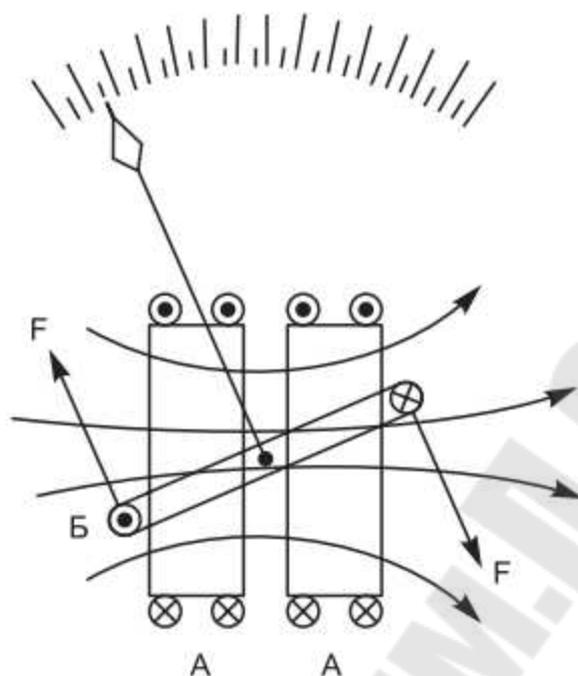


Рис. 8. Получение вращающего момента в электродинамическом измерительном механизме

Отсутствие стали в измерительном механизме, а следовательно, и погрешности от остаточной индукции обеспечивают возможность изготовить эти механизмы для измерений высокой точности.

Для уменьшения погрешностей от внешних магнитных полей, обусловленных слабым магнитным полем измерительного механизма, применяются те же средства, что и для электромагнитных измерительных механизмов.

Слабому магнитному полю соответствует слабый вращающий момент и, следовательно, для получения высокой точности необходимо уменьшить погрешность от трения. Это достигается уменьшением веса подвижной части и безупречной обработкой осей и опор. Кроме того, поперечное сечение пружин и проводов подвижной катушки мало, поэтому электродинамический измерительный механизм чувствителен к перегрузке.

### **Ферродинамический измерительный механизм**

Принцип работы этого измерительного механизма тот же, что и электродинамического. Он отличается от последнего наличием стального сердечника из листовой стали, на который наложена

неподвижная катушка, и неподвижного цилиндра из той же стали, который охватывается подвижной катушкой (рис. 9).

Стальной магнитопровод усиливает поле измерительного механизма, вследствие чего увеличивается вращающий момент, что приводит к более прочной конструкции и уменьшает влияние внешних магнитных полей на показания измерительного механизма. Применение стали увеличивает погрешности от остаточной индукции и вихревых токов в магнитопроводе.

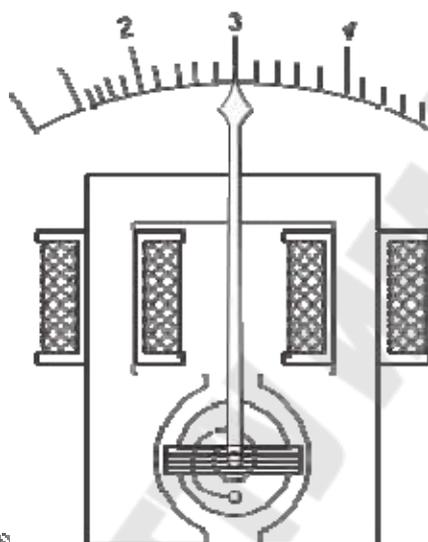


Рис. 9. Ферродинамический измерительный механизм

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Пределы измерения по току расширяются с помощью шунтов (точные резисторы с малым сопротивлением, включенные параллельно измерительному механизму), по напряжению – с помощью добавочных резисторов.

Сопротивление шунта  $R_{ш}$  (рис. 10) должно быть меньше сопротивления измерительного механизма  $R_A$  и подбирается так, чтобы при измерении основная часть измеряемого тока проходила через шунт, а ток, протекающий через рамку прибора, не превышал допустимого значения. Если необходимо иметь верхний предел

измерения амперметра  $I$ , а верхний предел измерения без шунта  $I_A$ , то сопротивление шунта

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}$$

Где  $n = I/I_A$ .

Например для измерения тока  $I = 5$  А прибором с  $I_A = 5$  мА при  $R_A = 10$  Ом  $R_{ш} = 0,01$  Ом.

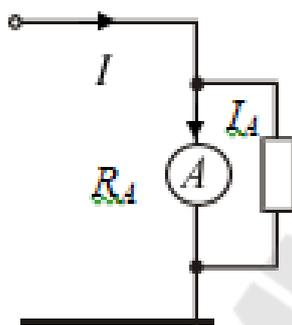


Рис. 10. Расширение пределов измерения амперметра

Амперметры для измерения сравнительно небольших токов (до нескольких десятков ампер) имеют внутренние шунты, вмонтированные в корпус прибора. Для измерения больших токов (до нескольких тысяч ампер) применяются наружные шунты.

При изготовлении вольтметра магнитоэлектрической системы последовательно с обмоткой рамки включают

добавочное сопротивление  $R_d$ , которое ограничивает падение напряжения на рамке прибора до допустимых пределов (рис. 11). Если необходимо измерять напряжение  $U$ , а верхний предел измерения прибора  $U_B$ , то величина добавочного сопротивления должна быть

$$R_d = R_p(m - 1),$$

где  $m = U/U_B$ ;  $R_p$  – внутреннее сопротивление вольтметра.

Например, для расширения диапазона измерения вольтметра с 1 В до 10 В, имеющего внутреннее сопротивление 1 кОм, необходимо включить последовательно добавочный резистор сопротивлением 9 кОм.

Добавочные сопротивления также бывают внутренними, встроенными в корпус вольтметра (при напряжении до 600 В) или наружными (при напряжении 600...1500 В). Наружные добавочные

сопротивления выпускаются на определенные номинальные токи (от 0,5 до 30 мА) и имеют классы точности от 0,02 до 1. Шунты и добавочные сопротивления изготавливаются из материалов с высоким удельным сопротивлением (манганин, константан), имеющих температурный коэффициент сопротивления, близкий к нулю.

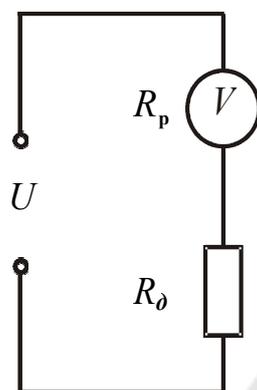


Рис. 11. Расширение пределов измерения вольтметра

Простейшая электрическая схема вольтметра электромагнитной системы показана на рис. 12. Она соответствует схеме замещения реальной катушки, в которой  $L$  – индуктивность катушки;  $R_v$  – активное сопротивление катушки, состоящее из сопротивления проводов обмотки и добавочного сопротивления.

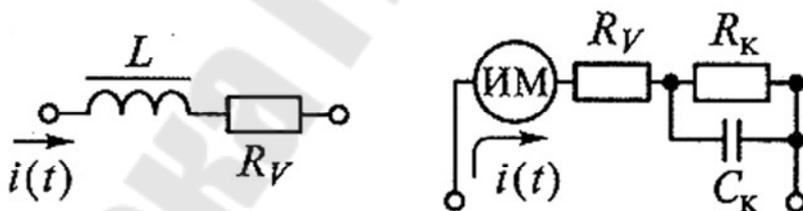


Рис. 12. Схемы вольтметра электромагнитной системы

В такой схеме с ростом частоты переменного напряжения  $\omega$  линейно растет индуктивное сопротивление катушки  $X_L$  согласно выражению:

$$X_L = \omega L,$$

При этом растет суммарное сопротивление цепи. Ток в катушке падает, что приводит к уменьшению показаний прибора.

Для поддержания полного комплексного сопротивления постоянным в некотором диапазоне частот вводится цепь частотной коррекции (конденсатор  $C_k$  и резистор  $R_k$  на рис. 12), сопротивление

которой с ростом частоты падает, компенсируя возрастание сопротивления катушки.

### **Погрешности стрелочных электроизмерительных приборов**

Основной метрологической характеристикой прибора является его погрешность. Она характеризуется отличием показаний прибора от действительного значения измеряемой величины, под которой понимают значение физической величины, найденное экспериментальным путем с помощью рабочих эталонов.

По способу выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности прибора.

Абсолютная погрешность прибора равна

$$\Delta = x - x_d,$$

где  $x$  – показания прибора;  $x_d$  – действительное значение или показания рабочего эталона.

Относительная погрешность прибора определяется выражением

$$\delta = \frac{x - x_d}{x} 100\%,$$

Приведенная погрешность прибора выражается формулой

$$\gamma = \frac{x - x_d}{X_H} 100\%,$$

где  $X_H$  – нормирующее значение, которое равно:

1. Большему из пределов измерения, если нулевая отметка расположена на краю или вне диапазона измерений.
2. Сумме модулей пределов измерения, если нулевая отметка расположена внутри диапазона измерений.
3. Длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерения, если шкала существенно неравномерна.
4. Номинальному значению измеряемой величины.
5. Модулю разности пределов измерений, если принята шкала с условным нулем (например, для температуры).

По характеру зависимости от измеряемой величины погрешности делятся на аддитивные и мультипликативные.

## Лабораторная работа 4

**Цель работы:** ознакомление с принципом действия стрелочных электроизмерительных приборов и приобретение навыков работы с ними.

### Задачи

- а) Калибровка вольтметра электромагнитной системы.
- б) Определение внутреннего сопротивления вольтметра электромагнитной системы.
- в) Расширение диапазона измерений вольтметра электромагнитной системы.
- г) Определение рабочего диапазона частот вольтметра электромагнитной системы.

## Лабораторная работа 5

**Цель работы:** ознакомление с принципом действия стрелочных электроизмерительных приборов и приобретение навыков работы с ними.

### Задачи

- а) Калибровка вольтметра электродинамической системы.
- б) Определение внутреннего сопротивления вольтметра электромагнитной системы.
- в) Расширение диапазона измерений вольтметра электродинамической системы.
- г) Определение рабочего диапазона частот вольтметра электродинамической системы.

Включите питание цифрового вольтметра тумблером СЕТЬ, установите диапазон измерения переменного напряжения 10 В, дайте прогреться прибору 10 мин.

Проведите калибровку вольтметра электромагнитной системы, выполнив следующие операции:

Подключите параллельно стрелочный и цифровой вольтметры к источнику переменного напряжения, в качестве которого используется ЛАТР.

Проверьте нахождение ручки регулятора напряжения ЛАТРа в крайнем левом положении; если ручка не находится в этом положении, то установите ее в требуемое положение.

Подсоедините ЛАТР к сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

Установите с помощью ручки регулировки напряжения ЛАТРа стрелку вольтметра на нижнем значении диапазона измерения.

Внесите показания цифрового вольтметра в табл. 8.

Установите с помощью ручки регулировки напряжения ЛАТРа стрелку вольтметра на следующем оцифрованном значении шкалы, снимите показания цифрового вольтметра и внесите их в табл. 8.

Таблица 8

**Результаты проверки точности вольтметра**

Показания стрелочного вольтметра $U_c, В$	Показания цифрового вольтметра $U_{ц}, В$		Абсолютная погрешность $В$		Относит. погрешность $\delta, \%$	Привед. погрешность $\gamma, \%$
	При возрастании	При убывании	При возрастании	При убывании		

Повторяйте операцию до тех пор, пока не дойдете до верхнего значения диапазона измерения стрелочного вольтметра.

Уменьшите с помощью ручки регулировки напряжения ЛАТРа показания стрелочного вольтметра до предыдущего оцифрованного значения шкалы, снимите показания цифрового вольтметра и внесите их в табл. 8.

Повторяйте операцию до тех пор, пока не дойдете до нижнего значения диапазона измерения стрелочного вольтметра.

Поверните ручку регулятора напряжения ЛАТРа в крайнее левое положение и отсоедините ЛАТР от сети переменного тока.

Вычислите для каждого оцифрованного значения шкалы абсолютную и приведенную погрешности, беря при этом наибольшее из двух значение абсолютной погрешности, и внесите их в табл. 8.

Определите внутреннее сопротивление вольтметра, выполнив следующие операции:

Подключите последовательно стрелочный вольтметр и амперметр к свободным клеммам ЛАТРа.

Установите на амперметре максимальный диапазон измерения.

Подсоедините ЛАТР к сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

Установите с помощью ручки регулировки напряжения ЛАТРа стрелку вольтметра на верхнем значении диапазона измерения.

Внесите показания вольтметра и амперметра в табл. 9.

Таблица 9

**Результаты определения внутреннего сопротивления вольтметра**

U, В	I, А	R, Ом	$\delta$ , %	$\Delta R$ , Ом

Поверните ручку регулятора напряжения ЛАТРа в крайнее левое положение и отсоедините ЛАТР от сети переменного тока.

Определите по закону Ома внутреннее сопротивление вольтметра.

Оцените относительную погрешность определения внутреннего сопротивления вольтметра по выражению:

$$\delta = \sqrt{(\Delta I / I)^2 + (\Delta U / U)^2},$$

где  $\Delta I$  – абсолютная погрешность измерения тока, оцениваемая по классу точности амперметра;  $\Delta U$  – абсолютная погрешность измерения напряжения, оцениваемая по классу точности вольтметра.

Оцените абсолютную погрешность измерения внутреннего сопротивления и внесите полученное значение в табл. 9.

Определите значение добавочного сопротивления для расширения диапазона измерения вольтметра в два раза, выполнив следующие операции:

Подключите последовательно стрелочный вольтметр и магазин сопротивлений к свободным клеммам ЛАТРа и подсоедините параллельно им цифровой вольтметр.

Установите на магазине сопротивлений значение сопротивления, соответствующее измеренному ранее внутреннему сопротивлению вольтметра.

Подсоедините ЛАТР к сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

Установите, медленно поворачивая ручку регулятора напряжения ЛАТРа, по цифровому вольтметру значение подаваемого напряжения, равное удвоенному верхнему значению диапазона измерения стрелочного вольтметра.

Установите, изменяя значение сопротивления, задаваемое магазином сопротивления, стрелку электромеханического вольтметра на верхнее значение диапазона измерения.

Снимите показания магазина сопротивления и внесите его в табл. 10.

Таблица 10

#### Определение значения добавочного сопротивления к вольтметру

Заданный предел измерения, В	Добавочное сопротивление, Ом	
	Расчетное	Опытное

Поверните ручку регулятора напряжения ЛАТРа в крайнее левое положение и отсоедините ЛАТР от сети переменного тока.

Определите рабочий диапазон частот стрелочного вольтметра, выполнив следующие операции:

Подсоедините генератор низкой частоты к сети переменного тока, включите его.

Установите с помощью органов управления генератора уровень выходного напряжения, равный нулю, а частоту выходного напряжения, равную 50 Гц.

Подключите параллельно стрелочный и цифровой вольтметры к генератору сигналов низкой частоты.

Установите с помощью органов управления генератора уровень выходного напряжения, равный верхнему значению диапазона измерения стрелочного вольтметра.

Внесите показания вольтметров в табл. 11.

Таблица 11

#### Определение частотного диапазона вольтметра

f, Гц	U <sub>с</sub> , В	U <sub>ц</sub> , В	δ, %

--	--	--	--

Установите частоту выходного напряжения генератора, равную 100 Гц, и уровень выходного напряжения, равный верхнему значению диапазона измерения стрелочного вольтметра.

Внесите новые показания вольтметров в табл. 11.

Установите частоту выходного напряжения генератора, равную 200 Гц, и уровень выходного напряжения, равный верхнему значению диапазона измерения стрелочного вольтметра.

Внесите новые показания вольтметров в табл. 11.

Измените частоту выходного напряжения генератора на 100 Гц, установите уровень выходного напряжения, равный верхнему значению диапазона измерения стрелочного вольтметра, внесите показания вольтметров в табл. 2.4.

Повторяйте операцию до тех пор, пока не дойдете до частоты выходного напряжения генератора, равной 1400 Гц.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие типы электроизмерительных приборов Вы знаете?
2. Каковы преимущества и недостатки приборов различных систем?
3. Какие виды погрешностей существуют?
4. Чем определяется класс точности прибора и как его определить при калибровке?
5. Нужно ли принимать во внимание собственное потребление приборов?
6. Как можно расширить предел измерения по току и напряжению?
7. В каком случае мощность, потребляемая электростатическим вольтметром, минимальна и практически равна нулю?
8. Расскажите принцип действия измерительных механизмов магнитоэлектрической системы.
9. Как обозначается класс точности стрелочных приборов?
10. Дайте определение диапазону измерений.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

## Содержание

Введение.....	3
Осциллографы и их применение.....	4
Лабораторная работа 1 .....	4
Лабораторная работа 2 .....	8
Исследование конструкций измерительных механизмов.....	16
Лабораторная работа 3 .....	16
Исследование свойств стрелочных электроизмерительных приборов.....	22
Лабораторная работа 4 .....	26
Лабораторная работа 5 .....	26

**Логвин Владимир Васильевич  
Брель Виктор Валерьевич**

**ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ  
ТЕХНИКИ**

**Практикум  
по выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 03.11.22.

Рег. № 43Е.  
<http://www.gstu.by>