

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых»**
(ВлГУ)

Институт инновационных технологий
Факультет радиоэлектроники и медицинской техники
Кафедра приборостроения и информационно-измерительных технологий

Легаев Владимир Павлович

Измерительные преобразователи

Лабораторный практикум по дисциплине «Измерительные преобразователи» для
студентов ВлГУ, обучающихся по направлению

200100 «Приборостроение»

Владимир 2013 г.

Легаев В.П. Измерительные преобразователи: Лабораторный практикум.-Владимир.: Изд ВлГУ, 2013.- 54с.

Рецензент: Никитин О.Р.

Рекомендовано к изданию в качестве электронного лабораторного
практикума
кафедрой «Приборостроение и информационно-измерительные технологии»

Протокол № от 2013г.

Легаев В.П., 2013

Владимир, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Измерения с помощью моста Р-33	5
Лабораторная работа № 2. Исследование параметров индуктивных датчиков при помощи прибора Ф480	9
Лабораторная работа № 3. Исследование оптического приемника	14
Лабораторная работа № 4. Исследование характеристик полупроводникового термосопротивления	19
Лабораторная работа № 5. Изучение методов поверки пирометрических приборов	20
Лабораторная работа № 6. Исследование работы детектора и сглаживающего фильтра с помощью осциллографа	30
Лабораторная работа № 7. Исследование индуктивных первичных преобразователей с помощью прибора Е12-1А	35
Лабораторная работа № 8. Исследование параметров фотоэлектрических преобразователей	39
Лабораторная работа № 9. Исследование неравновесной измерительной мостовой схемы	47
Лабораторная работа № 10. Проверка частотомеров и генераторов частот с помощью цифрового частотомера периодомера 43-22	51
Библиографический список	55

Введение

Курс «Измерительные преобразователи» является базовым при подготовке квалифицированных специалистов в области приборостроения. Полученные знания помогут студентам более детально и целенаправленно ориентироваться в вопросах выбора и применения датчиков в информационно-измерительных системах.

Приведены цель, общие сведения, описание применяемого оборудования, порядок выполнения лабораторных работ. Даны контрольные вопросы, задания и рекомендуемая литература.

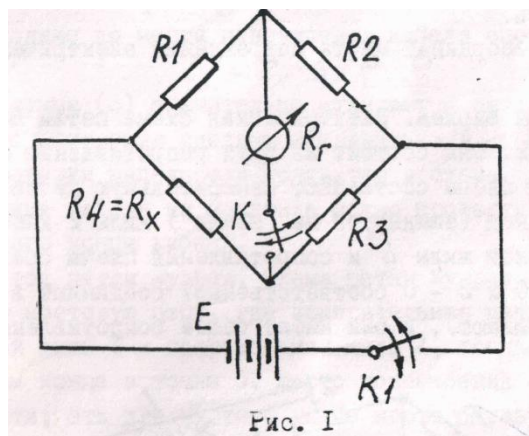
Лабораторная работа №1

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОСТА Р-33.

Цель работы: исследование метода определения сопротивлений и место обрыва или повреждения электрической проводной линии с помощью равновесной мостовой схемы постоянного тока (моста постоянного тока типа Р-333).

Общие сведения

Принципиальная схема электрического моста постоянного тока представлена на рис. 1.



Мост состоит из четырех активных плеч сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , источника питания E , индикатора (гальванометра R_r), элементов коммутации K и K_1 .

В практике измерения мостовой схемой различных неэлектрических величин, приведенных к измерению активного сопротивления, чаще всего используется равновесный режим ее работы (с ручным или автоматическим уравниванием) вследствие его высокой точности, экономичности и простоты. Условие равновесия моста постоянного тока имеет вид (см. рис.1):

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4. \quad (1)$$

При выполнении равенства (1) ток через гальванометр не протекает, и его стрелка устанавливается на нуль.

Мостовая схема на постоянном токе, выполненная в виде прибора Р-333, может быть использована для следующих измерительных целей:

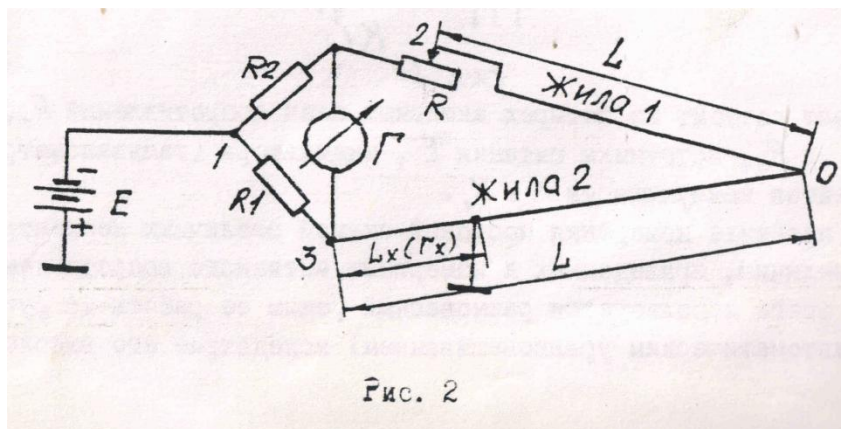
1. Измерение активного сопротивления. В случае, если одно из сопротивлений (пусть $R_4=R_x$) плеч моста неизвестно (измеряется), то, установив момент равновесия схемы по положению стрелки нуль - индикатора (гальванометра), сможем записать:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x, \text{ отсюда } R_x = R_1 \cdot R_3 / R_2.$$

Сопротивление R_x обычно считается по положению ручек отсчета декад. Отношение сопротивлений плеч R_1/R_2 считывается по положению ручки «множитель» и тогда $R_x = nR_3$, где n – множитель.

2. Измерение координат места повреждения электрического кабеля:

а) метод петли Варлея. Электрическая схема петли Варлея представлена на рис.2. Она состоит из двух сопротивлений плеч R_1 и R_2 . Два других плеча составляют измерительную петлю, состоящую из поврежденной (замкнутой на «землю») жилы 2 кабеля (участок L_x), исправной жилы L и сопротивления плеча сравнения R . Жилы 1 и 2 (2-0 и 3-0 соответственно) соединяют в отдельной точке 0 (закорачивают), и они имеют общее сопротивление r .



При уравновешенном мосте

$$R_2 r_x = R_1 (R + r - r_x),$$

$$r_x = n (R + r) / (n + 1),$$

где $n = R_1/R_2$ – множитель; R – сопротивление плеча сравнения; r – полное сопротивление обеих жил кабеля, которое находится как $r = 2\rho \frac{L}{S}$, (2)

где ρ – удельное сопротивление материала кабеля, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

для меди $\rho_m = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

для алюминия $\rho_A = 0,0278 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

L – длина жилы кабеля, $L = 46,0 \text{ м}$.

S – сечение жилы, $S = 0,8 \text{ мм}^2$;

r_x – сопротивление поврежденного участка.

Для уточнения результата следует провести второе измерение, поменяв местами концы жил в точках 3 и 2 (см. рис.2). Найденное новое значение координаты L_{x1} в сумме с L_x дает удвоенную длину кабеля $L_x + L_{x1} = 2L$.

Расстояние до места повреждения кабеля определяется по формуле $L_x = r_x \cdot S / \rho$ (3)

Если сумма (3) значительно отличается от двойной длины кабеля ($2L$), то измерения сделаны неправильно и их следует повторить после проверки надежности контактов в схеме. Для уточнения места повреждения кабеля на практике можно провести измерения с противоположного конца кабеля.

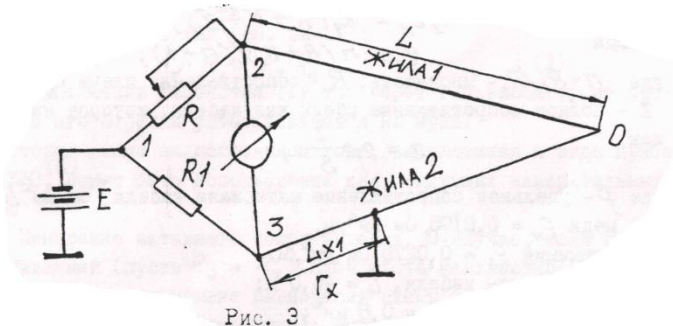
б) Метод петли Муррея. Схема петли Муррея (рис.3) представляет также мостовую цепь, где измерительная петля составляется из исправной жилы 1 и поврежденной жилы 2, соединенных вместе на удаленном конце в точке 0. Место повреждения x разделяет петлю на 2 части; эти две части в схеме моста образуют два плеча, а два других плеча образуются из сопротивлений, имеющих в самой схеме моста: R и R_1 .

Уравнение равновесия моста записывается $R \cdot r_x = R_1(r - r_x)$,

тогда $r_x = R_1 \cdot r / (R + R_1)$,

где r – общее сопротивление петли (обеих жил), которое находится данным формулы (2);

R - общее сопротивление отсчетных декад, соответствующее уравновешенному мосту.



В конструкции моста Р-333 сопротивление R_1 устанавливается в $O_{\max}$ ручкой "множитель" (метка красного цвета) и имеет индекс «М», тогда $r_x = M \cdot r / (R + M)$

Координата места повреждения далее рассчитывается и уточняется так же, как и для петли Варлея.

Описание моста постоянного тока типа Р-333

Прибор предназначен для:

1. Измерения сопротивлений по схеме одинарного моста от $5 \cdot 10^3$ до $999,9 \cdot 10^3$ Ом.
2. Определение места повреждения кабеля при помощи петли Варлея.
3. Определение места повреждения кабеля при помощи петли Муррея.
4. Измерение асимметрии проводов.
5. Использование в качестве магазина сопротивлений.

Мост имеет внутреннюю батарею питания, встроенный нуль-индикатор (гальванометр), четыре отсчетных омических декады ($\times 1000; \times 100; \times 10; \times 1$), ручку "множитель", переключатель рода работ "Схема" (измерение сопротивлений, ПВ - петля Варлея, ПМ - петля Муррея), кнопки "Вкл.", "Г", "грубо" и "точно" для включения и настройки гальванометра, а также зажимы 1, 2, 3, 4, для подключения измеряемых элементов.

Предусмотрена возможность подключения внешнего гальванометра и внешнего источника питания, на откидной крышке моста укреплен шильдик (табличка) с кратким описанием и инструкцией по эксплуатации моста.

Порядок выполнения работы

Внимание! При работе с внешним источником, работающим от сети, сначала подсоединить его к прибору, затем включить в сеть.

1. Ознакомиться с описанием работы.
2. Получить у преподавателя или лаборанта измеряемые элементы.
3. Произвести измерения на приборе Р-333;
 - а) активного сопротивления свыше 10 Ом, схема включения обычная двухпроводная;
 - б) активного сопротивления до 10 Ом, схема включения измеряемого сопротивления четырехпроводная для компенсации погрешности измерения от соединительных проводов (рис. 4). При таком включении измеряемого резистора сопротивления двух соединительных проводников входят в цепь гальванометра и источника питания, а сопротивления двух других встроенных проводников, подсоединенных к точкам 2 и 3 (они должны быть не более 0,005 Ом!), в противоположные плечи моста, чем практически исключается влияние соединительных проводников, подсоединенных к точкам 1 и 4, на погрешность измерения;

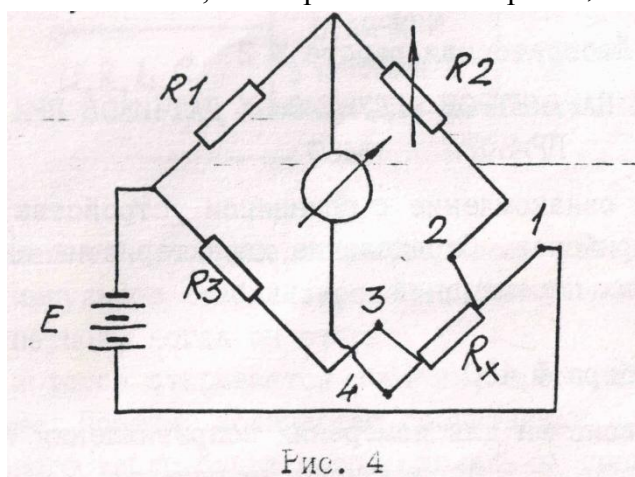


Рис. 4

- в) координаты места повреждения электрического кабеля по методу Варлея (двухпроводная схема);
- г) координаты места повреждения электрического кабеля по методу петли Муррея (четырёхпроводная схема).

Внимание! При выключении внешнего источника вначале выключить его из сети.

4. Оценить погрешности измерения во всех случаях.
5. Убрать рабочее место и сдать его преподавателю или лаборанту.
6. Составить отчет о работе, ответить на контрольные вопросы.

В отчете должна быть отражена цель работы, приведены основные теоретические положения, обосновывающие методы измерения, данные эксперимента с соответствующей обработкой, выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Нарисовать электрическую схему моста постоянного тока. В чем заключается условие равновесия мостовой схемы?
2. Как определить координату места обрыва электрического кабеля с помощью петли Варлея? Привести схему измерения и необходимые расчеты, соотношения.
3. Как определить координату места обрыва электрического кабеля с помощью петли Муррея?
4. В каком случае необходимо измерять активное сопротивление на приборе Р-333 по четырехпроводной схеме?
5. Какие возможны методы уточнения результата определения координаты обрыва кабеля?

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРА Ф480

Цель работы: ознакомление с принципом устройства цифровых измерительных приборов. Определение характеристик индуктивных датчиков линейных перемещений.

Описание прибора Ф480

Прибор предназначен для измерения сопротивления R , емкости C , индуктивности L , постоянного напряжения U , частоты f , интервала времени t , количества импульсов N и периода синусоидальных колебаний T . Результат измерения указывается на световом табло в цифрах, что исключает погрешность считывания. Точность измерения (относительная погрешность).

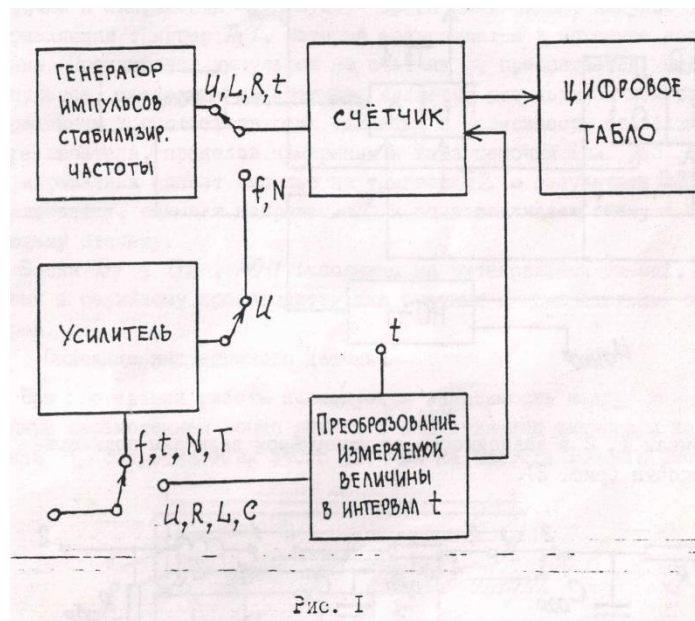
$$\delta = \pm \left(0.5 + 0.2 \cdot \frac{X_k}{X} \right), \%$$

X_k – значение предела измерения;

X – значение измеряемой величины.

Прибор работает по принципу времяимпульсного преобразования.

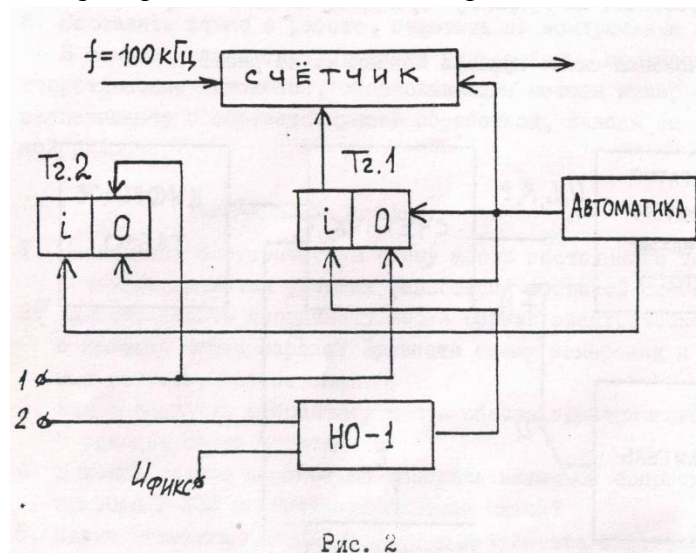
Функциональная схема прибора приведена на рис. 1.



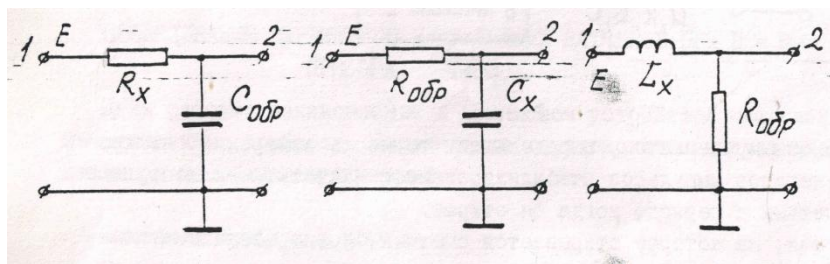
Основным элементом, определяющим точность измерений, является генератор импульсов стабилизированной частоты. Они поступают на счетчик в период, когда он открыт.

Время, на которое открывается счетчик, пропорционально измеряемой величине. Поэтому количество сосчитанных импульсов и показания цифрового табло будут пропорциональны измеряемой величине.

В зависимости от характера измеряемой величины меняется схема преобразователя и положение переключателей, измеряющих порядок прохождения сигнала (см.рис.1). Например, при измерении сопротивления, емкости и индуктивности схема преобразователя имеет вид, представленный на рис. 2



К точкам 1, 2 в зависимости от измеряемой величины подключаются цепочки (рис. 3).



Индексом «х» обозначена измеряемая величина, индексом "обр." образцовая величина, находящаяся в приборе. Схема выдает автоматически два импульса: первый осуществляет сброс, т.е. возвращает схему в исходное положение, второй включает через триггер Т2 опорное постоянное напряжение E на цепочку, подключенную к точкам 1, 2

Импульс напряжением E передним фронтом запускает триггер Тг 1, который открывает вход счетчика. Импульсы с кварцевого генератора частотой $f = 100$ кГц проходят на счетчик до тех пор, пока нарастающее в точке 2 напряжение не достигнет установленного при настройке значения $U_{\text{фикс}}$. В момент равенства напряжения в точке 2 напряжению $U_{\text{фикс}}$ ноль - орган НО-1 выдает импульс на управляющий триггер Тг 1, который возвращается в исходное положение, Прохождение импульсов на счетчик . прекращается. Число импульсов, прошедших на счетчик, является результатом измерения, выраженным в соответствующих единицах в зависимости от положения переключателя, пределов измерения и вида цепочки (см. рис.3).

Автоматика подает импульс на триггер Тг 2. В результате Тг 2 переключается, снимает напряжение E и подготавливает схему к следующему отсчету.

Блоки Тг1, Тг2, НО-1 выполнены на интегральных схемах, принятых к серийному производству для счетных и измерительных приборов.

Описание индуктивного датчика.

При проведении работы исследуется зависимость между x - линейным перемещением конца рычага 1 индуктивного датчика и величиной R_x сопротивления этого датчика на частоте 100 кГц(рис.4).

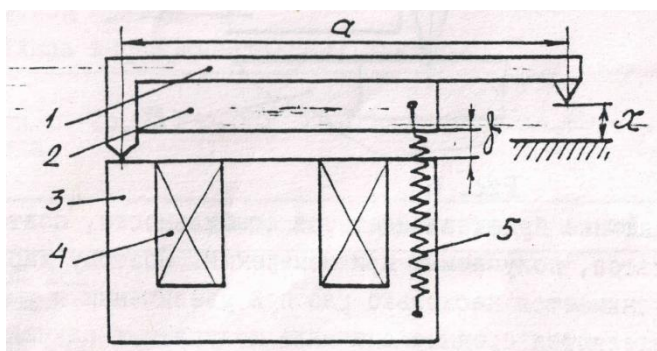
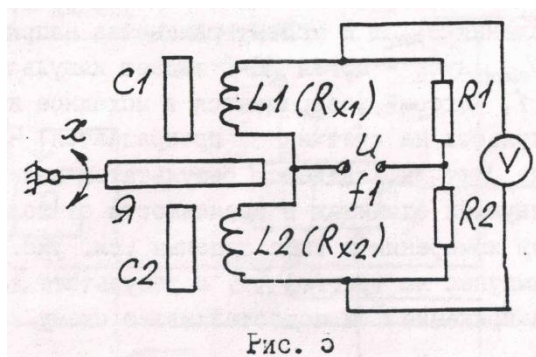


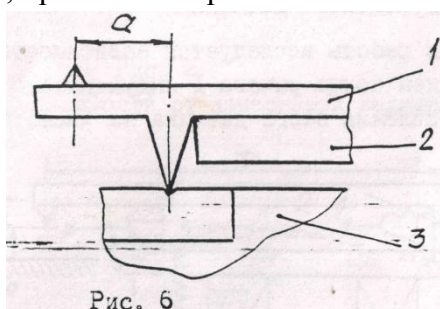
Рис.4 индуктивный датчик: 1 – рычаг; 2 – яркорь; 3 – сердечник; 4 – катушка; 5 – пружина

При увеличении зазора δ между яркорем и сердечников уменьшается индуктивность катушки 4 и, следовательно, уменьшается сопротивление катушки L переменному сигналу. Эта зависимость используется для разработки измерительных устройств с индуктивными датчиками. Применяются эти датчики в мостовых схемах

(дифференциальные датчики). Два одинаковых датчика L_1 и L_2 (рис. 5) имеют общий якорь $Я$ и сердечники C_1 и C_2 . При движении якоря от нулевого положения сопротивление одного датчика увеличивается, а у другого – уменьшается. Равновесие мостовой схемы нарушается, разностное напряжение измеряется при помощи прибора "V", показания которого можно проградуировать в величинах X .



Для увеличения точности измерения при сужении диапазона измерений меняют величину a плеча рычага, например, как показано на рис. 6. Обозначения на рис. 6 соответствуют обозначениям, принятым на рис. 4.



Точность датчика будет зависеть от стабильности, повторяемости результатов, получаемых при измерении. Поэтому характеристика датчика снимается несколько раз при увеличении и уменьшении размера, определяются среднее значение получаемых случайных функций и среднее квадратичное их разброса от среднего значения.

Порядок выполнения работы

1. Включить прибор Ф 480 в сеть. Прибор заземлить.
2. Включить тумблер "Сеть" в верхнее положение.
3. Включить тумблер "Автом." - "Внешн. имп." в положение "Автом." и " $U_{ex} > 10V$ " в нижнее положение.

ВНИМАЙТЕ! При измерениях не допускается замыкание контактов на корпус прибора и между собой.

4. Подсоединить к прибору индуктивный датчик измерения линейных величин к гнезду "вход" (через кабель).
5. Через 10 - 15 минут после включения произвести калибровку прибора: установить переключатель рода работы в положение "Калибр" RCf. На табло должна загореться цифра 997 ± 2 . Затем в положение "Калибр" UL, при этом должно быть 879 ± 5 (переключатель устанавливать напротив соответствующей точки!). Если после дополнительной выдержки прибора во включенном состоянии необходимое значение

не появляется, то производится калибровка прибора под наблюдением лаборанта или преподавателя.

6. Установить переключатель рода работ в положение "Измер.LRC", переключатель пределов в положение 10 кОм. На цифровом табло зажигается результат измерений.

7. Получить результаты измерений при измерении показаний микрометра. Заполнить таблицу для 21 результата X_i ; провести измерения при обратном ходе (уменьшая величину X).

8. Пункт 7 выполнить еще 3 раза.

9. Выключить прибор, убрать рабочее место.

10. Вычислить $\sum R_i$, $\bar{R}$, $\sigma(R_i)$, $3\sigma(R_i)$ и записать в таблицу.

11. Построить график зависимости X_i от R_i с границами $\pm 3\sigma(R_i)$ у полученной кривой.

Таблица экспериментальных замеров

Номер							
Показания	25.00	24.75	24.50	24.25	24.00		20.00
Микрометра, мм							
Величина сопротивления (кОм), R _i							
1.Прямой ход							
2. Обратный ход							
3. Прямой ход							
4. Обратный ход							
5. -//-							
6. -//-							
Окончание таблицы экспериментальных замеров							
ΣR _i							
∂(R _i)							
σ(R _i)							
± 3σ(R _i)							

Обработка результатов измерения

Для расчета $\bar{R}$, $\sigma(R_i)$ и $3\sigma(R_i)$ можно использовать:

1. Вычислительную машину БК0010 в ауд. 217, используя имеющуюся программу обработки статистических данных или составив программу вычислений самостоятельно.
2. Программируемые микрокалькуляторы, введя в них программу вычислений.
3. Микрокалькуляторы, в которых программа предусмотрена в схеме (например МК-51).
4. Вычислительную машину "Электроника ДЗ-28" или другие вычислительные машины, используя программы по обработке статистических данных.
5. Обычные микрокалькуляторы различных модификаций.

При вычислении микрокалькуляторами и вычислительными машинами используются следующие формулы:

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n}, \quad d(\bar{Z}) = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2}{n-1}, \quad \sigma(\bar{Z}) = \sqrt{d(\bar{Z})},$$

где n - число наблюдений с одинаковыми условиями родной и той же величины);

Z_i -результат (отсчет) измерения;

i - порядковый номер результата измерения.

Контрольные вопросы

1. функциональная схема прибора Ф480.
2. Чем определяется точность измерений на приборе Ф480?
3. Схема измерения сопротивления, емкости и индуктивности на приборе Ф480.
4. Схема индуктивного датчика и принцип его работы.
5. Формулы для вычисления $\bar{R}_i$, $d(R_i)$, $\sigma(R_i)$.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА

Цель работы: ознакомление с устройством оптического приемника специального назначения и с приборами, предназначенными для его проверки. Определение диаграммы чувствительности оптического приемника относительно двух осей поворота.

Устройство оптического приемника

Приемник состоит из зеркала 1 (рис. 1, которое в продольном сечении (рис. 1, а) имеет форму параболы с фокусом F , лежащим на оси 00 приемника в окне перед фотосопротивлением 3. Крышка 2 имеет узкую диафрагму, щель, совпадающую с осью 00 , и окно перед фотосопротивлением 3. В поперечном сечении (рис. 1, б) зеркало имеет вид окружности с центром на оси 00 (для любого сечения, перпендикулярного оси).

Ось параболы зеркала имеет с осью 00 угол α . Поэтому все лучи, параллельные оси параболы, собираются в фокусе F и попадают на фотосопротивление. Лучи, идущие под углом θ , отклоняющиеся от α (в поперечном сечении) не попадают в окно перед фотосопротивлением и не воспринимаются. В поперечном сечении лучи, прошедшие через щель, лежащую на оси 00 , отражаются зеркалом под тем же углом θ , под которым они пришли, но попадают в окно 3 перед фотосопротивлением. Поэтому сигнал (лучистый поток), идущий на фотосопротивление, мало меняется при измерении угла θ , ослабление сигнала происходит из-за уменьшения сечения лучистого потока, прошедшего через щель и через окно при увеличении θ .

Диаграмма чувствительности оптического приемника имеет малую ширину в сечении, которое проходит через ось приемника $0-0$. Она определяется как разность между углами α_1 и α_2 , на которых величина сигналов U_1 и U_2 равна $1/2 U_{\max}$ соответствует углу α – углу центра диаграммы чувствительности.

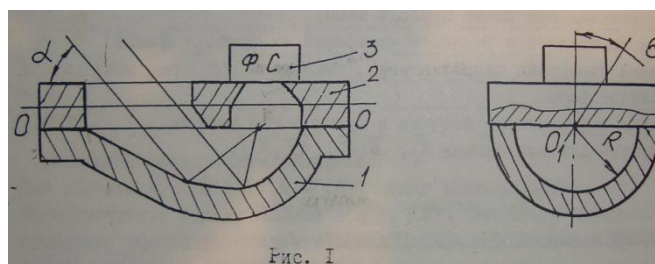


Рис. 1

При различных углах θ (рис. 1, 6) характер диаграммы чувствительности меняется слабо, но величина сигнала при увеличении θ постепенно снижается. Это объясняется тем, что в данной конструкции приемника лучи, прошедшие под углом к оси приемника, независимо от угла θ , концентрируются в окне перед фотосопротивлением 3.

Описание лабораторной установки

Для определения параметров диаграммы чувствительности используется следующее оборудование (рис. 2):

- 1 - устройство для поворота приемника 6, закрепленного на нем, относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Поворот относительно вертикальной оси производится дискретно через $22,5^\circ$; в каждом положении устройство фиксируется (угол θ). Поворот относительно горизонтальной оси производится плавно и с помощью лимба устанавливается с точностью до $0,5^\circ$ (угол α);
- 2 - источник излучения;
- 3 _____ - модулятор светового потока;
- 4 - милливольтметр;
- 5 - универсальный источник питания;
- 6 - оптический приемник;
- 7 - вольтметр.

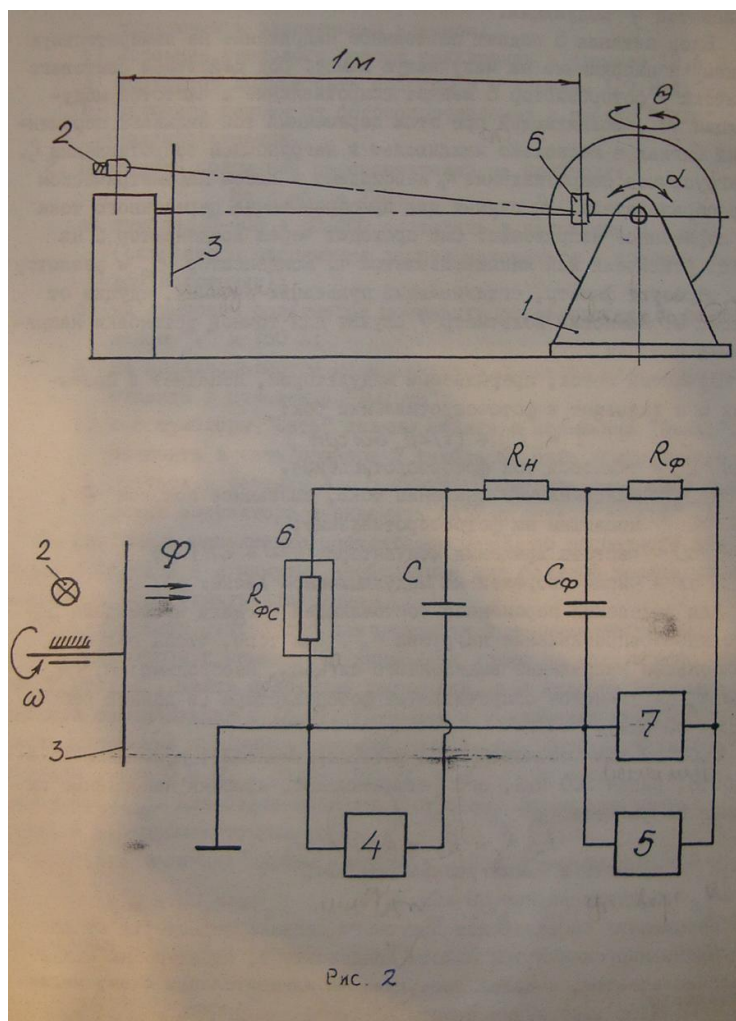


Рис. 2

Модулятор предназначен для того, чтобы получить не постоянный, а переменный световой поток с определенной частотой f . Благодаря этому значительно повышается помехоустойчивость устройства, оно реагирует только на сигнал с частотой модуляции и не реагирует на постоянную засветку от окружающего фона. Для этого усилитель электрического сигнала должен усиливать только сигналы с частотой f модуляции.

Блок питания 5 подает постоянное напряжение на измерительную схему и напряжение на излучающую лампу. Под действием светового потока Φ фоторезистор 6 меняет сопротивление с частотой модуляции f . Возникающий при этом переменный ток вызывает переменный сигнал в несколько милливольт в нагрузочном сопротивлении R_H . Нагрузочное сопротивление R_H необходимо в любом параметрическом преобразователе. R_H служит для преобразования переменного тока в переменное напряжение. Оно проходит через конденсатор C_ϕ на вход усилителя или милливольтметра 4. конденсатор C_ϕ и резистор R_ϕ образуют фильтр, сглаживающий пульсации питания, идущие от блока 5. Ламповый вольтметр 7 служит для точной установки напряжения питания.

Лучистый поток, прерываемый модулятором, попадает в приемник 6 и вызывает в фотосопротивлении ток: $I = I_T + (1/2)I_0 \sin \omega t$

где I_T - темновой ток фотосопротивления;

I_0 - максимальное значение тока, вызванное потоком Φ , попавшим на фотосопротивление;

ω - частота вращения модулятора ($\omega = 2\pi f$);

n - число прорезей на модуляционном диске.

Для выделения переменной составляющей сигнала необходимо постоянное сопротивление нагрузки R_H . Для того, чтобы получить наибольшее напряжение выделенного сигнала, необходимо: $R_T < R_H$ где R_m – темновое сопротивление фоторезистора (в данной работе $R_T = 60$ кОм).

Рабочий ток-(темновой) для фотосопротивления, применяемого в работе, равен 300 мкА, его устанавливают, изменяя напряжение питания из расчета:

$$I_T(R_T + R_H + R_{\Phi}) = U_n$$

R_H - принято в схеме равным 360 кОм;

R_{Φ} - принято равным 80 кОм.

Переменная составляющая полезного сигнала отделяется от постоянного напряжения при помощи конденсатора, стоящего на входе милливольтметра, и далее поступает на измерительную схему милливольтметра.

Порядок выполнения работы.

1. Проверить схему:

- а) питающее напряжение должно подаваться от клемм 0- 400В на УИП. Минусовой провод на всех приборах должен быть подключен к заземленным клеммам;
- б) источник светового потока подключить к клеммам 12,6В
- в) модулятор должен быть подключен к клеммам 127В ЛАТРа;
- г) включить разъем от фотосопротивления в гнездо "ВХОД" милливольтметра.

2. Проверить положение переключателей на приборах:

На приборе УИП:

- а) тумблер 0-400 20-500 поставить в положение 0-400 (регуляторы напряжения должны находиться в крайнем левом положении);
- б) на ламповом вольтметре поставить переключатели в положение "+" и 150В
- в) на милливольтметре переключатель пределов измерения поставить в положение "100мВ";
- г) все тумблеры "Сеть" должны стоять в положении "Выкл.". Включить в сеть приборы и тумблеры. Дать приборам прогреться в течение 3 – 5 минут.

Проверить свободное вращение модулятора и включить ЛАТР в сеть.

3. Увеличить напряжение регулятором 0-400 до расчетного значения и через 1 - 2 минуты, необходимые для полного заряда конденсатора C_{Φ} начать измерения.

4. Установить устройство для поворота приемника по углам θ и α так, чтобы приемник был направлен прямо на излучатель. Изменяя угол α , найти положение приемника, при котором величина сигнала максимальная ($U_{\max}$). Уменьшая и увеличивая угол α , найти положение приемника (углы α_1 и α_2), при котором величина сигнала равна $0,5 U_{\max}$. Найти углы α_3 и α_4 , при которых сигнал равен $0,1 U_{\max}$. Для более точного построения формы диаграммы снять 4 – 6 промежуточных точек.

5. Найти величину ширины диаграммы направленности и

$$: |\alpha_1 - \alpha_2|, = |\alpha_3 - \alpha_4|.$$

Полученные в пп.4 и 5 данные занести в таблицу.

		$\alpha_{\max}$	α_1	α_2	$\Delta\alpha$	α_3	α_4	$\Delta\alpha_{01}$	U_m , мВ	U_3 , мВ
$\Theta_1 = 0^\circ$	α , град									
	U , мВ									
$\Theta_2 = +22,5^\circ$	α , град									
	U , мВ									
$\Theta_1 = -22,5^\circ$	α , град									
	U , мВ									

6. Найти величину шумов приемника за счет рассеивания лучистого потока на зеркале и на предметах фона $U_{\text{ш}}$. Для этого плавно повернуть приемник на угол ($\alpha_{\max} = +40^\circ$). Выключить излучатель и найти величину электрических шумов приемника U_3 (среднее положение колеблющейся стрелки). Оба значения занести в графы $U_{\text{ш}}$, U_3 . Чувствительность милливольтметра изменять переключателем.

7. Повторить пп. 4, 5, 6 для положений приемника под углом $\theta = +22,5^\circ$ и $\theta = -22,5^\circ$.

8. Выключить приборы и модулятор. Поставить выключатели в исходное положение.

ВНИМАНИЕ! При вращении модулятора следить, чтобы никакие предметы и провода не могли коснуться вращающегося диска. Все приборы должны быть заземлены.

9. В отчете должны быть представлены:

- схемы устройства для проверки диаграммы чувствительности и электрическая функциональная схема устройства с кратким описанием;
- расчет $U_{\text{П}}$, $\Delta\alpha$ и $\Delta\alpha_{01}$ с таблицей полученных данных;
- график зависимости U от α для θ_1 , θ_2 и θ_3
- определение, коэффициента С/П для оптической части приемника (отношение сигнал - помеха) для каждого из θ .

$$(C/P)_{\text{опт}} = U_{\max} / (U_{\text{ш}} - U_3);$$

- оценка расхождения в значениях $\alpha_{\max}$, определенных при θ_2 и θ_3 на данном приспособлении по сравнению с истинным значением относительно оси приемника (при $\theta = 0$).

10. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Устройство оптического приемника.
2. Понятие диаграммы чувствительности оптического приемника.
3. Устройство определения диаграммы чувствительности оптического приемника.
4. Назначение модулятора светового потока.
5. Работа схемы для определения сигнала от фотосопротивления.

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель работы: исследование полупроводникового, термосопротивления (ПТС), изучение методов коррекции нелинейных зависимостей. Экспериментальное снятие характеристик некоррелированного и корректированного термосопротивлений.

Общие сведения

Термосопротивление представляет собой проводник или полупроводник с большим температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), находящийся в теплообмене с окружающей средой, вследствие чего его сопротивление зависит от температуры и определяется режимом теплового обмена. Все термосопротивления относятся к классу параметрических преобразователей.

Полупроводниковые объемные термосопротивления (или термисторы) изготавливают из смеси окислов различных металлов (например, CuO , CoO , MnO). В процессе изготовления термосопротивление подвергают обжигу при высокой температуре. При обжиге окислы спекаются в плотную массу, образуя химическое соединение.

Конструктивно термосопротивления изготавливают в виде стержней, шайб, дисков и бусинок. На рис. 1 схематически показано устройство полупроводниковых термосопротивлений типа ММТ (медно - марганцевое термосопротивление) и КМТ (кобальтомарганцевое), широко используемых в настоящее время. Термосопротивления типов ММТ-1 и КМТ-1 представляют собой полупроводниковый стержень 1, покрытый эмалевой краской, с контактными колпачками 2 и выводами 3. Эти типы термосопротивлений могут быть использованы лишь в сухих помещениях.

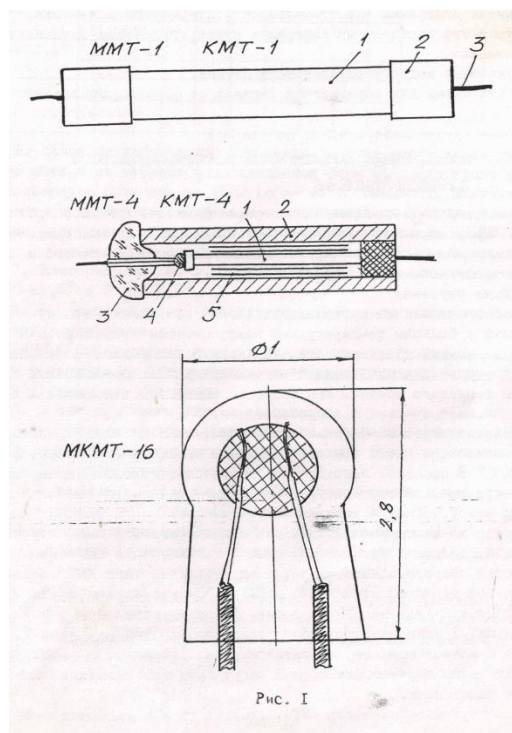


Рис. I

Термосопротивления типов ММТ – 4 исследуются в настоящей работе и КМТ-4 смонтированы в металлических корпусах 2 и герметизированы, благодаря чему они могут быть применены в условиях любой влажности и любой среды, не являющейся агрессивной относительно корпуса термосопротивления. Герметизация осуществляется стеклом 3 и оловом 4. Стержень 1 обернут металлической фольгой. Эти термосопротивления выпускают на номинальные значения от 10° до $2 \cdot 10^5 \text{ Ом}$ (при $+20^\circ\text{C}$), они пригодны для работы в диапазоне температур от -100 до $+120^\circ\text{C}$

Термосопротивление МКМТ-16 является миниатюрным бусинкового типа.

Величина сопротивления полупроводника характеризуется зависимостью

$$R_T = A e^{B/T} \quad (1)$$

где A - постоянная, зависящая от физических свойств полупроводника, размеров и формы термосопротивления, Ом;

B - постоянная, зависящая от физических свойств полупроводника;

T - температура термосопротивления в градусах абсолютной шкалы,

$$T = 273 + t \text{ } ^\circ\text{C},$$

e - основание натуральных логарифмов, $e = 2,7$.

Температурный коэффициент полупроводникового термосопротивления, определяющий величину, его чувствительности, отрицательный

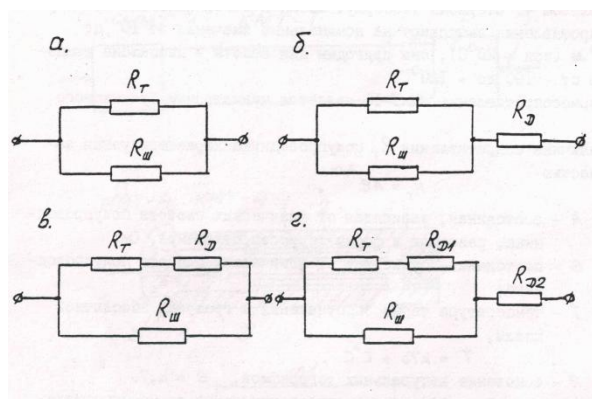
$$\alpha = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{\partial R_T}{\partial T}$$

Дифференцируя (1), находим $\alpha = -\frac{B}{T^2}$

ТКС достигает значений от - 2,5 до – 4,1 град. Это в 6 - 10 раз больше ТКС металлов.

Зависимость величины сопротивления ПТС и его ТКС от температуры весьма нелинейная. Она меняется от образца к образцу, Это затрудняет получение линейных шкал приборов, используемых в качестве чувствительного элемента ПТС, и не обеспечивает взаимозаменяемости термосопротивлений, необходимой при массовом производстве. Ввиду этого для улучшения вида шкалы и обеспечения взаимозаменяемости в измерительную цепь прибора ПТС включают дополнительно обычные термoneзависимые сопротивления.

Подобную комбинацию термосопротивления с другими сопротивлениями, включаемыми для исправления его характеристики, обычно называют **корректированным термоэлементом**. Схемы корректированных термоэлементов приведены на рис. 2.



Простейшей схемой коррекции является схема, приведенная на рис. 2,а, здесь параллельно термосопротивлению R_T подключено термoneзависимое сопротивление $R_{ш}$. Такая схема коррекции, позволяя получить более или менее линейную шкалу, **не** обеспечивает взаимозаменяемости. Для обеспечения взаимозаменяемости, т.е. для получения повторяющихся значений сопротивлений корректированных термоэлементов при применении в них отличающихся друг от друга по характеристикам $R_T = f(T)$ термосопротивлений, необходимо не одно, как в схеме рис. 2, а, а несколько термoneзависимых сопротивлений (рис. 2, б, в, г).

Схемы коррекции рис. 2, б и 2, в обеспечивают взаимозаменяемость при двух различных температурах, например, в начале T_n и в конце T_k измеряемого интервала. При этом отклонение от прямой (нелинейность внутри интервала) может достигать значительных величин (20 - 30%). Схема рис. 2, г обеспечивает взаимозаменяемость в трех точках измеряемого интервала, а отклонение от прямой невелико (доли процента).

Общим недостатком скорректированных термосопротивлений является их пониженная по сравнению с исходным ПТС чувствительность, т.е. меньший температурный коэффициент.

Лабораторная установка состоит из термошкафа, омметра типа М2І8, ртутного термометра. Испытывается термосопротивление типа ММТ-4. В качестве шунта используется магазин сопротивлений РЗЗ.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно ознакомиться с настоящим описанием.
2. Подсоединить провода, идущие от термосопротивления к омметру, включить омметр М2І8 в сеть. Магазин сопротивлений подготовить для включения в качестве шунта.
3. Включить термошкаф, подсоединить магазин сопротивлений параллельно термосопротивлению. На магазине сопротивлений при измерении устанавливают сопротивления 500 и 1500 Ом.
4. Снять зависимость сопротивлений терморезистора от температуры в диапазоне от + 30 до + 100°С через каждые 10°С. Отсчеты берутся по термометру и омметру. Сначала снимают значения без шунта, затем при той же температуре подсоединяют шунт (магазин) и быстро проводят измерение при сопротивлениях 1500 и 500 Ом. Затем шунт отсоединяют и повторяют данный пункт при следующей температуре. Результаты заносят в таблицу.

Температура, °С	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
Сопротивление ПТС без шунта R_T , Ом								
Сопротивление ПТС с шунтом 1500 Ом								
Сопротивление ПТС с шунтом 500 Ом								

5. Выключить термошкаф и прибор М 218.
6. Убрать рабочее место и сдать его преподавателю или лаборанту
7. По данным эксперимента построить **графики** $R_T = f(T)$ для нескорректированного и скорректированного термосопротивлений (т.е. с подсоединением шунта).
8. Рассчитать по экспериментальным данным опытную зависимость $\alpha(T)$ для нескорректированного и скорректированного термосопротивлений. Расчеты вести по формуле $\alpha(T) = (1/R_T) \cdot (\Delta R_T / \Delta T)$.

Принять $\Delta T = T_{i+1} - T_i = 10^\circ\text{C}$; $\Delta R_T = R_{T_{i+1}} - R_{T_i}$,

где i - порядковый номер экспериментальных значений.

Построить опытные кривые зависимости $\alpha(T)$ для скорректированного и нескорректированного ПТС.

9. Вычислить постоянные A и B термосопротивления, решив систему уравнений:

$$R_{T1} = Ae^{B/T_1};$$

$$R_{T2} = Ae^{B/T_2};$$

Ее корнями будут $B = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T2}}\right)$; $A = R_{T1} e^{-\frac{T_2}{T_2 - T_1} \ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T2}}\right)}$

Принять $T_1=303^\circ\text{K}$ ($t_1 = 30^\circ\text{C}$), а $T_2 = 353^\circ\text{K}$ ($t_2 = 80^\circ\text{C}$). R_{T1} и R_{T2} берутся из таблицы замеров. В тех же координатах построить теоретическую кривую $R_T = Ae^{B/T}$.

10. На графике с экспериментальными результатами построить теоретическую зависимость ТКС α от температуры

$$\alpha(T) = -\frac{B}{T^2}, \quad 0^\circ \leq t^\circ\text{C} \leq 100^\circ\text{C}.$$

11. Составить и оформить отчет о работе.

В отчете должна быть отражена цель работы, приведены основные теоретические положения, а также данные эксперимента с соответствующей обработкой и графиками. Сделать выводы по работе. Контрольные вопросы

1. Что называется термосопротивлением? В чем разница между металлическими и полупроводниковыми термосопротивлениями?
2. Что называется скорректированным термоэлементом? Для каких целей используется коррекция?
3. Что такое ТКС? Приведите формулу для ТКС ПТС.
4. Какие схемы коррекции ПТС Вы знаете? Их достоинства и недостатки.
5. Какова аналитическая зависимость величины сопротивления ПТС от температуры? Как определить постоянные A и B ПТС опытным путем?
6. Конструкции термосопротивлений, их изготовление.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ПОВЕРКИ ПИРОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Цель работы: изучение методов работы и градуировки пирометрических приборов: электронного потенциометра класса 0,5 ЭВП2 - 11А, работающего с термопарой, и профильного логометра типа ЛПр 53М класса 1,5, работающего в паре с термометром

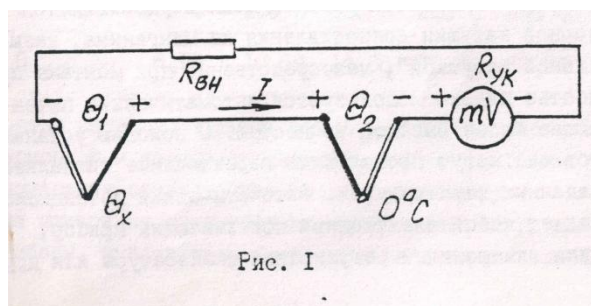
сопротивления (проволочным медным термосопротивлением). Ознакомление с аппаратурой, используемой при проверке пирометрических приборов.

Общие сведения об используемой аппаратуре

Контактные и бесконтактные приборы для измерения температур (термометры), использующие различные принципы действия, часто называют также пирометрами.

В настоящей работе исследуется термоэлектрический пирометр типа потенциометра и логометрическая измерительная схема, работающая от датчика активного сопротивления (термометра сопротивления).

Пирометрический милливольтметр-потенциометр является простейшим прибором для измерения температуры с помощью термоэлектрического преобразователя (термопары). Схема измерения термо-ЭДС, пропорциональной температуре, данным методом приведена на рис.1., где приняты обозначения: Т - термопара; mV - пирометрический милливольтметр (потенциометр).



Обычно используются специальные магнитоэлектрические милливольтметры постоянного тока, имеющие полярный выход. Для правильного подключения милливольтметра к преобразователю необходимо знать полярность свободных концов термопары. За положительный конец термопары принимают тот из ее проводов, по отношению к которому ток, проходящий через рабочий спай термопары, имеет направление, указанное на рис. 1 стрелкой. Зная термо-ЭДС, которую развивает каждый из электродов термопары в паре с платиной при $t = + 100^{\circ}C$ (эти данные берутся из таблиц справочников), можно определить полярность концов термопары. Например, в термопаре ХК (хромель - копель) положительным является хромелевый вывод, поскольку термо-ЭДС хромеля в паре с платиной при $t = + 100^{\circ}C$ равна $+ 2,4$ мВ, а термо-ЭДС копеля с платиной при тех же условиях $3,6$ мВ.

Ток, протекающий через милливольтметр, будет равен

$$I = E / (R_{ук} + R_n + R_T),$$

Где - E термо-ЭДС, развиваемая термопарой;

$R_{ук}$ - сопротивление указателя;

R_T - сопротивление термопары;

R_n - сопротивление подводящих проводов.

Милливольтметр измеряет напряжение на своих зажимах, равное

$$U_{yk} = E - I(R_n + R_T) = \frac{E \cdot R_{yk}}{R_{yk} + (R_n + R_T)}$$

Отсюда видно, что необходимо стремиться к постоянному значению сопротивления проводов и самой термопары.

В отечественных термоэлектрических пирометрах при их градуировке и поверке учитывается сопротивление внешней относительно милливольтметра цепи $R_{вн} = R_n + R_T$, равное обычно 5 Ом (может быть равно 15 или 25 Ом).

Регулировка сопротивления этой внешней цепи осуществляется при помощи добавочной катушки сопротивления из манганина, называемой "уравнительной катушкой", непосредственно при монтаже прибора. Промышленностью широко используются автоматические потенциометры, обладающие более высокой точностью. С помощью устанавливаемых контактов они могут производить переключение сигнализации и реле при заданных температурах. Автоматический потенциометр ЭПВ2-11А представляет собой электронный показывающий прибор, предназначенный для измерения и регулировки температуры или других величин, которые могут быть преобразованы в напряжение постоянного тока.

Потенциометры работают по тому же принципу, что и компенсаторы» Они полностью компенсируют ЭДС термопары, поэтому ток в цепи отсутствует и сопротивления термопары R_T и проводов R_n не влияют на U_{yk} .

Потенциометр может работать в комплекте с термопарами ХК, ХА, ПП. Схема, расположенная внутри прибора, позволяет компенсировать изменение ЭДС, вызванное изменением температуры свободных концов термопар и автоматически вводить поправку на температуру окружающей среды при правильной ее регулировке под соответствующую термопару.

Целью поверки является выявление погрешности данной установки в каждой точке его шкалы при применении термопары хромель - копель (ХК).

Погрешность измерительной установки возникает из-за следующих причин:

1. Несоответствия между температурой рабочего спая термопары с истинной температурой измеряемой среды.
2. Инерционности процессов нагрева и остывания.
3. Неравенства температур θ_1 и θ_2 в местах подсоединения термопары к измеряемой схеме (см. рис. 1).

В работе градуируется электронный потенциометр, использующий термопару ХК. В таблице приведены значения термо-ЭДС данной термопары в диапазоне температур от 0°

до + 400°С при температуре свободных концов термопары, равной 0°С. (Более подробная таблица находится рядом с установкой).

Термопара хромель – копель.

t°С 0°С	50°С	100°С	150°С	200°С	250°С	300°С	350°С	400°С
E, мВ 0	3,35	6,95	10,69	14,66	18,77	22,91	27,16	31,49

Состав сплавов: хромель 90%Ni + 10%Сг ; копель 56,5%Cu+ 43,5% Ni. Термопары и термоэлектрические пирометры обычно используются для измерения сравнительно высоких температур.

При измерении сравнительно малых температур чаще используются приборы, чувствительным элементом которых является термосопротивление. Широкое распространение в подобных устройствах получила логометрическая измерительная схема (рис. 2).

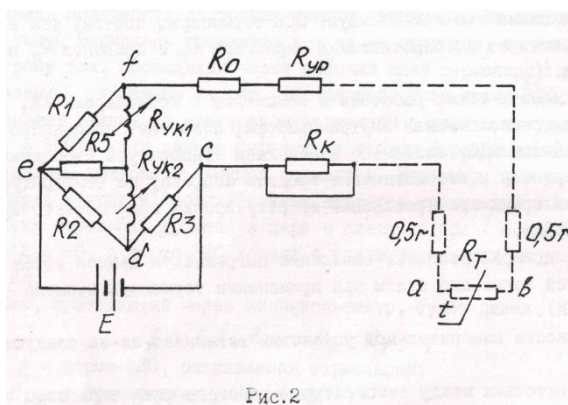


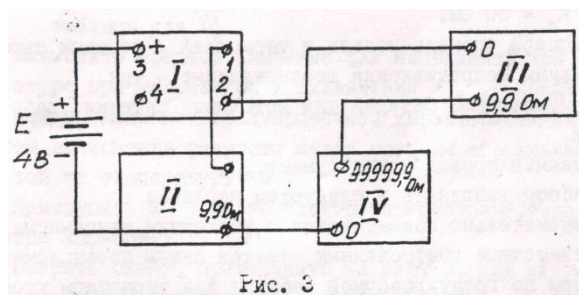
Рис.2

Она представляет собой неуравновешенный мост постоянного тока с магнитоэлектрическим логометром (R_{yk1} и R_{yk2} – рамки логометра) в качестве указателя. Три плеча моста составлены манганиновыми сопротивлениями, R_1 , R_2 , R_3 . Четвертое плечо моста состоит из преобразователя-термометра сопротивлением R_T , сопротивления r линии, уравнивательной (подгоночной) катушки R_{yp} , сопротивления R_k и сопротивления R_0 . Назначения последних трех сопротивлений следующие: сопротивление R_0 служит для подготовки нулевой точки шкалы (для уравнивания моста при начальной температуре" термометра); катушка R_{yp} дополняет сопротивление проводов, соединяющих термометр с измерительной цепью, до значения, принятого при градуировке термометра. В настоящей работе исследуется логометр, использующий медные термометры сопротивления с собственным сопротивлением 53 Ом градуировки 23. Для них это сопротивление составляет 5 Ом. Для подгонки сопротивления катушки R_{yp} служит катушка R_k , сопротивление которой равно значению сопротивления преобразователя, соответствующему определенной (помеченной красной чертой) отметке на шкале прибора. Замкнув накоротко преобразователь термометра R_T и включив R_k , необходимо отматывать проволоку с катушки R_{yp} до тех пор, пока стрелка указателя не остановится на определенной отметке шкалы. После этого сопротивление

R_k закорачивается (см. рис, 2) и в дальнейшей работе термометра не участвует. Часть сопротивления выполняется из меди, что позволяет корректировать температурную погрешность логометра.

Схема подключения преобразователя к логометру может быть как двухпроводная (см. рис. 2), так и трехпроводная, позволяющая скомпенсировать температурную нестабильность проводов линии, соединяющей преобразователь с логометром. В последнем случае источник питания третьим проводом подсоединяется непосредственно к термометру сопротивления (батарея отсоединяется от точки "С" и подключается к концу "а" преобразователя), чем достигается включение двух соединительных проводов в смежные плечи моста и, следовательно, почти полная коррекция температурной нестабильности их сопротивлений.

Схема поверки электротермометрического логометра типа ЛП-53М приведена на рис. 3, логометр работает с термосопротивлением ТСМ-53.



При поверке термосопротивление заменяется магазином сопротивлений. На рис, 3 приняты обозначения: I - поверяемый логометр; II и III - магазины сопротивлений, заменяющие сопротивления линии; IV - магазин сопротивления, заменяющий термометр сопротивления.

Для логометра ЛДр-53М напряжение источника питания 4В. Градуировочные данные ТСМ-53 23-й градуировки приведены в таблице для диапазона температур от 0° до 150°С.

Градуировочная таблицы 23-й градуировки

t°С	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
R, Ом	53,00	55,26	57,52	59,77	62,03	64,29	66,55	68,81
t°С	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°
R, Ом	71,06	73,32	75,58	77,84	80,09	82,35	84,61	86,87

Устанавливая на магазине IV значения сопротивлений, соответствующие проверяемым температурным точкам, определяем погрешности измерения, присущие данному образцу прибора. Порядок выполнения работы Используемое лабораторное оборудование:

1. Электронный потенциометр ЗВП2-ПА2.
2. Электротермометрический логометр ЛПр-53М; 0 + 150°C; 4-В; гр.23; $R_a = 50 \text{ Ом}$.
3. Термопара хромель-копель и термошкаф с ртутным термометром.
4. Магазины сопротивления шестидекадные - три.
5. Аккумуляторные батареи или источники питания, работающие от сети.
6. Монтажный провод и инструмент.

Работу выполнять в следующем порядке:

1. Внимательно ознакомиться с настоящим описанием. Установить соответствие оцифрованных отметок шкалы потенциометра температурам по градуировочной таблице для термопары хромель-копель. Заполнить емкость снегом или льдом, залить туда немного воды.

2. Включить ЭПВ2-ПА в сеть; открыть крышку и включить тумблер "включено". Собрать схему, приведенную на рис. 1.

а) Проверить крепление выводов термопар к клеммам 1, 2 и 8, 9 щитка. Записать температуру на термометре.

б) Включить термошкаф в сеть и опустить охлаждаемую термопару в емкость со смесью снега и воды.

в) Наблюдая за температурой по термометру, составить градуировочную таблицу для данной термопары и показаний по шкале потенциометра в примененной схеме.

°C θ	Табличные значения U_0 , мВ	Напряжение на потенциометре, мВ			$\Delta U = U_{cp} - U_0$
		При нагревании U_1	При охлаждении U_2	Среднее $U_{cp} = (U_1 + U_2)/2$	
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					

г) После достижения температуры 100°C выключить термошкаф и фиксировать температуру и напряжение потенциометра при охлаждении до 30°C. Заполнить графу градуировочной таблицы для U_2 .

3. Вычислить среднее значение для напряжений при одинаковой температуре при нагревании и охлаждении U_{cp} . Определить расхождение между табличкой градуировочной характеристикой и полученной путем вычисления разности между средним его значением при одной и той же температуре ΔU .

4. Приступить к поверке электротермометрического профильного логометра ЛПр-53М.

Собрать схему, приведенную на рис. 3, для подгонки сопротивления линии использовать два шестидекадных магазина сопротивления, на каждом из которых установить по 2,5 Ом. Питание схемы выведено на щиток под прибором. Источник питания включается в сеть. Питание не подавать до проверки схемы преподавателем! Проверить шкалу логометра в точках 0, + 10°, + 20°... + 150°, выставляя на магазине 1У соответствующие значения сопротивлений, взятых из таблицы 23-й градуировки.

t°С	0°С	10°	...	150°
R, Ом	53,00	55,26		86,87
Показания прибора, °С				
Погрешность абсолютная, Δt, °С				
Погрешность Относительная δ, %				

Вычислить погрешность прибора в проверяемых точках

$$\delta = \frac{t_k - t'_k}{t_k} \cdot 100\%$$

где t_k - проверяемая точка; t'_k - показания прибора при проверке.

Сравнить полученные значения абсолютной погрешности, равной $(t_k - t'_k)$, с основной абсолютной погрешностью для прибора данного типа (+1.5%) от диапазона измерения, т.е.

$$\Delta = \pm \frac{1.5 \cdot 150}{100\%} = \pm 2.25^\circ\text{C}.$$

5. Отключить источник питания от сети (см. рис. 3). Провод, подключенный к зажиму 2 логометра, перенести на зажим 4. На магазине сопротивления 1У вывести все декады на 0. Включить источник питания. При этом стрелка должна установиться напротив красной контрольной черты с погрешностью, не превышающей + 1,5% от диапазона измерения, т.е. с точностью около $\pm 2^\circ\text{C}$.

6. Разобрать установку, убрать рабочее место и сдать его преподавателю.

7. Составить и оформить отчет о работе. Ответить на контрольные вопросы. В отчете должна быть отражена цель работы; приведены основные теоретические положения, касающиеся работы и методики поверки исследуемых приборов, а также данные эксперимента с соответствующей обработкой (вычисленными погрешностями) и выводы.

Контрольные вопросы

1. Зачем нормируется внешнее сопротивление $R_{вн}$ при измерении температуры пирометрическим милливольтметром?
2. Что является целью градуировки и какова схема градуировки пирометрических приборов?
3. Нарисуйте электрическую схему термоэлектрического логометра и объясните назначение ее элементов при двухпроводном включении преобразователя.
4. С каким терморезистором работает прибор ЛПр-53М?
5. Как проверить контрольную метку электротермометрического логометра?
6. Как определить полярность электродов термопары?
7. Причины появления погрешностей при измерении температуры термопарами.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДЕТЕКТОРА И СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

Цель работы: изучение назначения органов управления электронного осциллографа. Применение электронного осциллографа для исследования работы выпрямителя с фильтром, для измерения амплитуды и временных параметров импульсов, получающихся на выходе выпрямителя при различных вариантах схемы и неисправностей в ней; анализ работы схемы выпрямителя со сглаживающим фильтром.

Пояснение к работе

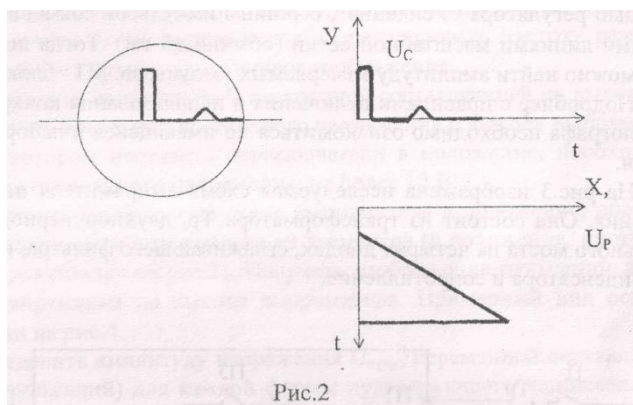
Электронный осциллограф позволяет визуально наблюдать и фиксировать (зарисовывать или сфотографировать) различные электрические процессы и имеет очень широкое применение в радиоэлектронике и других отраслях науки и техники.

Функциональная схема осциллографа показана на рис.1. Отклонение луча по вертикали происходит при воздействии исследуемого сигнала U_c на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки ЭЛТ. Канал вертикального отклонения включает входной делитель напряжения ДН, позволяющий ступенчато уменьшить амплитуду исследуемого сигнала, и широкополосный усилитель $У$, имеющий плавную регулировку усиления ("Усиление $У$ ") для установки достаточного размера изображения по вертикали. Отклонение луча по горизонтали происходит при воздействии на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ пилообразного напряжения развертки (рис.2) от внутреннего генератора развертки ГР (положение "Непр." переключателя П2). В положении "Усиление $Х$ " сигнал и отклонение луча по оси $Х$ зависит от сигнала, поданного на вход $Х$.

Линейно-нарастающее напряжение (пилообразное напряжение) U_p заставляет луч равномерно двигаться по экрану, создает развертку луча во времени. Канал горизонтального отклонения включает усилитель $Х$ и генератор развертки ГР. Усилитель используют для усиления внешнего напряжения только при выключенном генераторе развертки, а при включенном генераторе его, как показано на рис.1, применяют для усиления синхронизирующего, запускающего развертку напряжения. Плавная

Рис. 1

31



Ждущий режим ЖР генератора развертки (положение "ЖР" П2) применяют при наблюдении кратковременных импульсов, которые при непрерывной развертке четко не наблюдаются. Исследуемый импульсный сигнал вызывает отклонение луча по вертикали и одновременно запускает генератор развертки, который выдает один "зуб" пилообразного напряжения. В момент подачи исследуемого сигнала включается генератор развертки, и пилообразное напряжение начинает возрастать. На рис.2 показано, что каждый импульс вызывает один проход луча по вертикали и одно движение по горизонтали. Если, например, длительность исследуемого импульса в четыре раза меньше длительности развертки, импульс занимает одну четверть длины линии развертки. Переключив развертку на меньшую длительность, можно получить импульс, который будет занимать половину отрезка линии развертки. Таким образом, переключая частоту развертки, можно менять скорость движения луча по горизонтали и наблюдать импульс в разном масштабе времени.

Калибратор длительности КД, или генератор меток (см.рис.1), является генератором синусоидального напряжения на несколько фиксированных частот. Это напряжение, поданное на модулятор ЭЛТ, меняет яркость луча при движении его по горизонтали и создает яркостные метки, цена которых зависит от частоты. Калибратор применяют для измерения длительности импульса, которую определяют, сосчитав количество меток (штрихов) и умножив их на цену метки в микросекундах.

Калибратор амплитуды ГС-Н (см.рис.1) является вспомогательным источником стабильного напряжения, имеющего вид прямоугольных импульсов. Амплитуда импульсов меняется соответствующим переключателем и может подаваться на вход осциллографа. Регулируя коэффициент усиления с помощью регулятора "Усиление", вершины импульсов совмещают с определенными линиями масштабной сетки (обычно ± 5 см). Тогда по масштабной сетке можно найти амплитуду измеряемых импульсов. БП - блок питания.

Подробнее с правилами включения и использования конкретной марки осциллографа необходимо ознакомиться по имеющейся в лаборатории инструкции.

На рис.3 изображена исследуемая схема выпрямителя питающего напряжения. Она состоит из трансформатора Тр, двухполупериодного выпрямительного моста на четырех диодах, сглаживающего фильтра, включающего два конденсатора и сопротивление.

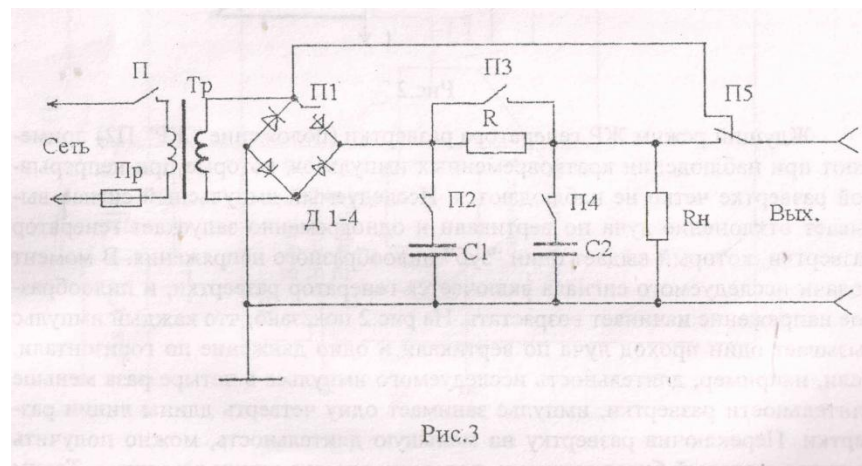


Рис.3

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с инструкцией по пользованию осциллографом. В работе использовать только вход II осциллографа и только по переменному напряжению!

1. Включить осциллограф и проверить действие регулировок яркости, фокусировки, перемещения по вертикали и горизонтали. Откалибровать "Усиление Y" так, чтобы при положении ДН 1:10 и подаче напряжения "Калибровка" 1 В амплитуда сигнала давала изображение двух линий на расстоянии ± 5 см от оси.

2. Применить осциллограф для наблюдения формы непрерывных колебаний напряжения на выходе исследуемого выпрямителя, схема которого позволяет получать одно- или двухполупериодное выпрямление и отключать элементы сглаживающего фильтра. Соединить выпрямитель с входом осциллографа. Включить схему выпрямителя. Отрегулировать частоту развертки так, чтобы получить четкое и устойчивое изображение.

3. Определить напряжение U постоянной составляющей на выходе системы, подключив вольтметр постоянного напряжения к выходу выпрямителя: авометр, на котором поставить переключатели в положения, необходимые для измерения постоянного напряжения, не более 12 В.

4. Поставить тумблеры на схеме выпрямителя в положение, обеспечивающее нормальную работу каждого из элементов (в положение, противоположное изображенному на рис.3). Получить изображение пульсаций, т.е. переменного напряжения на выходе выпрямителя. Примерный вид осциллограмм показан на рис.4.

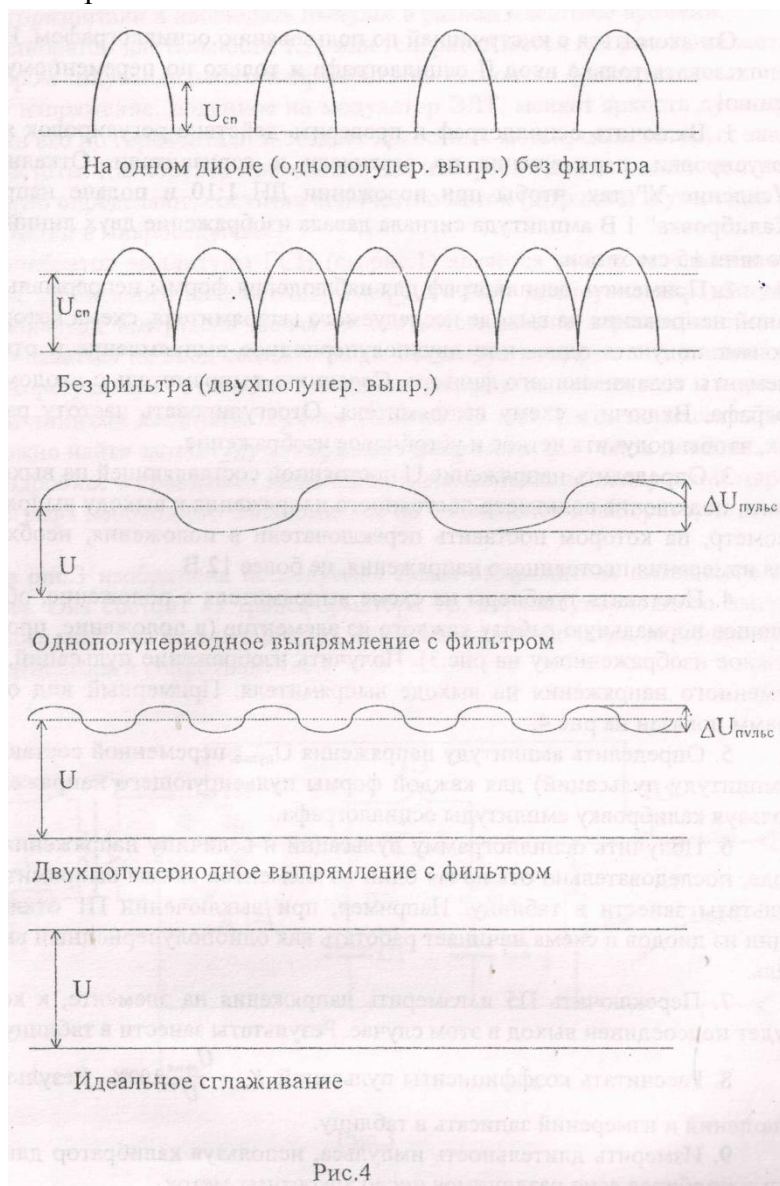
5. Определить амплитуду напряжения $U_{\text{пульс}}$ переменной составляющей (амплитуду пульсаций) для каждой формы пульсирующего напряжения, используя калибровку амплитуды осциллографа.

6. Получить осциллограмму пульсаций и величину напряжения на выходе, последовательно отключая один из элементов схемы выпрямителя. Результаты занести в таблицу. Например, при выключении П1 отключается один из диодов и схема начинает работать как однополупериодный выпрямитель.

7. Переключить П5 и измерить напряжения на элементе, к которому будет подсоединен выход в этом случае. Результаты занести в таблицу.

8. Рассчитать коэффициенты пульсаций $K_{\text{н}} = \frac{U_{\text{пульс}}}{U} \cdot 100\%$. Результаты наблюдений и измерений записать в таблицу.

9. Измерить длительность импульса, используя калибратор длительности и подбирая ясно различимое число яркостных меток.



10. Зарисовать в рабочую тетрадь формы импульсов на выходе выпрямителя.
11. Проанализировать влияние элементов в цепи выпрямителя на форму пульсаций и величину выходного напряжения.
12. Оформить отчет, в котором должны быть:
 - а) цель работы;
 - б) функциональная схема осциллографа с кратким описанием его работы;
 - в) схема выпрямителя;
 - г) заполненная таблица;
 - д) выводы по работе.

Формы и параметры напряжений

Вид выпрямителя и включения элементов сглаживающего	Формы кривых выпрямленного напряжения	U, В	U _{пульс} , В	K _п , В
---	---------------------------------------	------	------------------------	--------------------

фильтра				
---------	--	--	--	--

Контрольные вопросы и задания

1. Кратко описать устройство и принцип работы осциллографа.
2. Порядок включения и работы на осциллографе С1-19.
3. Работа схемы выпрямителя с фильтром.
4. Какие изменения выходного напряжения происходят при отказе того или иного элемента схемы выпрямителя с фильтром?
5. Какие осциллографы позволяют измерять и переменную, и постоянную составляющие сигнала?

Лабораторная работа №7

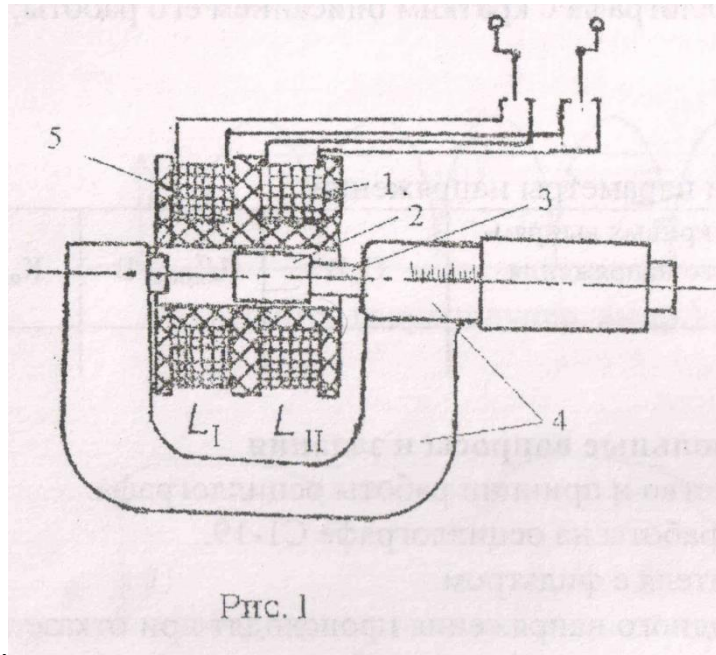
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА Е12-1А

Цель работы: изучение конструкции индуктивного датчика для измерения перемещений, определение зависимости индуктивности от перемещения с помощью прибора Е12-1 А, изучение устройства этого прибора.

Пояснение к работе

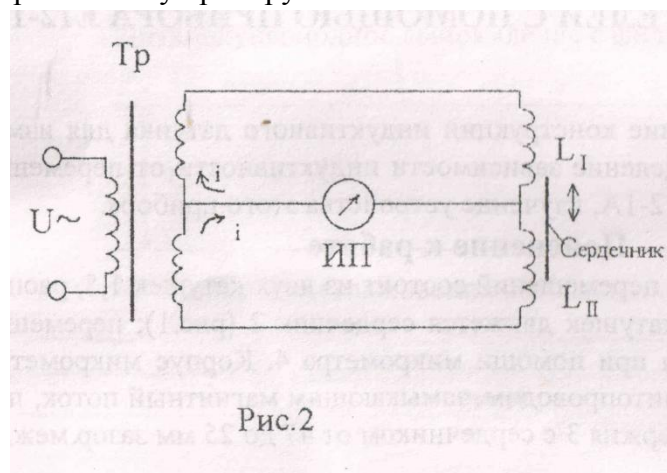
Индуктивный датчик перемещений состоит из двух катушек 1,5, расположенных рядом, внутри катушек движется сердечник 2 (рис.1); перемещение сердечника измеряется при помощи микрометра 4. Корпус микрометра одновременно служит магнитопроводом, замыкающим магнитный поток, поэтому при перемещении стержня 3 с сердечником от 47 до 25 мм зазор между сердечником и корпусом уменьшается и индуктивность увеличивается одновременно для обеих катушек. Если стержень микрометра был бы не стальной, то наблюдалась бы зависимость, симметричная для обеих катушек с максимумом индуктивности при положении сердечника 2 в центре катушки. Практически в

лабораторной работе наблюдается суммарная



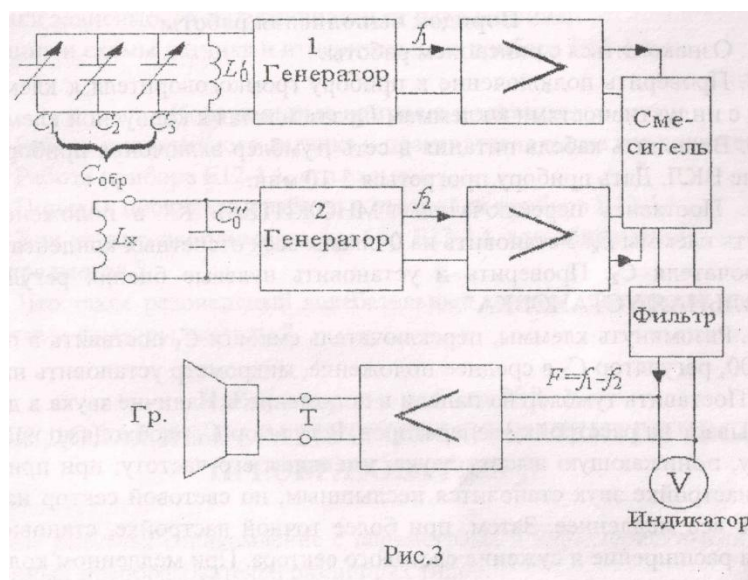
зависимость.

При реальном использовании датчика обе катушки включаются в мостовую схему с трансформатором в двух других плечах моста, при этом в катушках токи наводятся в противоположных направлениях. При определенном положении сердечника наступает баланс мостовой схемы и ток в ее диагонали отсутствует (рис.2). При отклонении сердечника от положения равновесия измерительным прибором регистрируется ток, величина которого пропорциональна смещению сердечника от положения равновесия. Катушки в измерительной установке подсоединены к переключателю и могут поочередно подключаться к измерительному прибору.



Для измерения индуктивности в лабораторной работе используется высокочастотный прибор для измерения индуктивностей и емкостей Е12-1 А. Индуктивности и емкости измеряются резонансным методом с индикацией резонанса по нулевым биениям. В приборе имеется два высокочастотных генератора, собранных по одинаковой схеме. В колебательный контур первого генератора включен образцовый конденсатор переменной емкости. Эта емкость складывается из трех: C_1 , C_2 , C_3 регулируемых с помощью регулятора и переключателей (рис.3). В зависимости от положения переключателя "МНОЖИТЕЛЬ К" меняется и индуктивность этого контура. В колебательный контур

второго генератора включается измеряемая индуктивность L_x , а конденсатор C_0'' при измерении остается постоянным. Он устанавливается в начале работы при подстройке частот генераторов ручкой "НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА". Колебания высокой частоты с обоих генераторов усиливаются и подаются на смеситель, выделяющий разность двух частот. Со смесителя колебания разностной частоты подаются через фильтр нижних частот на усилитель низкой частоты и на индикатор настройки на нулевые биения (см. рис.3). К выходу подключен динамик.



Начальная установка проводится после прогрева прибора при закороченных клеммах L_x , в положении переключателя "МНОЖИТЕЛЬ К", при котором проводятся измерения ($K=100$). Регулятор и переключатели емкостей C_1, C_2, C_3 устанавливаются на "0". Если не наблюдается нулевых биений, медленных расширений и сужений светового сектора на индикаторе, то регулятором "НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА" добиваются нулевых биений. При этом получается равенство произведений $L \cdot C$ в обоих генераторах. При подключении измеряемой индуктивности частота второго генератора изменяется. Частота первого генератора меняется переключателем C_1 и вращением регулятора C_2 до совпадения частот двух генераторов и получения нулевых биений. При появлении нулевых биений частоты генераторов совпадают и можно вычислить

$$L_x = \frac{C_0'}{C_0} C_{обр} ,$$

где $C_{обр}$ - емкость переменного конденсатора, полученного при отсчете по C_1 и C_2 ; $\frac{L_0'}{C_0}$ - постоянное отношение для каждого из поддиапазонов, оно определяет величину множителя K .

Индуктивность определяют по формуле $L_x = K(C_1 + C_2)$, мкГн.

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомиться с описанием работы.

2. Проверить подключение к прибору громкоговорителя к клеммам Т, панели с индуктивностями к клеммам L_x , заземления к корпусной клемме.

3. Включить кабель питания в сеть, тумблер включения прибора в положение ВКЛ. Дать прибору прогреться 5-10 мин.

4. Поставить переключатель "МНОЖИТЕЛЬ К" в положение 100. Замкнуть клеммы L_x . Установить на 0 шкалы всех отсчетных конденсаторов и переключателя C_2 . Проверить и установить нулевые биения регулятором "НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА".

5. Разомкнуть клеммы, переключатель емкости C_1 поставить в положение 2000, регулятор C_2 в среднее положение, микрометр установить на метку 47 мм. Поставить тумблер на панели в положение I. Наличие звука в динамике указывает на расстройку генераторов. Регулятор C_2 необходимо вращать в сторону, понижающую высоту звука, уменьшая его частоту; при приближении к настройке звук становится неслышным, но световой сектор начинает мерцать все медленнее. Затем, при более точной настройке, становится заметным расширение и сужение светового сектора. При медленном колебании ширины сектора или отсутствии колебаний настройку можно считать выполненной и производится отчет C_2 по обеим шкалам: грубой и точной. Прибавляется значение C_1 определяется L_x .

6. Переместить микрометр на 1 мм (установить 46 мм) и повторять операцию п.5; измерения проводить до размера 25 мм. Если шкалы C_2 не хватает, то переключатель C_1 устанавливают в положение 3000. Проводят все измерения при обратном ходе, т.е. увеличивая размер от 25 до 47 мм через 1 мм. Результаты замеров занести в таблицу.

Результаты замеров индуктивностей на приборе E12-1A

Номер катушки: _____

Перемещение, мм	47	46	45		26	25
Индуктивность, мкГн	Прямой ход					
	Обратный ход					

1. Установить тумблер в положение II и провести измерения индуктивности для второй катушки по методике пп. 5 и 6.

2. Выключить прибор тумблером и из сети.

3. Оформить отчет, в котором должно быть:

- а) таблицы с экспериментальными данными;
- б) графики зависимости индуктивности от перемещения;
- в) описание и схемы датчика и измерительного прибора E12-1 A.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Работа индуктивного датчика и практическая схема его включения.
- 2. Работа прибора E12-1 A, его схема.
- 3. Порядок проведения работы и настройки прибора E12-1 A.

4. Как можно использовать прибор Е12-1А для обнаружения металлических предметов?

5. Что такое резонансный колебательный контур, генераторы частоты, резонансные фильтры частоты?

Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цель работы: ознакомление с параметрами и характеристиками фотоэлектронных преобразователей различных типов:

1. Вакуумного сурьмяно-цезиевого фотоэлемента типа СЦВ-51с внешним фотоэффектом.

2. Сернисто-кадмиевого фотоэлемента типа ФС-К1 с внутренним фотоэффектом.

Изучение типовых схем включения фотоэлектронных преобразователей.

Пояснение к работе

Фотоэлектронные преобразователи (фотоэлементы) нашли широкое применение для измерения различных неэлектрических величин, могущих быть преобразованными в изменение светового потока. По принципу светового действия они делятся: на селективные и на неселективные. Селективные могут быть следующих типов:

1. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом;

2. Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом (фоторезисторы);

3. Вентильные фотоэлементы, с *n-p* переходом.

Внешним фотоэффектом называют явление выхода электронов из фотокатода под действием света. Согласно квантовой теории света световой поток представляет собой поток фотонов (квантов электромагнитной энергии), энергия которых равна $h\nu$, где

$h=6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж-с - постоянная Планка; ν - частота света с длиной волны фотонов; c - скорость света. Если поток фотонов направить на металлическую поверхность, то, проникая в металл, фотоны взаимодействуют с электронами, отдавая им свою энергию. Электрон будет "выбит" из металла, если сумма энергии которую он имел до встречи с квантом, и энергии кванта $h\nu$ будут достаточны для преодоления потенциального барьера (работы выхода) W_0 на границе металла, т.е.

$$E+h\nu>W_0$$

Повыбитые электроны можно уловить, если вблизи расположить положительно заряженный второй электрод (анод). Конструктивно фотоэлементы с внешним фотоэффектом выполняются обычно в виде стеклянного баллона, имеющего сферическую форму, в котором создается вакуум порядка 10^6 мм рт.ст.

Применяются и газонаполненные фотоэлементы. Электрод, играющий роль фотокатода, наносится на внутреннюю поверхность баллона, занимая только его часть.

На остальной части внутренней поверхности баллона покрытие отсутствует. Второй электрод (анод) представляет собой металлический стержень или проволочное кольцо и помещается внутри баллона так, чтобы не препятствовать попаданию света на катод.

Свойства фотоэлементов в значительной мере зависят от свойств применяемых фотокатодов. Фотокатоды из чистых металлов почти не применяются. В настоящее время используются сложные фотокатоды, обладающие полупроводниковыми свойствами, главным образом кислородно-цезиевые и сурьмяно-цезиевые, имеющие малую работу выхода.

Внутренний фотоэффект состоит в том, что под действием света изменяется проводимость полупроводников, а сами фоторезисторы представляют собой полупроводниковые устройства, омическое сопротивление которых определяется степенью освещенности.

Светочувствительный слой полупроводникового материала в таких сопротивлениях помещен между двумя токопроводящими выводами. Под воздействием светового потока, переводящего электроны с локальных уровней примеси в зону проводимости, концентрация электронов в зоне проводимости увеличивается, а электрическое сопротивление слоя уменьшается в несколько раз (у некоторых типов фоторезисторов оно уменьшается на 2-3 порядка). В настоящее время разработано свыше десяти видов фоторезисторов. К ним, в частности, относятся: селеновые, таллофидные (или серно-таллиевые), сернисто-свинцовые, сернисто-висмутовые, теллур-свинцовые, сернисто-кадмиевые фоторезисторы и т.д.

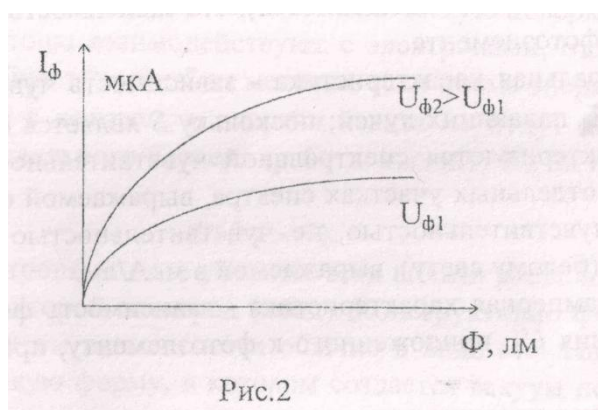
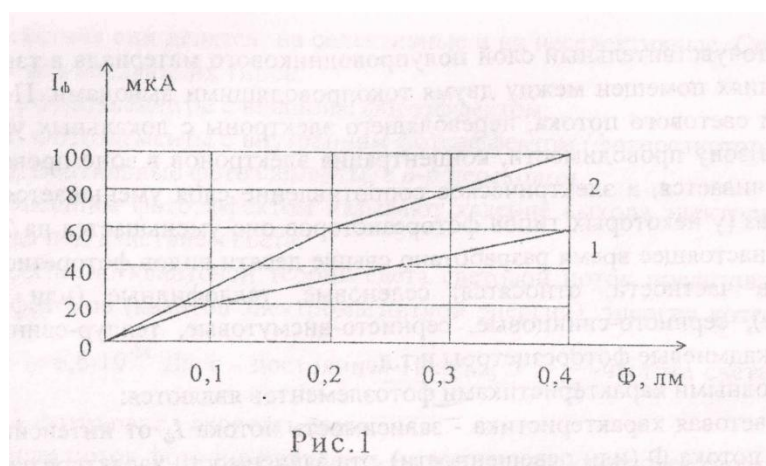
Основными характеристиками фотоэлементов являются:

1. Световая характеристика - зависимость потока от интенсивности светового потока Φ (или освещенности), эта зависимость характеризует чувствительность фотоэлемента.
2. Спектральная характеристика - зависимость чувствительности S от длины волны λ_f падающих лучей; поскольку S является функцией λ_f , фотоэлементы характеризуются спектральной чувствительностью, т.е. чувствительностью на отдельных участках спектра, выражаемой обычно в мкА/Вт, и интегральной чувствительностью, т.е. чувствительностью к суммарному световому потоку (белому свету), выражаемой в мкА/лм.
3. Вольт-амперная характеристика - зависимость фототока I_f от величины напряжения U_f , приложенного к фотоэлементу, при различных световых потоках.
4. Частотная характеристика - зависимость чувствительности от частоты изменения светового потока.

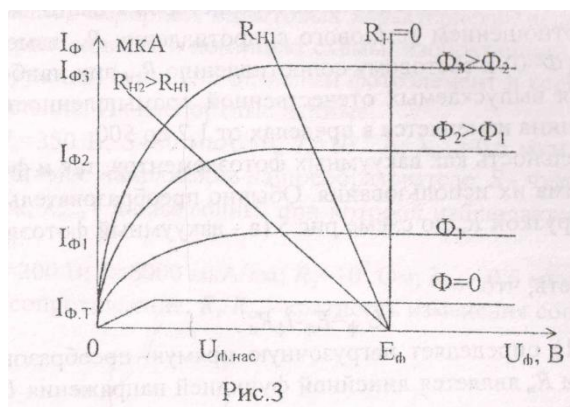
В настоящей работе снимаются световые и вольт-амперные характеристики исследуемых преобразователей. Световые характеристики вакуумных фотоэлементов примерно линейные, как это представлено на рис.1 (кривая 1 для кислородно-цезиевого, кривая 2 для сурьмяно-цезиевого фотокатодов).

Снимаются они при постоянном напряжении между анодом и катодом фотоэлемента, равном $U_f = const$. Особенностью вакуумных фотоэлементов является то, что их световые характеристики (а следовательно, и фототок) не зависят от U_f , начиная с некоторого его значения, равного обычно 30В.

Световые характеристики фоторезисторов, как правило, имеют явно нелинейный характер (рис.2) и зависят от напряжения U_{ϕ} , приложенного к фотосопротивлению.

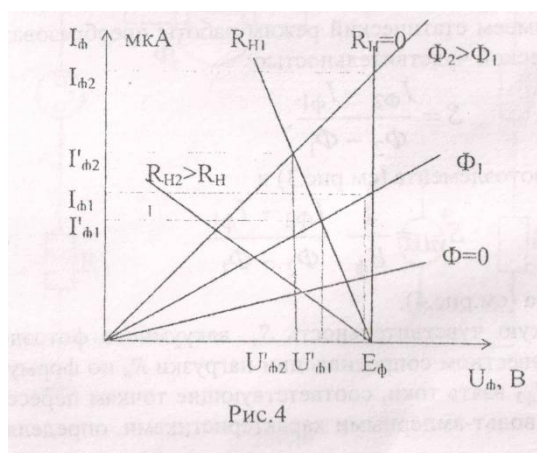


В обоих случаях световые характеристики при $\Phi=0$ не проходят точно через начало координат, т.е. в рассматриваемых преобразователях существует так называемый темновой ток. Величина темнового тока для большинства фотоэлементов с внешним фотоэффектом в режиме насыщения составляет $I_{\phi,т.}=10^{-7}-10^{-8}$ А, а для фоторезисторов значительно больше и зависит от приложенного напряжения U_{ϕ} . Зная световую характеристику, легко определить чувствительность преобразователя, $S=I_{\phi}/\Phi$, мкА/лм, если световая характеристика линейна и $S=dI_{\phi}/d\Phi$ для нелинейной световой характеристики. Вольт-амперные характеристики вакуумных фотоэлементов представлены на рис. 3



При значениях напряжения $U_\phi = U_{\phi,нас}$ ($U_{\phi,нас}=30\text{В}$) все вылетевшие с фотокатода при данном Φ электроны улавливаются анодом, т.е. наступает насыщение фотоэлемента, и ток перестает расти даже при увеличении U_ϕ . Вольт-амперные характеристики фоторезисторов линейны, как показано на рис. 4, т.е. величина их чувствительности S зависит при данном Φ от величины приложенного напряжения U_ϕ . Поэтому работоспособность фоторезисторов обычно оценивают величиной удельной чувствительности $S_{уд}$, равной чувствительности S , отнесенной к одному вольту приложенного напряжения:

$$S_{уд} = \frac{S}{U_\phi} = \frac{I}{U_\phi} \cdot \frac{\partial I_\phi}{\partial \Phi}, \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}.$$



Кроме того, чувствительность фоторезисторов к световому потоку часто оценивают отношением темнового сопротивления R_T , измеренного в отсутствии света ($\Phi=0$) к световому сопротивлению R_{CB} при наибольшем световом потоке. Для выпускаемых отечественной промышленностью фоторезисторов эта величина изменяется в пределах от 1,2 до 500. Чувствительность как вакуумных фотоэлементов, так и фоторезисторов зависит от режима их использования. Обычно преобразователь включается в сочетании с нагрузкой R_H по схеме рис.5 (а - вакуумный фотоэлемент, б - фоторезистор).

$$\text{Легко видеть, что } U_\phi = E_\phi - I_\phi \cdot R_H \quad (1)$$

Соотношение (1) определяет нагрузочную прямую преобразователя (ток I_Φ при данных $E\Phi$ и R_H является линейной функцией напряжения U_Φ). Ряд таких прямых, соответствующих различным значениям R_H , нанесен на рис.3 и 4.

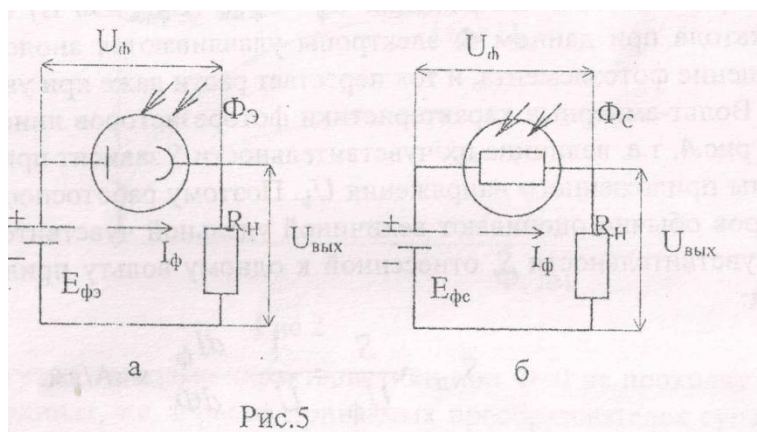


Рис.5

При $R_H=0$ имеем статический режим работы преобразователя, характеризуемый чувствительностью:

$$S = \frac{I_{\Phi 2} - I_{\Phi 1}}{\Phi_2 - \Phi_1} \quad (2)$$

Для вакуумного фотоэлемента (см. рис.3) и

$$S_{уд} = \frac{1}{E_\Phi} \cdot \frac{I_{\Phi 2} - I_{\Phi 1}}{\Phi_2 - \Phi_1}, \quad (3)$$

Для фоторезистора (см. рис.4).

Динамическую чувствительность S_d вакуумного фотоэлемента легко рассчитать при известном сопротивлении нагрузки R_H по формуле (2), если в качестве $I_{\Phi 1}$, $I_{\Phi 2}$, $I_{\Phi 3}$ взять токи, соответствующие точкам пересечений нагрузочной прямой с вольт-амперными характеристиками, определяемыми потоками Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 .

Снятие вольт-амперных и световых характеристик исследуемых преобразователей производится с помощью схемы, изображенной на рис.6. Испытываются вакуумный сурьмяно-цезиевый фотоэлемент и сернисто-кадмиевое фотосопротивление. Их паспортные данные:

1. СЦВ-51; $U_n=350V$; $S=80\text{мкА/лм}$; $I_T=10^{-8}A$; $\lambda_{\text{max}}=0,5\text{мкм}$, где U_n – максимальное допустимое напряжение на преобразователе; S – чувствительность; I_T – темновой ток; λ_{max} – длина волны, при которой наблюдается максимум чувствительности.
2. ФСК-1; ; $U_n=200V$; $S=6000\text{мкА/лм}$; $R_T=10^7\text{Ом}$; ; $\lambda_{\text{max}}=0,6\text{мкм}$; $R_T/R_{\text{св}}=140$, где R_T - темновое сопротивление; $R_T/R_{\text{св}}$ – кратность изменения сопротивления.

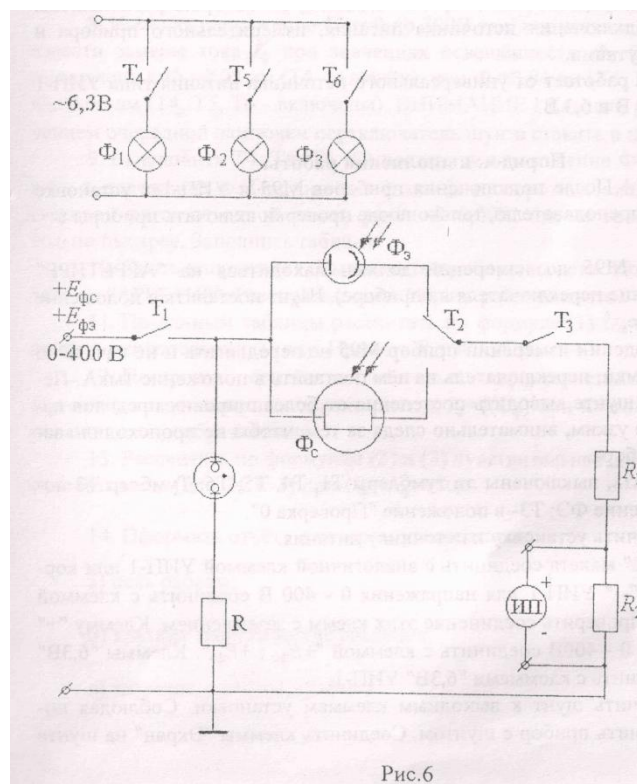


Рис.6

В схеме установлены резисторы: $R_1=300$ кОм, $R_2=2$ кОм. Для создания светового потока используются три одинаковые лампочки накаливания типа СН-34. Световой поток, создаваемый каждой из них, одинаков. Примерно одинакова освещенность, создаваемая ими на чувствительном слое преобразователей. Площадь чувствительной площадки фотозлемента в 100 раз больше, чем площадь чувствительной площадки фоторезистора. Поэтому световой поток от одной лампочки на фотозлемента равен 0,02 лм, а на фоторезисторе 0,0002 лм. Протекающий через фотоприемник ток изменяется зеркальным прибором М95 с шунтом. С помощью шунта можно изменять пределы измерения прибора.

Лабораторная установка собрана на щитке, на котором расположены клеммы для подключения источника питания, измерительного прибора и элементов коммутации.

Установка работает от универсального источника питания типа УИП-1 от клемм 0 - 400 В и 6,3 В.

Порядок выполнения работы

Внимание ! После подключения приборов М95 и УИП-1 к установке показать схему преподавателю, только после проверки включать приборы в сеть!

1. Прибор М95 до измерений должен находиться на "АРРЕТИРЕ" (правое положение переключателя на приборе). Шунт поставить в положение переключателя ∞ .

При проведении измерений прибор М95 не передвигать и не качать во избежание поломки, переключатель на нём поставить в положение 1мкА. Переключатель на шунте

выводить постепенно от более широких пределов измерения к более узким, внимательно следя за тем, чтобы не происходило зашкаливание прибора.

2. Проверить, выключены ли тумблеры Т1, Т4, Т5, Т6. Тумблер Т2 поставить в положение ФЭ; ТЗ- в положение "Проверка 0".

3. Подключить установку к источнику питания.

Клемму "┴" макета соединить с аналогичной клеммой УИП-1 или корпусом. Клемму "--" УИП-1 для напряжения 0 - 400 В соединить с клеммой "┴" установки. Проверить соединение этих клемм с заземлением. Клемму "+" для напряжения 0 - 400В соединить с клеммой "+Ефс ; +Ефэ". Клеммы "6,3 В" установки соединить с клеммами "6,3В" УИП-1.

4. Подключить шунт к выходным клеммам установки. Соблюдая полярность, соединить прибор с шунтом. Соединить клеммы "Экран" на шунте и на приборе.

5 Проверить схему и включить приборы М95 и УИП-1 (в сеть и тумблер "ВКЛ." на УИП-1).'

6 Переключить прибор М95 на предел 1мкА и проверить положение "зайчика". Установить при необходимости корректором нуль прибора. Включить Т1.

7 Установить напряжение U на приборе УИП-1, равным 150В. Проверить наличие нуля на приборе, постепенно уменьшая шунтом пределы измерения. Тумблер ТЗ перевести в положение "Измерение". Уменьшая шунтом предел измерения прибора, замерить темновой ток фотоэлемента. Напряжение контролировать по вольтметру УИП-1. Уменьшить напряжение до нуля вольт. Поставить шунт в положение ∞ .

8 Изменяя напряжение U от 0 до 300В так, как указано в таблице, произвести замеры тока I_{ϕ} при значениях освещённости $\Phi_0=0$ (Т4, Т5, Т6 - выключены); $\Phi_1=0,02$ лм (Т4- включён); при $\Phi_2=0,04$ лм (Т4, Т5- включены); $\Phi_3=0,06$ лм (Т4, Т5, Т6 - включены). ВНИМАНИЕ ! Каждый раз перед включением очередной лампочки переключатель шунта ставить в положение ∞ !

9 Выключить Т4, Т5, Т6. Т2 поставить в положение ФС. Шунт поставить в положение ∞ . Повторить п.8 для фотосопротивления, учитывая, что световой поток от одной лампы равен $\Phi=0,0002$ лм, но токи растут значительно быстрее. Заполнить таблицу.

10 Снять напряжение. Выключить приборы из сети. Поставить прибор М95 на "АРРЕТИР". Разобрать схему. Убрать рабочее место.

11 По данным таблицы рассчитать по формуле (1) Ψ и занести полученные результаты в таблицу. Принять $R_H=300$ кОм.

12 Построить семейство световых характеристик: $I_{\phi}=f(\Phi)$ для $U_{\phi}=const$; вольт-амперных характеристик $I_{\phi}=f(\Phi)$ при $\Phi=const$ для каждого первичного преобразователя.

13 Рассчитать по формулам (2) и (3) чувствительность и удельную чувствительность (для ФСК-1) при $U_{\phi}=E_{\phi}=150В$.

14 Оформить отчёт, в котором указываются:

- а) цель работы;
- б) краткие теоретические сведения;
- в) таблицы, расчёты, графики.

Вакуумный фотоэлемент СЦВ-51

$E_{\phi}, \text{В}$		0	10	20	30	40	60	80	100	150	200	250	300
Φ_0	I_{ϕ}												
	U_{ϕ}												
Φ_1	I_{ϕ}												
	U_{ϕ}												
Φ_2	I_{ϕ}												
	U_{ϕ}												
Φ_3	I_{ϕ}												
	U_{ϕ}												

Фоторезистор ФСК-1

$E_{\phi}, \text{В}$		0	10	20	30	40	60	80	100	150	200
Φ_0	I_{ϕ}										
	U_{ϕ}										
Φ_1	I_{ϕ}										
	U_{ϕ}										
Φ_2	I_{ϕ}										
	U_{ϕ}										
Φ_3	I_{ϕ}										
	U_{ϕ}										

Контрольные вопросы и задания

1. В чём заключается явление внешнего и внутреннего фотоэффекта и где оно используется?
 2. Какие типы преобразователей с внешним и внутренним фотоэффектом вы знаете?
 3. Назовите и объясните основные характеристики вакуумных фотоэлементов и фоторезисторов.
 4. Нарисуйте и объясните типовые световые и вольт-амперные характеристики вакуумных фотоэлементов и фоторезисторов.
 5. Как рассчитать статическую чувствительность вакуумного фотоэлемента, фоторезистора?
 6. Что называют нагрузочной характеристикой фотоэлемента и как её построить?
 7. Как рассчитать динамическую чувствительность вакуумного фотоэлемента, фоторезистора?
 8. Каковы особенности измерительной схемы, используемой в работе?
- Проведение работы.

9.Как практически снять световые и вольт-амперные характеристики фотоэлемента?

10.Объясните полученные вами экспериментальные зависимости.

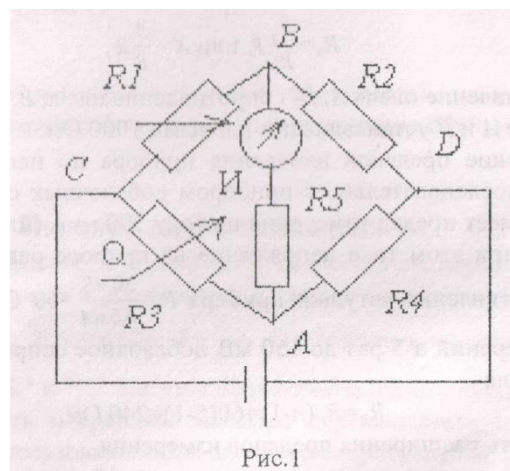
Лабораторная работа №9

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ

Цель работы: исследование неравновесной мостовой схемы, определение её чувствительности при изменении диапазона измерений.

Пояснение к работе

Неравновесные мостовые схемы используются в измерительных приборах с различными параметрическими датчиками, меняющими своё сопротивление (индуктивность или ёмкость) в процессе измерений. При работе мостовой схемы на постоянном токе у датчика меняется активное сопротивление (например, сопротивление терморезистора под действием температур). Перед измерениями мост регулируется так, чтобы при определённом сопротивлении он находился в равновесии, и прибор, включённый в его диагональ, был на нуле (например, при 0°C мостовая схема с терморезистором в одном из плеч была бы равновесна). На рис.1 мостовая схема при определённом сопротивлении R_3 терморезистора (при определённой его температуре) уравнивается переменным сопротивлением R_1 так, чтобы $R_1 R_4 = R_2 R_3$ и ток через прибор "И" отсутствовал, он же в схемах обозначается и как гальванометр Г.



При изменении сопротивления R_3 (при изменении температуры) мост выходит из равновесия, направление тока в диагонали с прибором "И" зависит от того, в какую сторону измениться сопротивление резистора R_3 . Например, уменьшится или увеличится R_3 при изменении температуры. Величина тока зависит от того, на какую величину произойдёт это изменение сопротивления. Чувствительность мостовой схемы зависит от

чувствительности прибора "И" и от суммарного сопротивления в его диагонали моста: $R_i + R_5$, где R_5 - добавочное сопротивление; чем больше $R_d = R_5$, тем меньше чувствительность мостовой схемы по току. Отклонение стрелки прибора "И" будет пропорционально изменению сопротивления R_3 , а следовательно, и изменению температуры. Можно проградуировать шкалу прибора в значениях температуры или какой-либо другой измеряемой величины, от которой будет зависеть R_3 . Диапазон измерений можно менять, изменяя R_5 (далее оно называется добавочным сопротивлением). Показания прибора "И" нелинейно зависят от изменения сопротивления R_3 , если оно изменяется в широких пределах. Чувствительность мостовой схемы можно оценивать и по току I прибора и по напряжению в диагонали моста $= I(R_5 + R_i)$, где R_i внутреннее сопротивление прибора.

В работе используется мост постоянного тока МВЛ-47. Схема его устройства имеется на крышке прибора. Упрощённая схема представлена на рис.2. Для установки сопротивлений в плечах "AD" и "BD" служат контакты в виде штырей; их замыкают (вставляют в гнезда) у шин "А" и "В" соответственно напротив значений тех сопротивлений, которые должны составлять эти плечи. Сопротивление плеча R равно сумме сопротивлений нескольких декад и может быть подобрано с точностью 0,1 Ом. Измеряемое сопротивление R_x , которое включается в последнее четвертое плечо, будет равно

$$= \frac{A}{B} \cdot R \quad \text{или} \quad = \frac{a}{b} \cdot R$$

где A - сопротивление плеча A , B - сопротивление плеча B .

В работе A и B устанавливаются равными 1000 Ом.

Расширение пределов измерения прибора по напряжению получают включением последовательно с прибором добавочных сопротивлений. Прибор М109/1 имеет предел измерения по току 500 мкА (или 0,5 мА). На шкале указано, что при этом токе напряжение на приборе равно 30 мВ. Следовательно, сопротивление катушки прибора $= \frac{30 \text{ мВ}}{0,5 \text{ мА}} = 60$ Ом. Для расширения пределов измерений в 5 раз до 150 мВ добавочное сопротивление определяется по формуле

$$R_d = R_i (n-1) = 60(5-1) = 240 \text{ Ом, где } n - \text{кратность}$$

расширения пределов измерения.

При расширении пределов измерения в 50 раз (до 1,5 В) добавочное сопротивление $R_d = 60(50-1) = 2940$ Ом.

значения полученного тока I и напряжения U , которые определяются по формуле (напряжение допускается рассчитывать при оформлении отчёта):

$$U=(R_d+R_i),$$

где $R_i=60$ Ом- внутреннее сопротивление прибора; R_d - добавочное сопротивление, применяемое в схеме (2940 или 240 Ом). Увеличение сопротивления провести до 2900 Ом с кратностью 100 Ом.

6. Выключить кнопку "Г", переключить Р на обратную полярность. Установить на Р33 сопротивление 1900 Ом. Включить кнопку "Г" и продолжить измерения при уменьшении сопротивления с кратностью от 100 до 1200 Ом. Занести результаты в таблицу.

Результаты измерений

При $R_d=2940$ Ом

X= R_M , Ом	2100	2200	2300		2900
I, мкА					
U, мВ					

При $R_d=2940$ Ом

X= R_M , Ом	1900	1800		1300	1200
I, мкА					
U, мВ					

При $R_d=240$ Ом

X= R_M , Ом	2010	2020		2090	2100
I, мкА					
U, мВ					

При $R_d=240$ Ом

X= R_M , Ом	1990	1980		1910	1900
I, мкА					
U, мВ					

7. Выключить кнопки "Г" и "Б". На магазине P33 установить сопротивление 2000 Ом. Заменить добавочное сопротивление, установив 240 Ом. Повторить пп. 4, 5, 6, но с кратностью 10 Ом в диапазонах 2000 - 2100 Ом и 2000 - 1900 Ом и заполнить две таблицы.

8. Выключить источник питания и кнопки "Б" и "Г", отсоединить магазин P33 и прибор M109/1 с добавочными сопротивлениями.

9. Рассчитать чувствительность моста при различных значениях R_M

$$= \frac{U}{I} \quad \text{и} \quad = \frac{U}{I}$$

при $R_d=2940$ Ом и $\Delta R=100$ Ом (индекс 1);

при $R_d=240$ Ом и $\Delta R=10$ Ом (индекс 2).

10. Составить отчёт, в котором должны быть:

а) краткое описание схемы и краткая теория;

б) таблицы полученных результатов;

в) графики зависимости $U=f_U(R_M)$ и $I=f_I(R_M)$;

г) графики чувствительности $S_{II}=f_3(R_M)$ и $\mathcal{E}_{1u}=(R_M)$, $S_{2I}=f_5(R_M)$, $S_{2u}=f_6(R_M)$.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких случаях используется схема неравновесного моста на постоянном токе и на переменном токе?
2. Каковы условия равновесия неравновесного моста, регулировка моста?
3. Чувствительность мостовой схемы, способ изменения чувствительности.
4. Схема моста МВЛ-47. Как рассчитывается добавочное сопротивление в зависимости от расширения (сужения) пределов измерения?
5. Как влияет добавочное сопротивление на изменение чувствительности моста?

Лабораторная работа №10

ПРОВЕРКА ЧАСТОТОМЕРОВ И ГЕНЕРАТОРОВ ЧАСТОТ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТОМЕРА ~ ПЕРИОДОМЕРА 43-22

Цель работы: изучение методов поверки точности измерения частоты частотомерами различных типов и устройства этих частотомеров. Проверка генератора звуковых частот по точности генерируемой частоты.

Пояснение к работе

В работе проверяются два частотомера 43-7. Прибор 43-7 предназначен для измерения частоты синусоидальных колебаний или отрицательных импульсов в диапазоне от 10 до 500000 Гц. Он является электронным конденсаторным частотомером, работа которого основана на изменении среднего значения разрядного тока конденсатора, разряжающегося с измеряемой частотой. Разряд происходит в строго определённых границах разности потенциалов. Измеряемый сигнал предварительно усиливается и ограничивается по амплитуде. Это необходимо для устранения зависимости показаний прибора от амплитуды исследуемого сигнала. Электронный коммутатор управляет зарядом эталонных конденсаторов. Прямоугольные импульсы с выхода усилителя - ограничителя в течение первого полупериода измеряемой частоты открывают ключ

схемы электронной коммутации, в другой полупериод ключ закрыт. Стабилизированный источник напряжения за один полупериод сигнала заряжает конденсатор до определённого потенциала. За другой полупериод конденсатор разряжается до определённого стабилизированного потенциала. Ток разряда регистрируется измерителем, он прямо пропорционален частоте перезаряда ёмкости конденсатора

$$I=fC(U_2-U_1),$$

где I - среднее значение разрядного тока;

f - частота перезаряда, равная измеряемой частоте;

C - ёмкость конденсатора, которая меняется при измерении частоты при переключении в различные диапазоны;

U_1 - максимальное напряжение разряда ёмкости, U_2 - максимальное напряжение заряда ёмкости.

С помощью двойного диода ток разряда конденсатора отделяется от тока заряда. Схема прибора собрана на электронных лампах. С помощью специального датчика данным прибором можно измерять частоту вращения вала. Для проверки исправности прибора в рабочих условиях и подстройки по точности измерения имеется в приборе генератор с частотой 10 кГц, который подаёт сигнал в измерительную цепь при переключении тумблера в положение 10 кГц, при этом потенциометром "Калибровка" устанавливается стрелка прибора на частоту 10 кГц.

Измеряемый сигнал в зависимости от ожидаемой его амплитуды подаётся на клеммы 0,1-20 В или 20-300 В. Пределы измерения и поддиапазоны измеряемых частот изменяются при помощи переключателя поддиапазона на 11 положений и дополнительного переключателя, расширяющего пределы измерения до 500 кГц.

Цифровой частотомер - периодомер 43-22 имеет следующий принцип работы. Счётный блок считает количество поступающих на его выход импульсов в течение строб-импульса, т.е. определённого интервала времени. При измерении частоты счётный блок считает количество прямоугольных импульсов, сформированных из входного измеряемого сигнала за время длительности строб-импульса. Длительность строб-импульса (время счёта) задаётся кварцеванными (идущими от кварцевого генератора) частотами, которые обеспечивают точность прибора. Кварцевые резонаторы обладают высокой добротностью и стабильностью частоты. Чтобы частота не менялась, при изменении температуры в кварцевом монокристалле вырезают пластинки для резонансных контуров под строго определённым, углом (термонеинвариантные срезы). Пластина изготавливается с высокой точностью и заключается в вакуумный баллон. Точность и стабильность частоты 10^5 и выше (теоретически до 10^{10}). Теоретически добротность кварцевого резонатора может достичь 10^{12} .

Схема прибора состоит из следующих узлов: усилителя-формирователя А, предназначенного для усиления и формирования входного сигнала в импульсы с крутыми фронтами; селектора, предназначенного для пропускания сформированных импульсов на вход счётного блока в течение действия строб-импульса; счётного блока, предназначенного для подсчёта числа импульсов, прошедших через селектор; и индикатора результатов измерения (счётный блок состоит из семи счётных декад и семи дешифраторов); блока автоматики, предназначенного для формирования строб-импульса

и других управляющих импульсов; блока делителей частоты, предназначенных для выдачи сигналов стабильной частоты 1, 10, 100 кГц, 1 и 10 МГц, а также для умножения периода при его измерении; генератора меток времени.

Усилитель-формирователь Б предназначен для усиления и формирования входного сигнала, подаваемого на вход Б, кварцевый генератор - для выдачи высокостабильной частоты 1МГц. Цифровой частотомер - периодомер ЧЗ-22 также включает в свою схему блок питания и прочие элементы.

Порядок выполнения работы

1 .Ознакомиться с описанием принципа работы приборов. Подготовить таблицу. Ответить на вопросы преподавателя.

Результаты замеров

Частоты по звуковому генератору, Гц											
Результаты измерений	30	70	180	300	750	1800	7000	$18 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$70 \cdot 10^3$	$180 \cdot 10^3$
ЧЗ-7-I											
ЧЗ-7-II											
ЧЗ-22											
1.											
2.											
3.											
4.											
Ср. значение											
Погрешность генератора											
Погрешность ЧЗ-7-I											
Погрешность ЧЗ-7-II											

2. Включить прибор 43-7 и генератор звуковых частот в сеть и тумблерами включения "СЕТЬ". Дать прибору прогреться. Проверить калибровку прибора (но не регулировать).

3. Установить на генераторе звуковой частоты 3Г частоты в соответствии с таблицей, а регулятором " Регулир.выхода " напряжение 1В. При этом переключатель выхода должен стоять в положении АТТ. В окне поддиапазонов напряжений должно стоять 3В, это означает , что предельное напряжение на выходе, указываемое вольтметром 3Г-33, будет 3В. Частота меняется плавно лимбом и ступенчато множителем.

4. Провести калибровку прибора 43-7, для этого устанавливают переключатель " Пределы измерения" в положение 0,1 - 200, а переключатель поддиапазонов в положение 10 ; тумблер "10 кГц - Изм." в положение 10 кГц и проверяют установку стрелки на последнее деление шкалы. Перевести переключатель поддиапазонов в положение 20 и 50. При этом показания должны быть соответствовать 50 и 20 делениям

(поддиапазон определяет предельную частоту, которая соответствует максимальному значению шкалы, кГц).

Подать измеряемые частоты со звукового генератора на вход, тумблер установить в положение "Изм.", переключатель пределов измерения в тот поддиапазон, который более удобен для точного измерения (при частотах более 200 кГц тумблер предела измерения переключается в положение 500). По показаниям стрелочного индикатора определяют частоту и результаты измерений заносят в таблицу. На звуковом генераторе частот устанавливают частоты, указанные в таблице.

5. Включить прибор 43-22 в сеть и тумблер "Сеть", дать прибору прогреться. Точно измеряется генерируемая частота при помощи прибора 43-22, полученные значения принимаются как эталонные, истинные. После прогрева прибора в течении 0,1 часа производится проверка его работоспособности. Для этого переключатель "Род работы" ставят в положение "Контроль", "Время индикации" в положение 1, "Время счета" в положение 10^3 , при положении переключателя "Метки времени" 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} результаты измерений на индикаторе должны быть соответственно: 001.0000, 0100.000, 1000.000. Результаты могут отличаться не более чем на ± 1 последнего разряда индикатора. Для проведения измерений необходимо переключатель "Род работы" установить в положение "Частота А", "Время счета" в положение 10^3 . Частоты подаются со звукового генератора, точнее устанавливая по его лимбу генерируемую частоту. Частоту измерить 4 раза, устанавливая её на звуковом генераторе по лимбу с двух сторон, и заполнить таблицу.

6. Выключить приборы тумблерами из сети. Провести необходимые вычисления и занести их результаты в таблицу.

По результатам измерений построить графики или таблицы поправок для поверяемого прибора в логарифмическом масштабе.

Погрешность определять как разность между показаниями прибора 43-7 и средним значением частоты, полученным по 4-м замерам 43-22. Поправка равна погрешности с обратным знаком. Погрешность генератора равна разности между устанавливаемой на нём частотой и средним значением.

7. Оформить отчёт, в котором должны быть:

- а) краткое описание работы частотомеров;
- б) заполненная таблица и графики с результатами измерений и расчётов.

Контрольные вопросы и задания

1. Принцип работы кварцевого генератора, причины стабильности генерируемой им частоты.
2. Принцип работы применяемых частотомеров.
3. Как определить систематическую погрешность прибора и поправку?
4. Какие факторы могут влиять на точность работы частотомеров?
5. Как определить и чем охарактеризовать случайную погрешность измерений?

Библиографический список

1. Электрические измерения неэлектрических величин: Учеб, пособие/Под ред. П.В.Новицкого. М.:Энергия, 1975. 576с.
2. ТУРИЧИН А.М. Электрические измерения неэлектрических величин учеб. пособие, М.: Энергия, 1966 . 690с
3. ЛЕВШИНА Е.С., НОВИЦКИЙ П.Б. Электрические измерения физических величин М.: Энергоатомиздат , 1983.270с.
4. НОВИЦКИЙ В.П. Первичные преобразователи: Учеб. пособие. М.: Энергия, 1984. 360с.
5. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин/Под ред. С.Г.Полищука. Минск; Высш., шк. 1989. 380с.