

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
Государственное образовательное учреждение Высшего профессионального  
образования  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ: ДЕКАН ЭФФ

\_\_\_\_\_ Евтушенко Г.С

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009г.

**СБОРНИК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

**ПО КУРСУ**

**«АНАЛОГОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА»**

Методические указания для студентов направления 200100 -  
«Приборостроение» специальности  
«ИИТ и технологии»

2009

УДК 621.317.7

Сборник лабораторно-практических работ по курсу “Аналоговые измерительные устройства”.

Методические указания для студентов направления (200100) - “Приборостроение” кафедры “Информационно-измерительной техника”.

Составитель: доцент, к.т.н. Д.В. Миляев.

Рецензенты: доцент ТПУ, к.т.н. В.Ф.Вотяков.  
Б.Б.Винокуров

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры информационно-измерительной техники 17 марта 2009г.

Зав. кафедрой ИИТ, профессор

\_\_\_\_\_ Гольдштейн А.Е.

# **1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ**

# **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1.1.**

## **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторно-практическая работа по исследованию последовательных структурных схем закрепляет теоретические знания первого раздела курса по общим вопросам теории и проектировании аналоговых электроизмерительных приборов.

Структурная схема предварительно рассчитывается в домашнем задании в соответствии с номером своего варианта.

Последовательную структурную схему в данной работе составляют простейшие R-C или C-R цепи первого, второго и третьего порядков.

Как известно из теории цепей и сигналов, каждый последующий блок структурной схемы определяет не только свои характеристики, но характеристики предшествующих и последующих блоков в зависимости от входных и выходных параметров. Функция влияния каждого блока определяется конкретной структурой и параметрами её элементов.

В работе рассматриваются два практических варианта последовательного соединения аналоговых блоков: первый вариант последовательного соединения цепей без развязывающих элементов, второй – соединение цепей с помощью электронных повторителей.

### **1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Исследовать взаимное влияние измерительных преобразователей в последовательной структурной схеме.
- 1.2. Научиться строить частотные характеристики в абсолютных и относительных единицах.
- 1.3. Убедиться в правильности теоретических расчетов домашнего задания.

### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. В соответствии с данными, полученными при расчете структурных схем, определить условия эксперимента и требования к измерительным приборам.
- 2.2. Спаять и исследовать цепь первого порядка, снять АЧХ И ФЧХ.
- 2.3. Пункт 2.2. выполнить для цепей второго и третьего порядков.
- 2.4. Построить характеристики АЧХ И ФЧХ всех трех цепей и сравнить с теоретическими данными.
- 2.5. Спаять и исследовать последовательные цепи, развязав их с помощью повторителей.

2.6. Построить характеристики по данным п. 2.5

2.7. Сделать выводы по работе.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.

Объектами исследования являются цепи, составленные последовательно, с развязкой между собой и без неё. В работе используются резисторы металлодиэлектрические типа МЛТ с допуском  $\pm 5\%$ , конденсаторы металлобумажные типа МБМ.

Все RC цепи имеют одинаковые параметры. Для исследования в работе используются приборы:

- двухлучевой электронный осциллограф типа С1-55;
- генератор синусоидальных сигналов ГЗ-118 (генераторы специальной формы Г6-26 или Г6-27);
- фазометр Ф2-34 (Ф2-16);
- частотомер ЧЗ-54;
- вольтметр переменного тока типа ВЗ-38;

### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Исследование последовательной структурной схемы без развязывающих электронных повторителей производится по схеме, показанной на рис.1

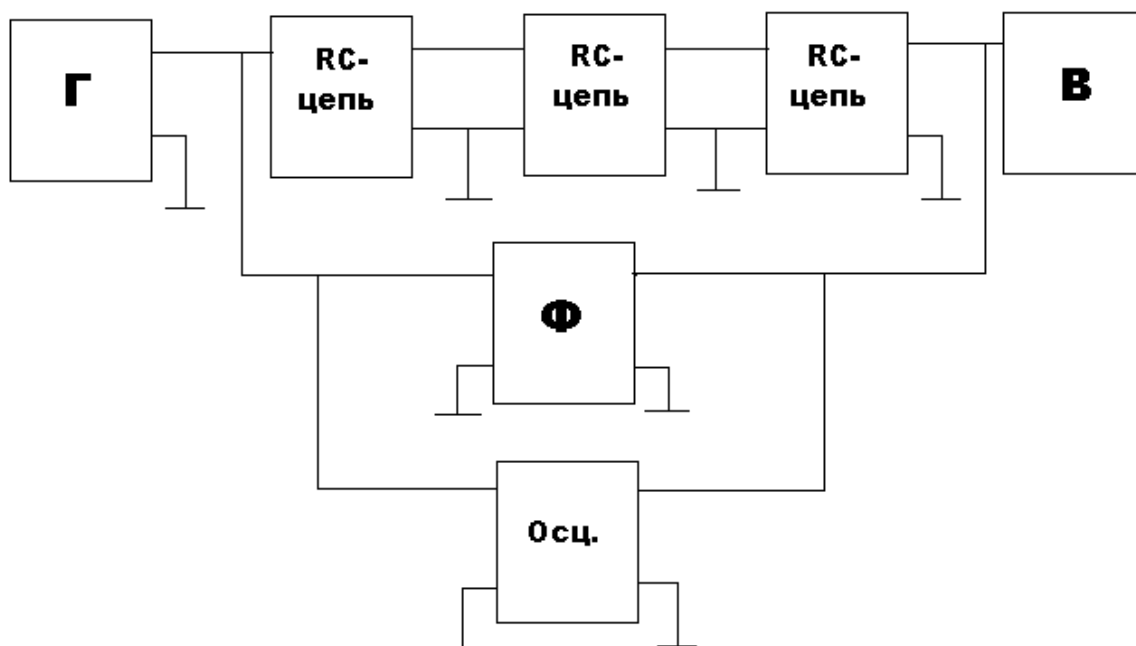


Рис.1.

По схеме рис. 1 сначала исследуют одну цепь, потом две и три. Определяют комплексный коэффициент передачи: модуль коэффициента определяют по отношению напряжения на выходе к напряжению на входе, аргумент коэффициента передачи – по сдвигу фаз между выходным и входным напряжением.

Напряжение с выхода генератора ( входное напряжение последовательной схемы), может устанавливаться на всех частотах до 10 В. Для уменьшения влияния внутреннего сопротивления генератора на коэффициент передачи, необходимо, чтобы входное сопротивление R-С цепи было больше сопротивления генератора.

Так как наибольшее входное напряжение фазометра Ф2-34 не должно превышать 2 В, поэтому с генератора необходимо подавать напряжения на вход исследуемой схемы не более 2В. Атенюаторы (ослабители) генератора использовать нежелательно.

Входное и выходное напряжения исследуемых четырехполюсников можно наблюдать на экране осциллографа. Напряжение и фазовый сдвиг могут быть измерены также осциллографом.

Фазометр Ф2-34 – сложный полуавтоматический прибор, выполняющий измерение и самокалибровку.

После подачи напряжений более 10 мВ и включения питания, он готов к работе. Сначала нажимается кнопка «V- калибровка». В течение 1 минуты производится самокалибровка, после чего загораются на табло показания близкие к 180°. Одновременно устанавливается нуль прибора. После этого в течение следующей минуты происходит измерение и высвечивается результат. Об этом сигнализирует мигающий сегмент пятой декады. Прибор имеет два времени усреднения –1 минута и 10 минут. Переключатель режима усреднения располагается на задней панели прибора.

Погрешность прибора – 0,05±0,1 градуса и определяется по таблице описания прибора.

- 4.2. Для цепи каждого порядка необходимо экспериментально определить частоту среза. Известно, что частота среза соответствует отношению напряжений (выходного к входному), равному  $1/\sqrt{2}$ , т.е.  $\approx 0,707$ . Для чего устанавливается, например входное напряжение 2 В и, изменяя частоту генератора, добиваются показаний вольтметра на выходе 1,414 В.
- 4.3. Цифровой частотомер в работе можно не использовать, если генератор имеет удобное отсчетное устройство.
- 4.4. Графики АЧХ и ФЧХ можно построить, используя логарифмический масштаб по частоте, т.е. разбить ось абсцисс на декады. Желательно частоту среза установить на границе декад.
- 4.5. По графику АЧХ и ФЧХ определить максимальную скорость изменения коэффициента передачи (модуля и фазы) и выразить в единицах: дБ/дек и °/дек.
- 4.6. Исследовать таким же образом вторую последовательную структурную схему, рис.2.

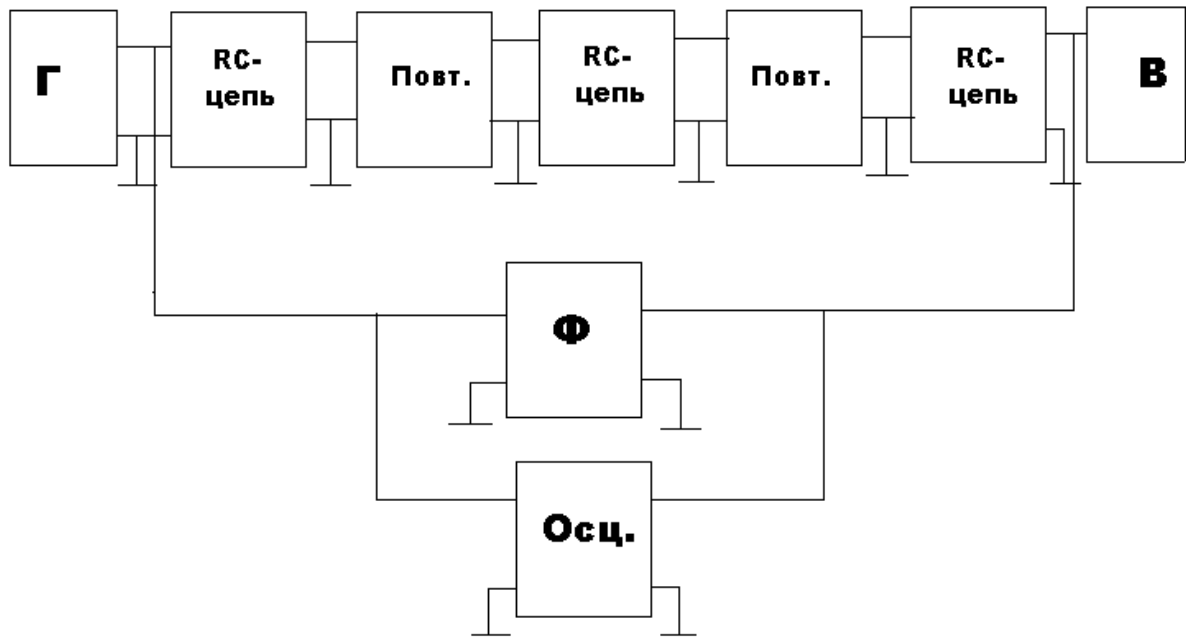


Рис.2.

- 4.7. Вторая схема отличается от первой независимостью одной цепи от другой. Исследования производятся аналогично предыдущей схеме. Однако результаты эксперимента будут несколько различаться.
  - 4.8. Построить все графики в абсолютных и нормированных единицах и сделать выводы относительно цепей различного порядков и относительно взаимного влияния.
- Примечание: повторители собрать на операционных усилителях.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Изобразить электрические схемы для положительного и отрицательного сдвига фаз.
- 5.2. Определить комплексный коэффициент передачи цепей первого, второго и третьего порядков.
- 5.3. Требуется подобрать элементы цепи для получения требуемых сдвигов фаз:  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  на частотах 1 КГц, 50 Гц.
- 5.4. Построить векторную диаграмму цепей всех порядков.
- 5.5. На частоте 1 КГц, 50 Гц и 500 Гц получить коэффициент передачи 0,5 для выбранных схем и элементов.
- 5.6. Представить передаточную функцию звеньев всех порядков в нормированном виде.

- 5.7. Записать выражения для определения частот среза для всех исследуемых схем.
- 5.8. Получить  $+90^\circ$  и коэффициент передачи 0,5 на частоте 1КГц.
- 5.9. Записать дифференциальное уравнение для цепи первого порядка.
- 5.10. Получить выражения для выходного напряжения в виде функции времени.
- 5.11. Определить наибольшую скорость изменения коэффициентов передачи на АЧХ цепей всех трех порядков

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Электрическая схема исследования.
- 6.3. Таблицы расчетных данных для цепей первого и второго порядков.
- 6.4. Таблицы экспериментальных данных.
- 6.5. Графики АЧХ и ФЧХ цепей первого и второго порядков:
  - 1) в абсолютных единицах:
  - 2) в нормированном виде (аргумент  $\omega/\omega_0$ ).
- 6.6. Векторные диаграммы.
- 6.7. Выводы по работе.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- 7.1. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства». (Миляев Д.В.)
- 7.2. Кукуш В.Д. «Электроизмерения»: Учебное пособие для ВУЗОВ. М.: Радио и связь, 1985, 368 стр., ил.
- 7.3. Техническое описание к приборам.
- 7.4. Баскаков С.И. «Радиотехнические цепи и сигналы»: Учебник для Вузов. М.: Высшая школа, 1988 .



# **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1.2.**

## **ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторно-практическая работа по исследованию параллельных структурных схем закрепляет теоретический материал по изучению общих вопросов аналоговых устройств, в данном случае с замкнутой схемой и реализующих метод сравнения, метод уравнивающего преобразования.

Известно, что последовательная структурная схема реализует метод прямого преобразования - метод измерения непосредственной оценки. Параллельная схема реализует метод уравнивающего преобразования - метод сравнения. При реализации метода сравнения возможны два способа создания компенсирующей величины: от дополнительного источника образцовых мер и с помощью самой измеряемой величины.

Первый тип приборов называют компенсаторами или автокомпенсаторами, устройствами, содержащими интегрирующее звено. Вторые называются компенсационными приборами или устройствами с отрицательной обратной связью.

В данной лабораторной работе исследуется простейшее компенсационное устройство.

Целью работы является исследование влияния на погрешность измерительного преобразователя отрицательной обратной связи в статике и динамике.

Сигнал помехи вызывается искусственно: в статике изменением коэффициента передачи одного из преобразователей и изменением частоты в динамике.

### **1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Экспериментальными данными подтвердить основные соотношения теоретического материала.
- 1.2. Познакомиться с реальными компенсационными устройствами

### **2.ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. Изучить основные свойства параллельных структурных схем.
- 2.2. Изготовить макет лабораторной работы (спаять схему исследования в соответствии с указанными рекомендациями).
- 2.3. Для каждой схемы определить расчетные коэффициенты передачи и мультипликативные погрешности в статике и динамике.

- 2.4. По данным экспериментов определить расчетные параметры и убедиться в их совпадении с теоретическими.
- 2.5. Сделать выводы по работе.

### **3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.**

Объектом измерения являются параллельные схемы, которые вначале являются разомкнутыми и представляют собой последовательное соединение усилителя с пассивными цепями.

Средства измерения:

- источники питания комбинированного прибора «Сура»;
- электронный осциллограф С1-55;
- вольтметр постоянного тока - тестер;
- вольтметр переменного тока ВЗ-38;
- генератор переменного тока ГЗ-118, Г6-26; или др.

Параллельная структурная схема включает две цепи: прямую и обратную.

В прямой цепи включены последовательно два измерительных преобразователя: усилитель постоянного тока на базе операционного усилителя с коэффициентом усиления более 1000 и делитель напряжения на резисторах. Усилитель постоянного тока охвачен местной отрицательной обратной связью.

Рассматриваются две схемы а) и б). В первой схеме усилитель с местной обратной связью включен последовательно с делителем. Во второй схеме усилитель и делитель охвачены общей отрицательной обратной связью. Сравниваются мультипликативные погрешности делителя в первой и второй схемах. Необходимо убедиться, что при изменении сопротивления делителя, в последовательной схеме общий коэффициент передачи изменяется на столько, насколько изменяется один из коэффициентов передачи усилителя. В параллельной схеме изменение этого коэффициента практически не изменяет общий коэффициент передачи.

На рис.1 » а « и «б « представлены схемы для исследования.

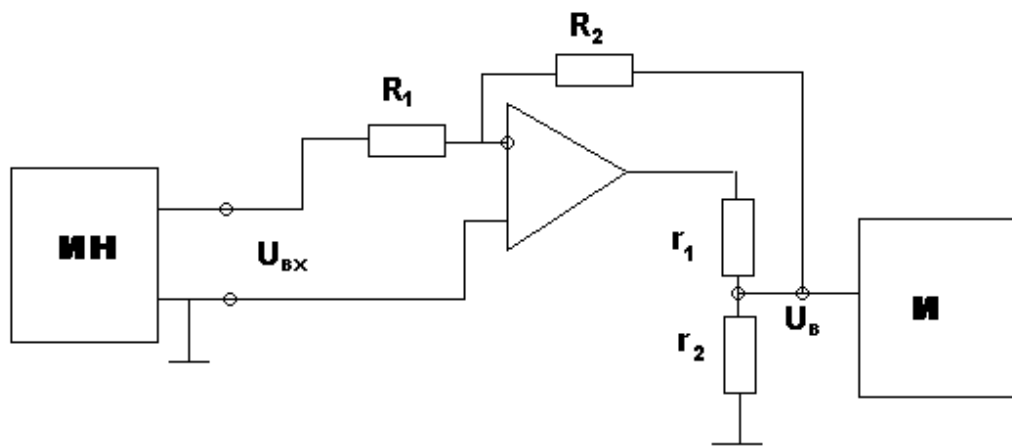


Рис.1 а) последовательная схема

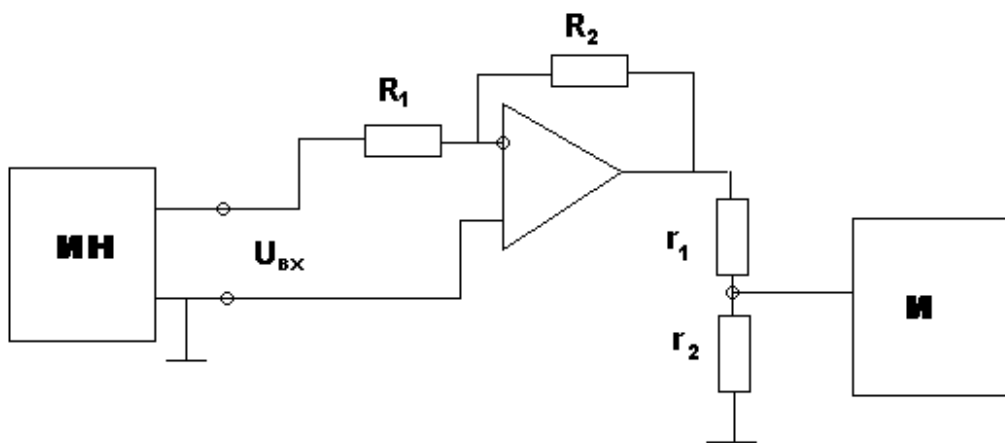


Рис.1 б) параллельная схема

ИН - источник постоянного напряжения;

И – измеритель выхода;

В качестве ИН используется любой источник постоянного напряжения. В данном случае можно использовать калибратор осциллографа С1-55.

На выходе схемы напряжения измеряется цифровым или аналоговым тестером. Чтобы исключить генерацию операционного усилителя на выходе необходимо посмотреть сигнал осциллографом.

В схемах а) и б) можно рекомендовать следующие параметры.

$$R_1 \cong 20 \text{ кОм}; r_1 = 3.3 \text{ кОм}; U_{\text{вх}} = 3 \text{ В};$$

$$R_2 \cong 10 \text{ кОм}; r_2 = 1.1 \text{ кОм};$$

Основные соотношения в схеме а).

$$K_{yc} = \frac{K_0}{1 + K_0 \cdot \beta}; \quad K_0 \approx 10^5; \quad \beta = \frac{R_1}{R_2};$$

$$K_g = \frac{r_1}{r_2 + r_1};$$

Коэффициент передачи делителя изменяется с помощью резистора, подключаемого параллельно одному из сопротивлений делителя, например,  $r_2$ . Коэффициент передачи увеличивается. Чтобы эти изменения были заметны по показаниям И, следует вводить это возмущение порядка 10-20%.

В схеме б) основные соотношения:

- Коэффициент прямой цепи  $K_0' = K_0 \cdot K_g$ ;

- Коэффициент обратной цепи  $\frac{R_1}{R_2}$ ;

- Коэффициент передачи обратной схемы  $K_n = \frac{K_0'}{1 + K_0' \cdot \beta}$ ;

Мультипликативная погрешность прямой цепи, вызванная изменением сопротивления  $r_2$  резистивного делителя:

$$\Delta K_g = \frac{\Delta r_2}{r_1 + r_2} - \text{абсолютная погрешность};$$

$$\frac{\Delta K_g}{K_g} = \frac{\Delta r_2}{r_2} \cdot 100\% - \text{относительная мультипликативная погрешность};$$

Для изменения коэффициента передачи делителя на 20 % к резистору  $r_2$  подключается резистор  $R_{ш}$  из расчета:

$$\frac{\Delta K_g}{K_g} = 0,2; \quad \frac{\frac{r_2 \cdot R_{ш}}{r_2 + R_{ш}} - r_2}{r_2} = 0,2;$$

Динамическая мультипликативная погрешность параллельной структурной схемы исследуется по схемам рис.2, в которых в качестве частотозависимого звена включается RC – цепь.

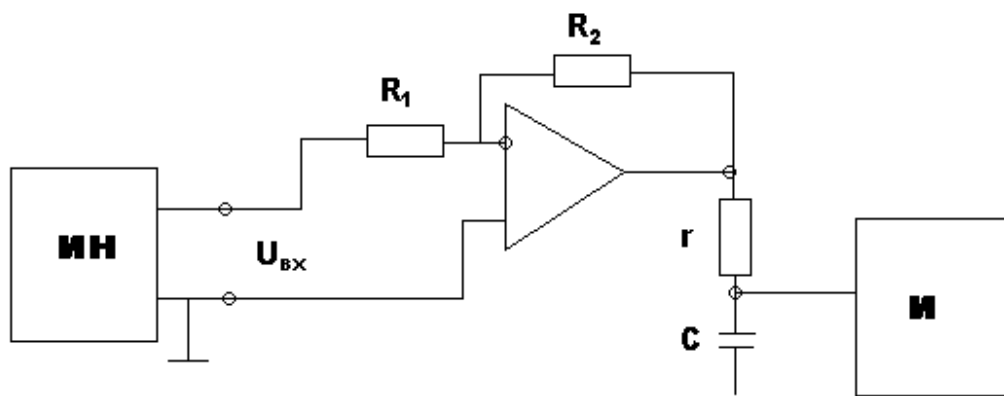


Рис.2 а) последовательная схема

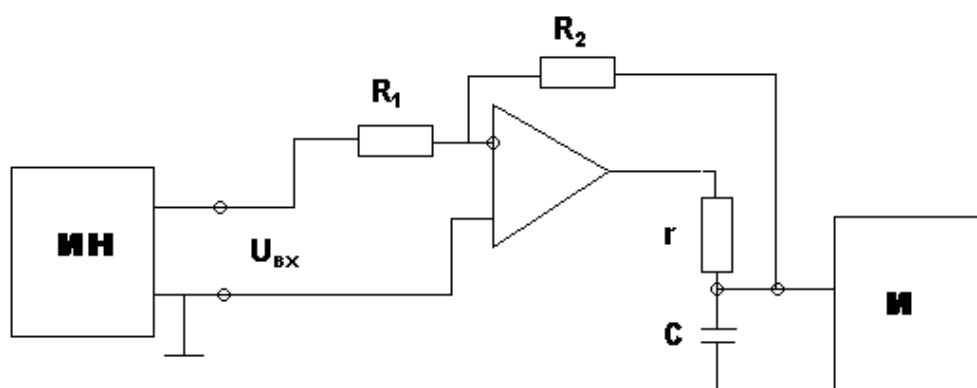


Рис.2 б) параллельная схема

В качестве ИН используется любой генератор синусоидальной формы сигнала, например ГЗ – 118 или Г6-26 (Г6-27).

Напряжение измеряется вольтметром ВЗ-38 и осциллографом.

В схеме а) основные соотношения:

$$K_{yc} = \frac{K_0}{1 + K_0 \cdot \beta}; \quad K_0 \approx 10^5; \quad \beta = \frac{R_1}{R_2};$$

$$\dot{K}_g = \frac{X_c}{r + X_c} = |K_g| \cdot e^{i\varphi};$$

Студентам предлагается исследовать АЧХ. Самостоятельно можно исследовать ФЧХ. Для этого включается измеритель разности фаз, аналогично лабораторной работе № 1.1.

Для схемы б) рис.2 имеют место соотношения:

$$K_0' = K_0 \cdot K_{RC} - \text{коэффициент передачи прямой цепи};$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_2} - \text{коэффициент обратной цепи};$$

Коэффициент передачи всей параллельной схемы:

$$K_u = \frac{K_0 \cdot K_{RC}}{1 + K_0 \cdot K_{RC} \cdot \beta};$$

Частотная погрешность или частотная зависимость связана с зависимостью коэффициента передачи RC – цепи от частоты.

При исследовании можно выбрать  $R = r_1$ , а частоту среза выбрать не более 1 кГц.

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

- 4.1. При изучении теоретического материала необходимо научиться на основе формул для общей структурной параллельной схемы составлять основные соотношения для частных схем.
- 4.2. При настройке макета лабораторной работы, необходимо при отсутствии входного сигнала проверить на выходе отсутствие постоянной и переменной составляющих. Если на выходе усилителя присутствует постоянная составляющая, необходимо установить регулировку установки нуля. При наличии переменной составляющей, на выходе усилителя (генерация усилителя), необходимо включить корректирующую цепь (см. справочник по ОУ).
- 4.3. При исследовании схемы на постоянном токе, на вход подается постоянное напряжение с калибратора осциллографа С1-55 такой величины, чтобы усилитель не входил в область насыщения ( $U_{\text{вых}} \leq U_{\text{вых max ОУ}}$ ). При исследовании схем рис.2 на переменном токе входное напряжение устанавливается по осциллографу и тоже не должно быть ограниченным.
- 4.4. Схемы рис.2 исследуются на двух частотах, подобранных таким образом, чтобы в схеме а) рис 2 выходные напряжения отличались между собой на 10-20%. Эти частоты устанавливаются в схемах а) и б). Сравниваются показания выходного прибора в параллельной и последовательной структурных схемах при изменении частоты.

- 4.5. По данным эксперимента можно количественно определить степень отличия мультипликативных погрешностей в разомкнутых и замкнутых схемах.

$$\frac{\frac{\Delta K_g(a)}{K_g}}{\frac{\Delta K_g(b)}{K_g}} = n_1; \quad \frac{\frac{\Delta K_{RC}(a)}{K_{RC}}}{\frac{\Delta K_{RC}(b)}{K_{RC}}} = n_2;$$

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ.

- 5.1. Написать основные соотношения для получения коэффициента преобразования параллельной структурной схемы.
- 5.2. Вывести формулы для абсолютной и относительной мультипликативных погрешностей для параллельной схемы.
- 5.3. Вывести формулы для аддитивной погрешности.
- 5.4. Почему компенсационные устройства называют статическими?
- 5.5. Как пояснить уменьшение мультипликативной погрешности и неизменность аддитивной погрешности в параллельной схеме?
- 5.6. Как будет вести параллельная схема при

$$\beta = \frac{R}{X_c}, \text{ т.е. при } R_1 = R, \text{ а } R_2 = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{X_c} \quad ?$$

## 6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ.

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.3. Электрические схемы, данные эксперимента.
- 6.4. Расчеты по данным эксперимента.
- 6.5. Выводы по работе.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- 7.5. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства». (Миляев Д.В).
- 7.6. Аналоговые электроизмерительные приборы: Учебное пособие для Вузов / под редакцией А.А. Преображенского. М.: Высшая школа, 1979, 352 стр.

## 2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ



## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.1.**

### **РЕЗИСТИВНЫЕ МАСШТАБНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторная работа по расчету и исследованию резистивных масштабных преобразователей относится ко второму блоку курса "Аналоговые измерительные устройства", который охватывает основные измерительные преобразователи аналоговых устройств.

В данной лабораторной работе на основании домашних расчетов практического задания исследуется резистивный делитель напряжения. Экспериментальным путем проверяются теоретические расчеты и закрепляется материал по данному разделу дисциплины.

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1. Научиться проектировать и исследовать резистивные делители напряжения.
- 1.2. Ознакомиться с методикой исследования преобразователей.
- 1.3. Научиться рассчитывать статические и динамические характеристики.

#### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. В соответствии с собственным вариантом задания, представленным в рабочей программе рассчитать резистивный делитель по методике, изложенной в курсе лекций.
- 2.2. Спаять на макетной плате резистивный одноступенчатый делитель с указанными типом и номиналами резисторов.
- 2.3. Экспериментально определить коэффициент передачи на постоянном токе.
- 2.4. Снять данные о частотной зависимости коэффициента передачи делителя и построить АЧХ.
- 2.5. Определить инструментальную погрешность делителя на постоянном токе и сравнить с расчетной.
- 2.6. Определить частотную погрешность преобразователя, построить график зависимости.

- 2.7. Определить входное и выходное сопротивления делителя.
- 2.8. Сделать выводы по работе.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Объектом исследования является резистивный делитель, состоящий из

2-х резисторов типа МЛТ с допуском  $\pm 5\%$ .

Для исследования делителя на постоянном токе применяются источники постоянного напряжения:

1. Комбинированный прибор “Сура”, имеющий два источника постоянного напряжения ( $0 \div 15$ ) В.
2. Калибратор осциллографа С1-55, с набором напряжений от 0,01 до 40 В.
3. Цифровой вольтметр типа М830.

На переменном токе для исследования можно использовать один из генераторов переменного тока:

1. Г3-118 - ( $0 \div 10$  В), 1 Гц  $\div$  200 кГц
2. Г6-26 - ( $0 \div 10$  В), 1 Гц  $\div$  1 МГц
3. Г6-27 - ( $0 \div 10$  В), 1 Гц  $\div$  1 МГц
4. Вольтметр переменного тока ВЗ-38.

При исследовании масштабных преобразователей основное внимание уделяется изучению принципов и методик исследования, поэтому точная аппаратура не используется.

Электрическая схема исследования резистивного делителя.

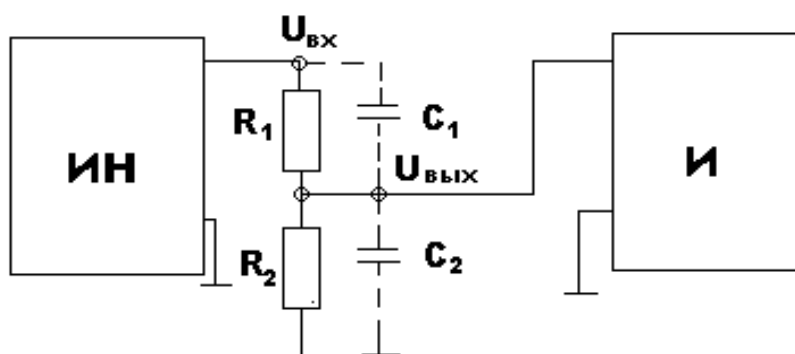


Рис.1.

ИН - источник напряжения.

И - измеритель выходного напряжения.

$R_1$  и  $R_2$  – плечи делителя.

$C_1$  и  $C_2$  – собственные емкости (паразитные) резисторов.

Выходное напряжение делителя является падением напряжения на нижнем плече делителя.

#### 4.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

4.1. Предварительно произвести расчет резистивного делителя.

Методика расчета дана в курсе лекций. Коэффициент передачи на постоянном токе необходимо определить при различном уровне входного сигнала: 0,1, 1, 10, 20, 30, 40 В.

Эти напряжения можно задать калибратором осциллографа.

По данным многократных измерений определяется среднее значение коэффициента передачи.

Сравнивая с расчетным значением, определяют инструментальную погрешность делителя.

4.2. Исследование на переменном токе проводится с целью выяснения влияния собственных емкостей резисторов - С1, С2 и емкости нагрузки. Источником, питающим делитель, является генератор переменного тока.

Для уменьшения влияния внутреннего сопротивления генератора, необходимо исследование проводить, используя генератор с внутренним сопротивлением 5 Ом. Емкость нагрузки - это входная емкость измерителя. Она известна и должна быть учтена при расчетах.

Весь частотный диапазон исследования необходимо разбить на декады. На АЧХ указать коэффициент передачи на границах декад.

Построить частотную характеристику и определить частотные погрешности по декадам.

Учитывая распределенные емкости резисторов, величину которых можно определить из справочника по резисторам, математическим расчетом определить частотные погрешностей по декадам.

4.3. Входное и выходное сопротивления измеряются классическим способом по данным из 2-х режимов: холостой ход и короткое замыкание.

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}};$$

где:  $U_{\text{вх}}$  - напряжение на выходе генератора при отключенной нагрузке (без делителя).

$I_{\text{вх}}$  - ток в цепи резисторов.

$$R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}}; \text{ где: } U_{\text{вых}} = U_{R2} = U_{\text{хх}}; I_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{хх}}}{R_{\text{кз}}};$$

$R_{\text{кз}}$  - сопротивление цепи относительно выходных зажимов при замыкании генератора накоротко.

$$R_{вх} = R_1 + R_2, \quad R_{кз} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

таким образом  $R_{вых} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$

Эксперимент по определению входного и выходного сопротивлений производится на постоянном токе при питании исследуемого объекта от блока питания “Суры”. При этом можно считать, что внутреннее сопротивление источника равно нулю.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ.**

- 5.1. Изобразить схему резистивного делителя с коэффициентом передачи 0,5 и входным сопротивлением 500 кОм.
- 5.2. Определить коэффициент передачи на переменном токе с учетом собственных емкостей резисторов.
- 5.3. Что такое частотно-компенсированный делитель напряжения?
- 5.4. Как производится частотная коррекция резистивного делителя?
- 5.5. Определить входное и выходное сопротивления делителя см. п.5.1.
- 5.6. Почему низкоомный резистивный делитель имеет меньшую частотную погрешность? Доказать.
- 5.7. Что такое инструментальная погрешность делителя и как она определяется?
- 5.8. Если резисторы по п.5.1. имеют разброс сопротивлений  $\pm 5 \%$ , чему равна погрешность делителя?
- 5.9. Пояснить назначение резистивного делителя.
- 5.10. Назовите другие типы делителей.

## **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.**

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Схема исследований.
- 6.3. Таблица данных исследований на постоянном токе.
- 6.4. Таблица данных исследований на переменном токе.
- 6.5. Расчетные соотношения.
- 6.6. Графики зависимости коэффициента передачи и частотной погрешности резистивного делителя.
- 6.7. Выводы по работе.

## **7. ЛИТЕРАТУРА**

- 7.1. Лекции по курсу “Аналоговые измерительные устройства”. Миляев Д.В.
- 7.2. Аналоговые измерительные приборы. Учебное пособие для вузов /Под ред. А.А.Преображенского. - М.: Высшая школа, 1979.

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.2.**

### **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ.**

#### **ВВЕДЕНИЕ.**

Преобразователи переменного тока в постоянный изучаются во втором блоке дисциплины. Домашнее практическое задание включает расчет трех типов пассивных преобразователей: среднего, амплитудного и эффективного значений. В данной работе исследуется пассивный преобразователь среднего значения с использованием данных домашнего практического задания. Методика расчета преобразователей дается в лекциях по данной дисциплине.

#### **1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Научиться проектировать преобразователи средних значений.
- 1.2. Исследовать реальные характеристики пассивных преобразователей.
- 1.3. Изучить методику проведения эксперимента по исследованию нелинейных преобразователей.

#### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. В соответствии с вариантом задания рассчитать преобразователь средних значений.
- 2.2. Спаять преобразователь на макетной плате.
- 2.3. Снять и построить зависимость коэффициента передачи от входного сигнала на постоянном токе и определить погрешность от нелинейности, построить график погрешности.
- 2.4. Сравнить расчетные данные с экспериментальными, сделать выводы.
- 2.5. Снять амплитудно-частотную характеристику преобразователя в зоне малой нелинейности, построить график.
- 2.6. Определить частотную погрешность, построить график частотной погрешности.
- 2.7. Сделать общие выводы по работе.

#### **3.ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.**

Пассивный преобразователь средних значений строится с использованием полупроводникового диода типа D 220 и резисторов типа МЛТ.

Из справочных данных определяем диапазон входных напряжений для данного типа диода. Исследование производится по схеме рис.1.

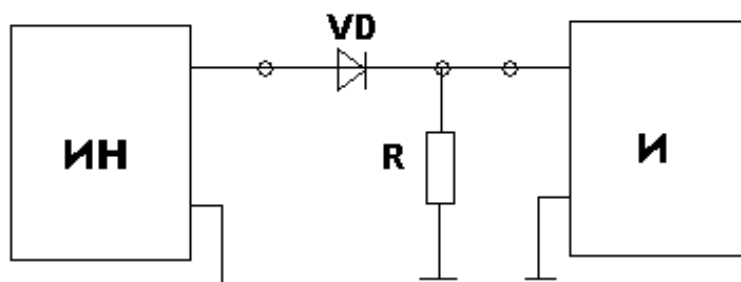


Рис.1.

ИН - источник напряжения.

И - измеритель выхода.

R – сопротивление нагрузки пассивного преобразователя.

При исследовании преобразователя на постоянном токе в качестве ИН используется калибратор осциллографа С1-55 , имеющий набор из 10 образцовых напряжений от 0,05 до 40 Вольт. Такого же уровня напряжения можно получить от комбинированного прибора “Сура”, причем напряжения устанавливаются плавно.

На переменном токе источником напряжения является один из генераторов ГЗ-118 , Г6-26, Г6-27, ГЗ-112. Наибольшее напряжение, которое можно установить на выходе генераторов при 600-омной внутренней нагрузке, составляет 10 В.

Частотный диапазон ГЗ-118 - 200 кГц, у остальных до 1 МГц.

Для измерения напряжений на выходе преобразователя в качестве И необходимо использовать осциллограф С1-55, цифровой или аналоговый вольтметр постоянного тока. В данном случае точное измерение не требуется, но для исключения методической погрешности приборы должны иметь входное сопротивление не менее 300 ÷ 500 кОм.

Осциллографом измеряется постоянная составляющая напряжения по перемещению нулевой линии при переключении режима работы осциллографа из  $\sim$  в  $\cong$ , т.е. переключение закрытого входа на открытое.

Из вольтметров можно применить цифровой тестер М830 или аналоговый тестер ТЛ-4.

Однако на пределах измерения напряжения менее 10 В аналоговый тестер применять нежелательно, т.к. его входное сопротивление оказывается соизмеримым с сопротивлением нагрузки преобразователя и показания на выходе будут неверно характеризовать передаточную функцию преобразователя.

## **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

4.1. Измерения на постоянном токе производятся подсоединением источника напряжения и измерителя одиночными проводниками, на переменном токе используются проводники в виде коаксиальных кабелей со специальным разъемом СРЦ.

4.2. П 2.3 программы работы достаточно быстро выполняется, если при исследовании преобразователя на постоянном токе использовать калибратор осциллографа в качестве источника.

Выходное напряжение регистрировать с помощью цифрового вольтметра М830.

Необходимо иметь в виду, что калибратор дает положительные напряжения относительно корпуса.

Обратную ветвь характеристики преобразователя не снимать.

По данным п.2.3. строят зависимость коэффициента передачи от входного напряжения и сравнивают с расчетными значениями.

Далее характеристику аппроксимируют, находят усредненный коэффициент передачи и определяют погрешность от нелинейности, как относительную разность коэффициентов передачи в каждой  $i$ -той точке и усредненного коэффициента.

4.3. П 2.5 программы выполняется подобно п.2.3., на вход преобразователя подается с помощью коаксиального кабеля переменное напряжение такой величины, которое соответствует зоне с малой погрешностью от нелинейности п.2.3.

4.4. П.2.5. можно выполнить при нескольких условиях входного сигнала, например 1, 3, 5 и 10 В или по указанию преподавателя.

Строится семейство АЧХ или одна частотная характеристика, в зависимости от указания преподавателя, и в соответствии с программой находятся частотные погрешности и строятся графики погрешностей.

## **5.ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ.**

5.1. Получить условие для оптимального сопротивления нагрузки преобразователя средних значений.

5.2. Что такое среднее значение переменного напряжения по абсолютной величине и чему оно равно?

5.3. Определить погрешность от нелинейности в общем виде.

5.4. Как снимается частотная характеристика преобразователя?

5.5. Получить выражение для реального и идеального коэффициента передачи.

5.6. Объясните возникновение частотной погрешности.



- 5.7. Как с помощью осциллографа измерить постоянную составляющую в сложном сигнале?
- 5.8. Какое напряжение покажет вольтметр постоянного тока на выходе однополупериодного преобразователя средних значений, если на вход подать сетевое напряжение 220 В?

## **6.ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ.**

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Таблицы экспериментальных данных.
- 6.3. Таблицы данных расчета задания.
- 6.4. Графики статических и динамических испытаний преобразователя.
- 6.5. Расчетные соотношения.
- 6.6. Выводы по работе.

## **7.ЛИТЕРАТУРА.**

- 7.1. Конспект лекции по курсу “Аналоговые измерительные устройства”. Миляев Д.В.
- 7.2. Волгин Л.И. Линейные преобразователи измерительных приборов и систем. - М.: Советское радио, 1971.

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.3.**

### **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АМПЛИТУДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Преобразователи переменного тока в постоянный различают по соответствию уровня постоянного напряжения на выходе ко входному переменному напряжению. В преобразователях амплитудного значения, постоянное напряжение на выходе должно быть пропорциональным или равно амплитуде входного переменного напряжения, независимо от формы сигнала.

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Научиться проектировать преобразователи амплитудных значений (ПАЗ).
- 1.2. Уметь рассчитывать и исследовать реальные пассивные преобразователи.
- 1.3. Изучить методику проведения эксперимента.

#### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. В соответствии с вариантом задания рассчитать преобразователь амплитудных значений.
- 2.2. Спаять преобразователь на макетной плате.
- 2.3. Снять и построить амплитудную характеристику преобразователя на средней частоте (1 КГц).
- 2.4. Определить погрешность от нелинейности на данной частоте входного сигнала.
- 2.5. Снять амплитудно-частотную характеристику преобразователя в зоне малой погрешности от нелинейности.
- 2.6. Определить частотную погрешность в исследуемой области частот и рекомендовать рабочий диапазон.
- 2.7. Исследовать влияние внутреннего сопротивления генератора и сопротивления нагрузки на частотные свойства преобразователя.
- 2.8. Сделать выводы по работе.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Объектом исследования является пассивный преобразователь амплитудных значений открытого или закрытого типа. Схема исследования преобразователя закрытого типа представлена на рис. 1.

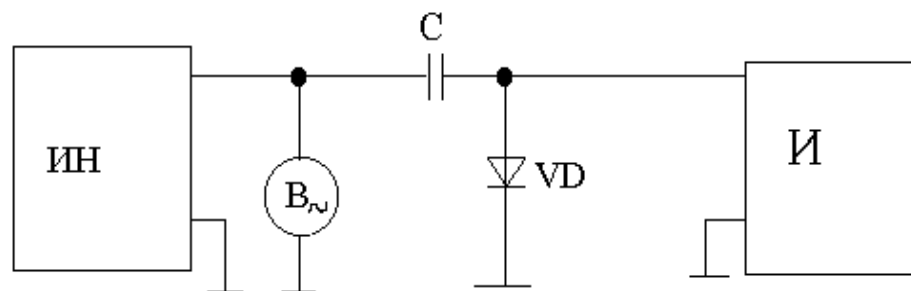


Рис.1.

- ИН – источник переменного напряжения;
  - И – измеритель выхода;
  - VD – полупроводниковый диод типа Д220;
  - С – емкость типа КСО.
- Рис. 1

Измеритель напряжения выхода – это цифровой вольтметр или электронный осциллограф С1-55. Источником переменного напряжения может служить либо генератор переменного тока (ГЗ-118, ГЗ-112, Гб-26, Гб-27) либо генератор синусоидального напряжения комбинированного прибора «Сура».

Входное напряжение устанавливается с помощью вольтметра переменного тока ВЗ-38. Выходное напряжение амплитудного преобразователя закрытого типа кроме постоянной составляющей имеет переменную, примерно равную входному напряжению. Обе составляющие могут быть измерены электронным осциллографом типа С1-55, имеющего закрытый и открытый вход. Цифровой тестер М 830 измеряет переменное напряжение только в диапазоне 45-450 Гц. Необходимо обратить внимание на входное сопротивление измерителей выхода, так как оно влияет на выходное напряжение преобразователя.

## 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 4.1. Амплитудная характеристика ПАЗ – зависимость выходного постоянного напряжения от амплитуды входного переменного напряжения, которая в данной лабораторной работе определяется на постоянной частоте в диапазоне 0-10 В. Входное напряжение устанавливается по вольтметру действующего значения ВЗ-38, поэтому для нахождения амплитуды показания должны быть увеличены в  $\sqrt{2}$  раз. Так как вольтметр ВЗ-38 является вольтметром, реагирующим на среднее значение переменного напряжения, то результаты исследования зависят от формы сигнала, т.е. в данном случае невозможно исследовать амплитудную характеристику ПАЗ при формах сигнала, отличающихся от синусоидальной. Входное напряжение следует разбить на две группы: малые до 3 В (пять значений) и большие до 10 В (пять уровней). По данным эксперимента строится АХ.
- 4.2. Отношение выходного постоянного напряжения к амплитуде входного, является коэффициентом передачи. В идеальном устройстве он постоянен при всех уровнях входного сигнала. Реальное устройство имеет погрешность нелинейности. Эту инструментальную погрешность необходимо определить для всех входных уровней напряжения как:

$$\gamma_{\text{нел}} = \left( \frac{K_{\text{max}} - K_i}{K_{\text{max}}} \right) \cdot 100\% ;$$

где :  $K_{\text{max}}$  – коэффициент передачи при максимальном напряжении на входе;

$K_i$  - коэффициент передачи при данном уровне напряжения.

По результатам расчета построить график зависимости величины погрешности от входного сигнала.

- 4.3. Из графика для погрешности от нелинейности выбирают входное напряжение, где нелинейность наименьшая. Устанавливают это входное напряжение, изменяют частоту входного сигнала в пределах, рекомендуемых преподавателем. Определяют коэффициенты передачи от частоты и частотную погрешность. За нормирующее значение выбирают коэффициент передачи на частоте 1 КГц. По результатам исследования и графику частотной погрешности выбирают или рекомендуют рабочую частотную область.
- 4.4. Как известно, частотная погрешность ПАЗ зависит от нагрузки преобразователя. Чем меньше сопротивление нагрузки, тем больше частотная погрешность и меньше рабочая область частот. Необходимо экспериментальным путем определить степень влияния на-

грузки и внутреннего сопротивления генератора на коэффициент передачи ПАЗ.

Эксперимент необходимо провести на частоте 1 КГц или средней частоте АЧХ при внутренних сопротивлениях генератора 50 и 600 ом. Сопротивление нагрузки изменять присоединением дополнительных резисторов на выходе ПАЗ. Число и величину сопротивлений резисторов указывает преподаватель. Влияние сопротивлений нагрузки можно предварительно оценить по формуле для частотной погрешности:

$$\gamma_{\text{нел}} = \frac{1}{2\pi \cdot R_n \cdot C};$$

4.5. По всем исследованиям сделать выводы.

## 5. ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ .

- 5.1. Вывести формулу для определения коэффициента передачи ПАЗ.
- 5.2. Изобразить временные диаграммы работы ПАЗ.
- 5.3. Назвать особенности ПАЗ закрытого и открытого типов.
- 5.4. Как с помощью осциллографа измерить только постоянную составляющую выходного напряжения?
- 5.5. От чего зависит коэффициент передачи ПАЗ?
- 5.6. Почему коэффициент передачи зависит от частоты?
- 5.7. Пояснить влияние формы сигнала на показания вольтметра средних (средневыпрямленных значений)?
- 5.8. Какие требования предъявляются к элементам преобразователя амплитудных значений?
- 5.9. Как определяется амплитудная характеристика, АЧХ?
- 5.10. Как определить погрешность от нелинейности измерительного устройства?

## 6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.3. Таблицы данных исследований.
- 6.4. Графики экспериментальных зависимостей.
- 6.5. Пояснение к графикам и выводы по результатам исследований.
- 6.6. Расчетные соотношения.

## **7. ЛИТЕРАТУРА**

7.1. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства» (Миляев Д.В.).

7.2. Волгин Л.И. Линейные преобразователи измерительных приборов и систем. - М.: Советское радио, 1971.

# **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.4.**

## **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Эффективное или действующее значение переменного тока измеряется вольтметрами магнитоэлектрической системы, после преобразования переменного напряжения в постоянное.

Известно, что при любой форме переменного сигнала, эффективное значение находится как среднеквадратическая величина. В аналоговых приборах извлечение квадратного корня производится на шкале вольтметра при его градуировке. Среди различных элементов с квадратичной характеристикой наиболее удобно во фронтальных лабораторных работах использовать полупроводниковые диоды, имеющие на начальном участке вольтамперной характеристики достаточно точный квадратичный характер.

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1. Научиться определять и аппроксимировать по экспериментальным данным характер зависимости вольтамперной характеристики (ВАХ) полупроводникового диода.
- 1.2. Научиться рассчитывать и исследовать преобразователь эффективного значения (ПЭЗ).
- 1.3. Методом проб и ошибок составить методику проведения эксперимента.

### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. Сделать предварительный выбор диода и расчет преобразователя.
- 2.2. Спаять преобразователь на макетной плате.
- 2.3. Снять и построить ВАХ квадратичной характеристики нескольких полупроводниковых диодов.
- 2.4. Аппроксимировать ВАХ квадратичной характеристикой, определить погрешность от аппроксимации. Выбрать лучший вариант.
- 2.5. Рассчитать ПЭЗ с заданной погрешностью преобразования.
- 2.6. Исследовать реальный преобразователь:
  - на постоянном токе - область преобразования входных сигналов;
  - снять и построить АЧХ;
  - произвести градуировку выходного прибора при синусоидальном сигнале;
  - измерить эффективное значение сигнала прямоугольной формы от генератора-калибратора, определить погрешности;

- результаты п.4 сопоставить с данными расчета;
- 2.7. Сделать выводы по работе.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.

Объектом исследования является пассивный преобразователь эффективных (действующих) значений. Схема преобразователя и средств исследования приведена на рис. 1.

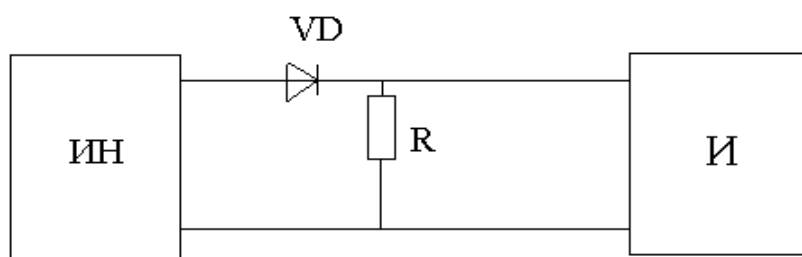


Рис. 1

ИН – источник сигнала;  
И – измеритель напряжения выхода;  
R - резистор нагрузки;  
VD - полупроводниковый диод.

При исследовании преобразователя, рис.1 видоизменяется в зависимости от программы исследования ВАХ диода. В качестве источника необходимо использовать один из регулируемых источников комбинированного прибора «Сура» (0-15 В).

На переменном токе ИН – генератор синусоидальных колебаний. При проверке градуировки преобразователя прямоугольным напряжением (мендр), ИН – калибратор осциллографа С1 – 55 или генератор специальной формы сигналов Гб– 26 или Гб-27 и т. п. Резистор нагрузки преобразователя рассчитывается в разных пунктах программы, исходя из его выполняемых функций.

Измерителем И является цифровой тестер, электронный осциллограф или вольтметр ВЗ-38, измеряющий переменное напряжение на выходе генератора синусоидального сигнала. При исследовании ВАХ на постоянном токе в качестве измерителя может применяться миллиамперметр.



## 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

- 4.1. П.п. 2.1.,2.2.,2.3. выполняются по предварительным указаниям преподавателя. При измерении параметров ВАХ необходимо учитывать характеристики тех измерительных приборов, которые выбраны, и предел регулируемого источника напряжения. Например: при изменении входного напряжения в пределах 0-15 В, величина резистора должна быть определена из допустимого тока через диод, т. е.

$$R = \frac{15V}{I_{\text{дон}}};$$

Падение напряжения на диоде можно измерить вольтметрами с входным сопротивлением не менее 10 Ком. Измерение тока через диод можно выполнять либо непосредственно, включив в цепь измеритель, либо косвенно по падению напряжения на резисторе. Напряжение на открытом диоде не превышает одного вольта, поэтому можно использовать цифровой или аналоговый тестер.

- 4.2. Построив ВАХ диода, необходимо аппроксимировать экспериментальную характеристику параболой:

$$I_l = K_{cp} \cdot U_{\text{дон}}^2;$$

где  $K_{cp}$  – среднее значение коэффициента пропорциональности по экспериментальным данным. Погрешность аппроксимации:

$$\gamma_{an} = \frac{\Delta K_i}{K_{\text{max}}} \cdot 100\%$$

$\Delta K_i = K_i - K_{cp}$  – разброс коэффициента на ВАХ.

По минимальной погрешности аппроксимации подбирается экземпляр полупроводникового диода.

- 4.3. Реальный преобразователь эффективного значения состоит из диода и нагрузочного сопротивления. Но величина данного сопротивления при идеальной квадратической характеристике диода должна быть равна нулю. При включении нагрузочного сопротивления в цепь диода, характеристика спрямляется. Поэтому величина резистора выбирается после задания коэффициента передачи преобразователя. Входное напряжение реального преобразователя регулируется в пределах квадратичного участка и, как известно, не превышает 0,6-0,7 В. При использовании источника постоянного напряжения 0-15 В, необходимо перед преобразователем поставить резистивный

делитель с малым входным сопротивлением. Делитель и его параметры представлены на рис.2.

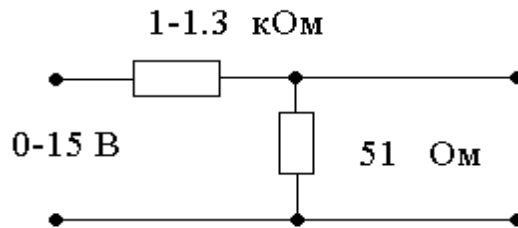


Рис.2.

Делитель можно использовать на постоянном и переменном токе при снятии

АЧХ и градуировке выходного вольтметра при синусоидальном сигнале. При проверке работоспособности преобразователя на переменном токе прямоугольной формы, делитель можно не использовать, так как калибратор имеет малые напряжения до одного вольта.

4.4. Градуировку преобразователя следует производить в такой последовательности:

- установить входное напряжение, соответствующее наибольшему значению квадратичного участка, по вольтметру ВЗ-38 и измеряют постоянное напряжение на выходе цифровым или аналоговым вольтметром.
- определяют коэффициент пропорциональности из формулы:

$$U_{\text{вых}} = K \cdot U_{\text{вх}}^2 ;$$

где  $K$  - коэффициент передачи делителя. Таким образом,

$$U_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{U_{\text{вых}}}{K}} ;$$

- разбив весь квадратичный участок на 5-10 точек, устанавливают эти значения по ВЗ-38. Находят эти значения по формуле:

$$U_{\text{вх}i} = \sqrt{\frac{U_{\text{вых}i}}{K}} ;$$

- разность между показаниями вольтметра и расчетными данными заносят в таблицу и определяют погрешность в каждой точке по формуле:

$$\gamma_i = \left( \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \right) \cdot 100\% ;$$

- 4.5. По данным градуировки строят шкалу эффективных значений. Чтобы однозначно определить, что нанесенные данные действительно, являются эффективными, значениями, на вход преобразователя подается напряжение прямоугольной формы. Для прямоугольного сигнала эффективное значение равно амплитудному. Подавая с генератора – калибратора осциллографа напряжение прямоугольной формы известной амплитуды, делают проверку шкалы преобразователя, проградуированного в эффективных значениях.

Данные проверки заносят в таблицу и строят график зависимости  $U_{\text{вых}}$  от  $U_{\text{вх}}$  и сличают с графиком первоначальной градуировки.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ.**

- 5.1. Вывести формулу для эффективного значения переменного напряжения.
- 5.2. Пояснить принцип работы полупроводникового диода, как квадратора.
- 5.3. Каким образом можно показать квадратичность ВАХ диода?
- 5.4. Определить среднее эффективное значение для прямоугольной и треугольной формы сигнала.
- 5.5. Что такое погрешность аппроксимации?

## **6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ**

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.3. Принципиальная схема и расчет преобразователя.
- 6.4. Таблицы данных расчета и эксперимента.
- 6.5. Градуировочная шкала, графики погрешностей.
- 6.6. Выводы по работе.

## **7. ЛИТЕРАТУРА**

- 7.1. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства» (Миляев Д.В.)

- 7.2. Волгин Л.И. «Линейные электрические преобразователи для измерительных приборов и систем», М.: Энергоатомиздат, 1983г.

### 3.ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ.

# **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3.1.**

## **МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АМПЕРМЕТР.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторная работа №3-1 относится к работам по практической разработке электромеханических приборов, а именно магнитоэлектрического амперметра.

Выполнению лабораторной работы предшествует расчет домашнего практического задания. Весь объем работы по изготовлению амперметра и его исследованию укладывается в один академический час.

### **1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1. Научиться проектировать и изготавливать магнитоэлектрические амперметры.
- 1.2. Исследовать метрологические характеристики амперметров.
- 1.3. Научиться определять класс точности, основные и дополнительные погрешности измерительного прибора.

### **2.ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. В соответствии с вариантом, указанного в контрольном задании, рассчитать магнитоэлектрический амперметр, его класс точности и дополнительные погрешности.
- 2.2. Измерить сопротивление измерительного механизма, скорректировать расчетное сопротивление шунта, изготовить его.
- 2.3. Произвести градуировку амперметра и определить основную погрешность.
- 2.4. Определить класс точности.
- 2.5. Построить градуировочную характеристику.
- 2.6. Сделать выводы по работе.

### **3.ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.**

- 3.1. Объектом исследования является разрабатываемый в соответствии с условиями практического задания амперметр, включающий измерительный механизм и шунт.
- 3.2. Средствами измерения являются:
  - образцовый амперметр (цифровой тестер),.
  - источник постоянного напряжения электронного осциллографа С1-55 (калибратор),

- комбинированный прибор “Сура”
- резисторы типа МЛТ.

#### 4.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ .

- 4.1. Для изготовления шунта необходимо измерить внутреннее сопротивление механизма. Возможны два способа:
1. Измерение сопротивления с помощью цифрового тестера (если ток омметра не приводит к зашкаливанию измерительного механизма).
  2. Сопротивление механизма измеряют, включив его в электрическую цепь, по методу амперметра-вольтметра или при известном токе по падению напряжения.
- 4.2. Рассчитав сопротивление шунта, определяют длину провода, необходимой для намотки , катушки шунта, заданного сопротивления. Диаметр провода задается преподавателем.
- 4.3. Намотка провода шунта производится на резистор типа МЛТ, желательно большего сопротивления.
- 4.4. Сопротивление шунта подгоняется с помощью цифрового омметра.
- 4.5. Градуировка прибора производится с помощью цифрового тестера, включенного в режиме измерения тока по схеме рис.1.

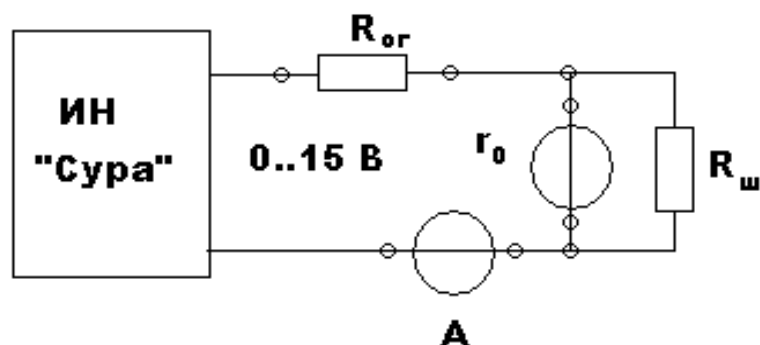


Рис.1

4.6. где:  $R_{огр}$  - ограничительное сопротивление, равное  $R_{огр} = \frac{U_{ин}}{I_x}$ ;

$I_x$  - заданный предел измерения амперметра.

$U_{ин}$  - напряжение, установленное на выходе прибора “Сура” или калибратора.

Регулируя напряжение на входе схемы, устанавливают ток на испытуемом амперметре на оцифрованные точки. А по показаниям цифрового амперметра определяют действительное значение тока.

Разница показаний - абсолютная погрешность, отнесенная к пределу измерения, является приведенной погрешностью. Максимальная приведенная погрешность амперметра по абсолютной величине определяет класс точности нового прибора.

4.6. Данные градуировки, полученные экспериментальным путем заносятся в таблицу.

4.7. Класс точности, определенный экспериментальным путем и расчетом домашнего задания сравнивают и делают пояснения по результатам сравнения.

## **5.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

5.1. Изобразить схему магнитоэлектрического амперметра

5.2. Рассчитать сопротивление шунта.

5.3. Определить геометрические размеры шунта.

5.4. Объяснить: как изменяются пределы измерения амперметра, если шунт выполнен:

а) сопротивление шунта меньше расчетного

б) сопротивление шунта больше расчетного.

5.5. Записать уравнение шкалы амперметра.

5.6. Как определить ограничительное сопротивление при включении амперметра в цепь источника ЭДС?

5.7. Как измерить внутреннее сопротивление измерительного механизма по методу падения напряжения на неизвестном сопротивлении в цепи с питанием от генератора тока?

5.8. Как определяется сечение проводника при заданном токе через проводник?

5.9. Пояснить влияние температуры на амперметр, имеющего шунт из манганина.

## **6.СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.**

6.1. Название и цель работы.

6.2. Программа

6.3. Изготовление шунта.

6.4. Схема исследования.

6.5. Таблица данных градуировки прибора и приведенных погрешностей. Класс точности.

6.6. Выводы и пояснения в работе.

## 7. ЛИТЕРАТУРА.

- 7.1. Лекции по курсу “Аналоговые измерительные устройства”. Миляев Д.В.
- 7.2. Электрические измерения: Учебник для вузов. / под ред. А.В.Фремке и Е.М.Душина.  
1970. - 392 с., пл.
- 7.3. Справочник по электроизмерительным и радиоизмерительным приборам. /Под ред. Шкурина, 1988.



## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3.2.**

### **МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВОЛЬТМЕТР.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторная работа № 3-2 так же как № 3-1 входит в третий раздел дисциплины "Аналоговые измерительные устройства" и ставит целью путем практических экспериментальных исследований закрепить материал по расчету и проектированию магнитоэлектрических вольтметров.

Задание лабораторной работы в принципе может отличаться по объему от практического задания, в зависимости от сложности конкретных условий выполнения. Однако практика должна быть достаточной для закрепления знаний по теоретической части дисциплины.

#### **1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Научиться рассчитывать магнитоэлектрические вольтметры.
- 1.2. Научиться изготавливать вольтметры.
- 1.3. Исследовать метрологические характеристики.
- 1.4. Научиться определять основные и дополнительные погрешности и класс точности измерительного прибора.

#### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. В соответствии с вариантом, указанным в рабочей программе, рассчитать магнитоэлектрический вольтметр, его класс точности, основные и дополнительные погрешности.
- 2.2. Измерить сопротивление измерительного механизма, скорректировать расчетное сопротивление добавочного резистора, изготовить его.
- 2.3. Произвести градуировку вольтметра и определить его основную погрешность.
- 2.4. Определить класс точности полученного вольтметра.
- 2.5. Построить градуировочную характеристику.
- 2.6. Измерить одно из напряжений калибратора осциллографа С1-55 разработанным прибором.
- 2.7. Сделать выводы по работе.

#### **3.ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.**

- 3.1. Объектом исследования является разрабатываемый в соответствии с условиями практического задания вольтметр. Его элементы: измерительный механизм и добавочный резистор.
- 3.2. Средствами измерения являются:

- образцовый вольтметр (аналоговый или цифровой вольтметр);
- источник постоянного напряжения комбинированного прибора “Сура”;
- резисторы типа МЛТ.
- образцовый омметр (аналоговый или цифровой омметр).

#### 4.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

4.1. Добавочное сопротивление, необходимое для разрабатываемого вольтметра, можно изготовить несколькими способами:

1. Набором последовательно или параллельно включенных резисторов МЛТ.

2. Используя резисторы переменного сопротивления, желательно с плавной регулировкой, например СП5-2.

3. Изготовив проволочный резистор, для чего нужно намотать катушку сопротивления из манганинового провода.

4.2. Внутреннее сопротивление измерительного механизма измеряют, в отличие от измерения сопротивлений обычного резистора, при токах, не превышающих ток полного отклонения измерительного механизма.

При этом можно использовать:

1. цифровой омметр можно использовать, если ток омметра не превышает ток полного отклонения измерительного механизма.

2. метод амперметра-вольтметра или метод измерения сопротивления по измерению падения напряжения на неизвестном сопротивлении при пропускании через него известного тока.

4.3. Если добавочное сопротивление изготавливают из манганинового провода, то вначале определяют геометрические параметры провода, исходя из величины сопротивления. Наматывают катушку и подгоняют ее сопротивление к расчетному значению с помощью цифрового омметра.

4.4. Градуировка прибора производится согласно схеме рис.1.

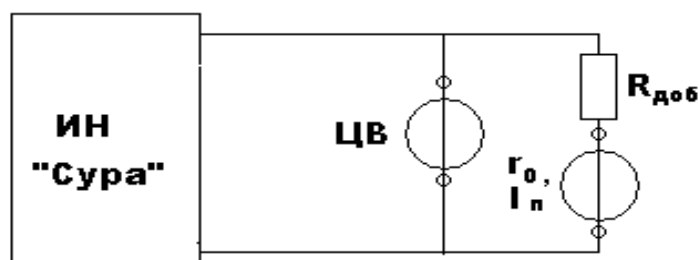


Рис.1.

- 4.5. Регулируя входное напряжение  $U_{вх}$ , добиваются отклонения стрелки измерительного механизма на всю шкалу и подгоняют точно  $R_{доб}$  на указанное в задании предельное значение напряжения. Далее устанавливая с помощью источника постоянного напряжения ИН стрелку измерительного механизма на оцифрованные отметки его шкалы, определяют действительное значение по показаниям цифрового вольтметра ЦВ. Причем необходимо произвести градуировку два раза, в первый раз двигаясь от нуля шкалы к максимальному оцифрованному значению шкалы, а второй раз – в обратном направлении (так же по оцифрованным делениям измерительного механизма).
- 4.6. Данные градуировки заносят в таблицу, заносят расчетные данные абсолютной и приведенной погрешностей. По максимальной приведенной погрешности (взятой по абсолютной величине) определяют класс точности исследуемого прибора - вольтметра.
- 4.7. Выводы по работе сделать, оценивая метрологические характеристики нового средства измерения и методики проведения экспериментальных исследований.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

- 5.1. Изобразить схему вольтметра.
- 5.2. Рассчитать сопротивление добавочного резистора.
- 5.3. Рассчитать геометрические параметры проволочного резистора.
- 5.4. Как производится измерение внутреннего сопротивления измерительного механизма по методу амперметра-вольтметра?
- 5.5. Как определяется сопротивление добавочного резистора через геометрические размеры круглого провода?
- 5.6. Записать уравнение шкалы магнитоэлектрического вольтметра.
- 5.7. В каких случаях внутреннее сопротивление измерительного механизма можно измерить омметром?
- 5.8. Как определяется абсолютная погрешность разрабатываемого вольтметра?
- 5.9. Как влияет температура на показания магнитоэлектрического вольтметра, если добавочное сопротивление выполнено:
  - а) из меди
  - б) из манганина?
- 5.10. Назвать метрологические характеристики вольтметра.

## **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.**

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Программа исследований.
- 6.3. Расчет и изготовление добавочного резистора.
- 6.4. Таблица данных расчетных и экспериментальных исследований.
- 6.5. Схема исследования.
- 6.6. Выводы по работе.

## 7.ЛИТЕРАТУРА.

- 7.1. Лекции по курсу “Аналоговые измерительные устройства “.Миляев Д.В.
- 7.2. Электрические измерения: Учебник для вузов / Под ред. А.В.Фремке, Е.М.Душина. - 1980. - 392 с. и.л.
- 7.3. Справочник по электроизмерительным и радиоизмерительным приборам.  
Под ред. Г.П. Шкурина. – 1986. –560 с. ил.

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3.3.**

### **МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОММЕТР.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Магнитоэлектрический омметр совместно с амперметром и вольтметром, объединенные общим измерительным механизмом, составляют комбинированный прибор - тестер.

Электрическая цепь омметра в данном случае представляет последовательную или параллельную схему. Расчет омметра производится в домашнем контрольном задании. В лабораторной работе производится макетирование, настройка и установление основных характеристик прибора.

Особое внимание в работе уделяется методике поверки прибора, установлению класса точности приборов с нелинейной функцией преобразования, у которых класс точности определяется по приведенной погрешности, а за величину приведения берется длина шкалы прибора.

Методы и средства поверки омметров устанавливаются в соответствии с ГОСТом 8.409-81.

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Научится проектировать магнитоэлектрические омметры по последовательной и параллельной схемам.
- 1.2. Установить основные характеристики аналоговых приборов с бесконечной шкалой.

#### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. В соответствии с техническими характеристиками рассчитать схему омметра, определить расчетным путем класс точности и определить динамическую погрешность.
- 2.2. Измерить сопротивление измерительного механизма и уточнить расчет домашнего задания.
- 2.3. Изготовить макетный вариант омметра.
- 2.4. Произвести градуировку шкалы омметра.
- 2.5. Построить градуировочную характеристику и определить погрешность от нелинейности.
- 2.6. Определить класс точности прибора.
- 2.7. Сделать выводы по работе.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.

- 3.1. Объектом исследования является макет омметра.
- 3.2. Средства измерения, применяемые при исследовании макета омметра:
- источник постоянного напряжения - «Сура»;
  - образцовый цифровой тестер;
  - набор образцовых сопротивлений;

Исследуемая последовательная схема омметра представлена на

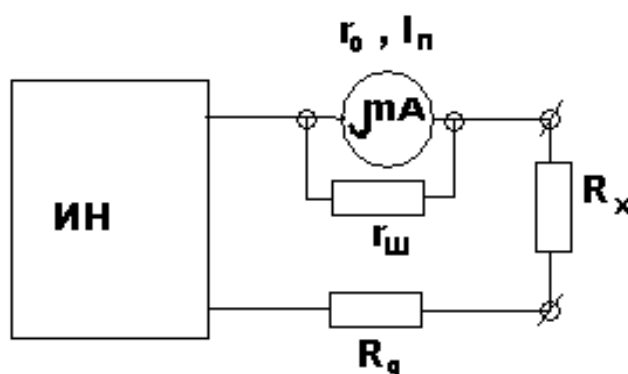


рис.1.

ИН - источник постоянного напряжения. В работе в качестве ИН при токах более 1 мА можно использовать источники питания комбинированного прибора «Сура», напряжение которого изменяется плавно от 0 до 15 В. При малых токах омметра - ИН может служить напряжение калибратора осциллографа С1-55.

Все резисторы схемы контролируются цифровым омметром.

Резистор  $r_{ш}$  изготавливается проволочным путем намотки медного провода на высокоомный резистор типа МЛТ 1 или МЛТ 2. Неизвестные резисторы  $R_x$ , подсоединяемые при градуировке – набор резисторов магазина сопротивлений или набор резисторов типа МЛТ, предварительно измеренных цифровым тестером.

### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

- 4.1. Измерение внутреннего сопротивления механизма производится либо с помощью цифрового тестера, либо по методу амперметра-вольтметра (см. лаб. работы №№ 3.1, 3.2.).

- 4.2. Все резисторы омметра изготавливаются проволочными, либо подбираются с помощью цифрового омметра из набора резисторов типа МЛТ.
- 4.3. Настройка электрической схемы производится по двум отметкам на шкале магнитоэлектрического механизма, соответствующим крайним точкам  $R_x=0$  и  $R_x = R_{x\max}$ . В последовательной схеме это токи соответственно  $I_1=I_{\max}$  ( $I_{\text{полн}}$ ) и  $I_2=0.2I_{\max}$ .
- 4.4. Градуировка омметра, как уже отмечалось, может производиться с помощью набора образцовых мер – (магазинов сопротивлений), либо с помощью переменного резистора, сопротивление которого измеряется предварительно цифровым омметром. Возможен еще один вариант градуировки – с помощью регулировки питающего напряжения омметра ( $E$ ). Докажем эту возможность математически:

$$\text{- при } R_x = 0, E = I_A \cdot r_{\Omega};$$

$$\text{где } I_A \text{ - ток амперметра, } r_{\Omega} = \frac{r_0 \cdot r_{ш}}{r_0 + r_{ш}} + R_g;$$

$$\text{- при } R_x \neq 0, E = (I_A - \Delta I_A) \cdot (r_{\Omega} + R_x);$$

Преобразуем последнее равенство:

$$\underbrace{E = I_A \cdot r_{\Omega}}_0 + \underbrace{\Delta I_A \cdot r_{\Omega}}_{\Delta E} = \underbrace{(I_A - \Delta I_A) \cdot R_x}_I$$

Таким образом, изменение питающего напряжения:

$$\Delta E = \Delta I_A \cdot r_x; \quad \Delta I_A = \frac{\Delta E}{R_x} (*);$$

Где  $I_A$  – значение тока по шкале амперметра ( $r_0 \parallel r_{ш}$ ),  $\Delta I_A$  – отклонение тока от значения  $I_A$ .

По формуле (\*) устанавливают ток изменением напряжения питания при включении  $R_x$  (10,20, .....  $R_{x\max}$ ).

- 4.5. После нанесения отметок на шкалу разработанного омметра - градуировки прибора, необходимо установить класс точности. Для чего подключают образцовые сопротивления, равные значениям отметок на шкале. Эту процедуру можно совместить с градуировкой. Вначале определяется абсолютная погрешность в каждой оцифрованной отметке при подходе снизу и сверху.

$$1) \Delta_1 = R - R_{g1} \text{ и } \Delta_2 = R - R_{g2};$$

где  $R$  - значение сопротивления на отметке шкалы;

$R_{g1}$  и  $R_{g2}$  - значения образцовой меры при плавном подводе указателя снизу и сверху.

Из двух значений выбирается большее. Далее определяются относительные погрешности для каждой оцифрованной точки.

$$2) \delta_1 = \delta_{\min} = \frac{\Delta_{\min}}{R_{X \min}} \cdot 100\% ;$$

$$\delta_2 = \frac{\Delta_2}{R_{X2}} \cdot 100\% ;$$

- - - - - ;  
- - - - - ;

$$\delta_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{R_{X \max}} \cdot 100\%$$

3) Определяются приведенные погрешности по всем точкам:

$$\gamma_{np1} = \frac{\Delta_1}{R_{X \max}} \cdot 100\% ;$$

$$\gamma_{np2} = \frac{\Delta_2}{R_{X \max}} \cdot 100\% ;$$

- - - - - ;  
- - - - - ;

$$\gamma_{np \max} = \frac{\Delta R_{\max}}{R_{X \max}} \cdot 100\%$$

Из всех значений  $\gamma_{пр}$  выбирается наибольшее значение. Для определения приведенной погрешности от длины шкалы необходимо знать длину рабочей части шкалы и чувствительность в каждой точке, где чувствитель-

$$\text{ность } S_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta R_x} ;$$

Длину всей шкалы можно определить несколькими путями. Один из них определение длины по равномерной шкале микроамперметра, как показано на рис.2.



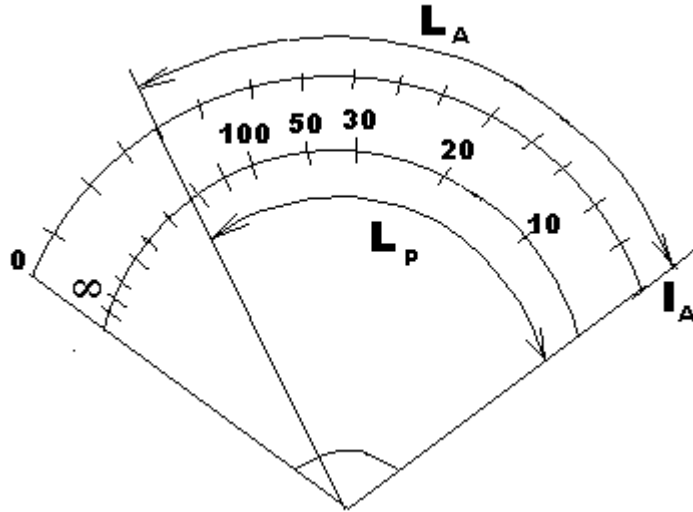


Рис.2.

Расстояние между двумя делениями равномерной шкалы измеряют в любой удобной части шкалы. Определяют количество отметок, вмещающихся в неравномерную шкалу, и умножают на длину одного деления. Если шкала амперметра наносится на шкалу амперметра, то длина рабочей части определена.

Таким же образом определяется вблизи проверяемых отметок. Если шкала омметра наносится ниже шкалы амперметра можно воспользоваться соотношением радиусов омметра и амперметра:

$$\frac{L_P}{L_A} = \frac{R_\Omega}{R_A};$$

Приведенные погрешности от длины рабочей части на отметках записываются:

$$\gamma_{np1}^L = \frac{\Delta_1 \cdot S_1}{L_P} \cdot 100\%;$$

$$\gamma_{np}^L = \frac{\Delta_2 \cdot S_2}{L_P} \cdot 100\%;$$

- - - - - ;  
- - - - - ;

$$\gamma_{np\max}^L = \frac{\Delta_{\max} \cdot S_{\max}}{L_P} \cdot 100\%;$$

$S_i$  – чувствительность на каждой  $i$ -ой отметке . Из всех значений выбирается максимальное значение, и округляют до ГОСТовского значения.

## **5.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

- 5.1. Изобразить последовательную схему омметра и пояснить назначение элементов.
- 5.2. Изобразить параллельную схему омметра и пояснить назначение элементов.
- 5.3. Рассчитать сопротивление шунта, подсоединенного параллельно к механизму прибора.
- 5.4. Записать систему уравнений для нахождения внутреннего сопротивления омметра.
- 5.5. Записать уравнение шкалы омметра.
- 5.6. Как представить уравнение шкалы в безразмерной форме?
- 5.7. Пояснить причину нелинейности шкалы прибора.
- 5.8. Как влияет нестабильность напряжения питающего источника на показания прибора?
- 5.9. Что такое класс точности омметра и как он обозначается на шкале?

## **6.ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ.**

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Программа исследований.
- 6.3. Расчет элементов электрической схемы омметра.
- 6.4. Схема омметра.
- 6.5. Таблица данных экспериментальных исследований.
- 6.6. Графики зависимости показаний амперметра от измеряемых сопротивлений.
- 6.7. Выводы по работе.

## **7.ЛИТЕРАТУРА.**

- 7.1. Миляев Д.В. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства».
- 7.2. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин. Под ред. Полищук Е.С.- К.: Вице школа, 1984.-359 с.

## 4.ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ.

# **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4.1.**

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Среди аналоговых электронных приборов электронные вольтметры наиболее распространенная группа приборов. Достаточно сказать, что среди всех измерительных приборов, эта группа имеет девять названий от В1 до В9 включительно.

Группа вольтметров постоянного тока В2 включает милливольтметры, вольтметры и комбинированные приборы ВК2. Лабораторные работы курса

«Аналоговые измерительные устройства» по вольтметрам, как постоянного, так и переменного тока выполняются на основе операционных усилителей и магнитоэлектрических вольтметров. И как другие работы предварительно рассчитываются в домашнем контрольном задании. Схемы макетов приборов изготавливаются на монтажной плате.

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Изучить принципиальные упрощенные схемы вольтметров постоянного тока.
- 1.2. Научиться исследовать преобразователи прибора.
- 1.3. Определить узкие места вольтметров постоянного тока.

### **2. ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. Рассчитать предложенную схему вольтметра.
- 2.2. Изготовить на монтажной плате макет прибора.
- 2.3. Экспериментальным путем определить коэффициенты преобразования всех блоков вольтметра.
- 2.4. Проградуировать шкалу прибора на заданный предел измерения.
- 2.5. Определить аддитивную и мультипликативную погрешности.
- 2.6. Построить графики градуировочных характеристик.
- 2.7. Сделать выводы по работе.

### **3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ**

Объектом исследования является макет вольтметра постоянного тока, упрощенная принципиальная схема которого изображена на рис.1.

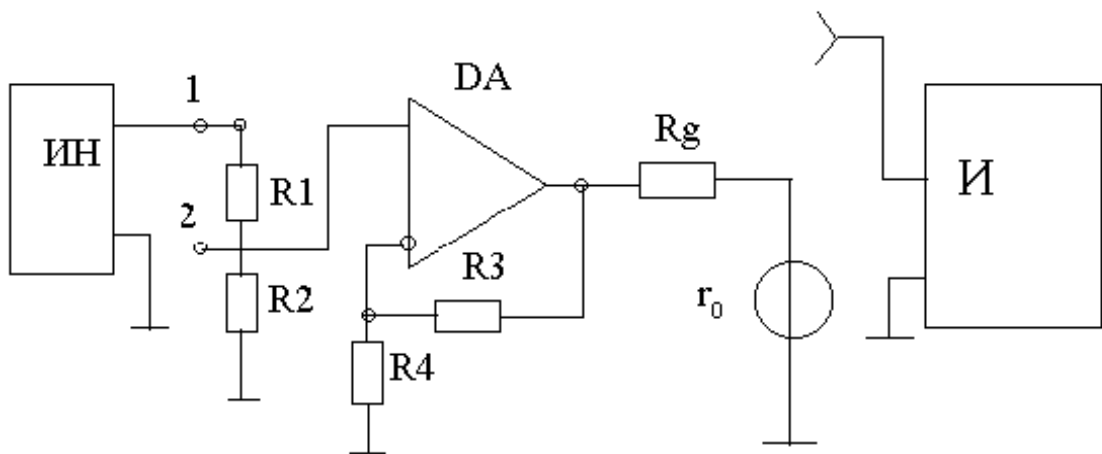


Рис.1.

На схеме изображены в виде отдельных блоков:

- ИН - источник постоянного напряжения для исследования вольтметра;
- И – измеритель напряжения в различных точках исследуемой схемы;
- R1, R2 - резистивный входной делитель вольтметра;
- DA - операционный усилитель вольтметра;
- R3, R4- резисторы, определяющие усиление усилителя;
- R<sub>g</sub>, r<sub>0</sub>- элементы магнитоэлектрического вольтметра.

#### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 4.1. Вольтметр имеет два предела измерения, для которых используются входы 1 и 2. Пределы измерения и входные сопротивления вольтметра определены в задании. По этим данным рассчитываются сопротивления делителя R1 и R2 . Экспериментально проверяется коэффициент деления делителя, коэффициент усиления усилителя и предел измерения магнитоэлектрического вольтметра.
- 4.2. Для градуировки вольтметра используется регулируемый источник постоянного тока и цифровой вольтметр, который подключается на входе вольтметра.
- 4.3. Аддитивная погрешность устанавливается по смещению градуировочной характеристики.
- 4.4. Для определения мультипликативной погрешности находят разность между коэффициентами преобразования в каждой оцифрованной точке измерительного механизма и коэффициента преобразования на предельном значении.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО РАБОТЕ**

- 5.1. Вывести формулу для уравнения шкалы вольтметра.
- 5.2. Определить суммарную погрешность прибора.
- 5.3. Что такое основная и дополнительная погрешности?
- 5.4. Как определить аддитивную погрешность вольтметра?
- 5.5. Как обозначаются вольтметры постоянного тока?

## **6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ.**

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.4. Принципиальная схема вольтметра.
- 6.5. Таблицы данных расчета и эксперимента.
- 6.6. Градуировочные графики вольтметра по данным расчета и эксперимента.
- 6.7. Расчетные соотношения.
- 6.8. Выводы по работе.

## **7. ЛИТЕРАТУРА**

- 7.7. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства». (Миляев Д.В.)

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4.2.**

### **ЭЛЕКТРОННЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Группа вольтметров переменного тока ВЗ включает вольтметры средних значений (ВЗ-38, ВЗ-13), вольтметры эффективных значений (ВЗ-40, ВЗ-48), вольтметры амплитудных значений (ВЗ-36).

Наиболее просто и с высокой точностью реализуются приборы средневыпрямленных значений, предназначенных для измерения переменных напряжений синусоидальной формы. Приборы реагируют на среднее значение, но шкала этих приборов градуируется в действующих значениях. Естественно, показания приборов зависят от формы сигнала. При этом в качестве детектирующих устройств используются диодные детекторы. Иногда в приборах одновременно используются детекторы и средних и амплитудных значений, обеспечивающих расширение диапазона измерения и рабочего частотного диапазона.

Схема макета прибора изготавливается студентом самостоятельно по результатам расчета домашнего задания.

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

- 1.1. Научиться рассчитывать, исследовать и конструировать электронные вольтметры переменного тока.
- 1.2. Изучить методики определения метрологических характеристик приборов экспериментальным путем.
- 1.3. Закрепить теоретические знания на практике.

#### **2. ПРОГРАММА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.**

- 2.1. Рассчитать предложенную схему вольтметра переменного тока.
- 2.2. Изготовить на монтажной плате макет прибора.
- 2.3. Экспериментальным путем установить необходимые коэффициенты передачи блоков вольтметра.
- 2.4. Проградуировать шкалу прибора на заданные пределы измерения.
- 2.5. Определить погрешности отдельных блоков и общую погрешность. Из погрешностей необходимо определить: инструментальную, частотную, погрешность от нелинейности.

## . ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Объектом исследования является макет вольтметра переменного тока средневыпрямленных значений, принципиальная схема которого изображена на рис.1.

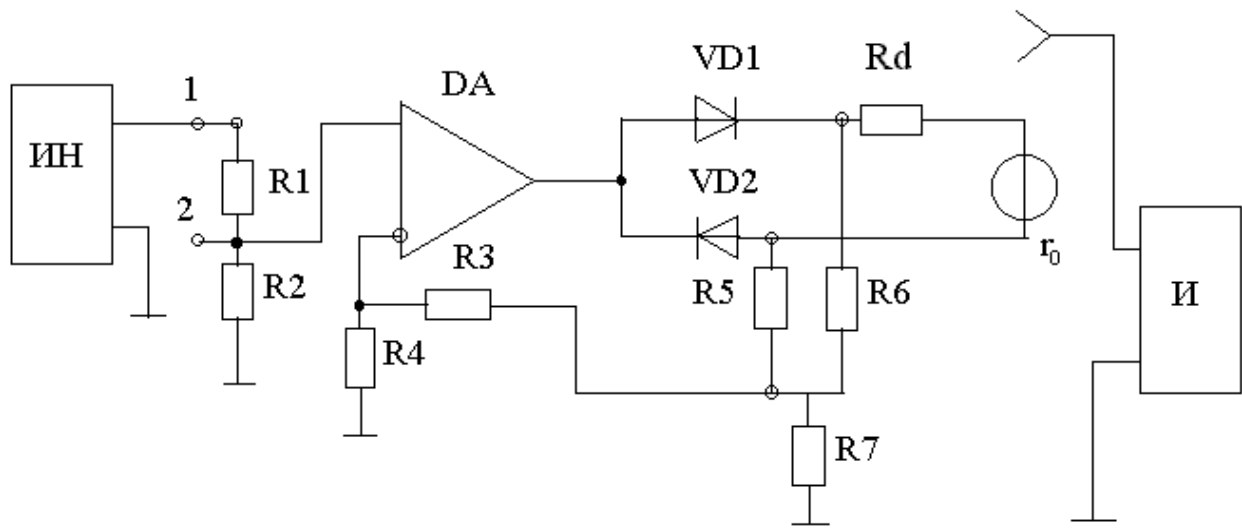


Рис.1.

На схеме изображены в виде отдельных блоков:

ИН - источник переменного напряжения для исследования вольтметра;

И – измеритель напряжения в различных точках исследуемой схемы;

R1, R2 - резистивный входной высокоомный делитель вольтметра;

DA - операционный усилитель вольтметра;

R3, R4- резисторы, определяющие усиление усилителя;

R5, R6 - нагрузочные резисторы диодного выпрямителя – пассивного преобразователя средних значений (ПСЗ)

R7 - резистор обратной связи

Rd, r0 - элементы магнитоэлектрического механизма.

## 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Настройка лабораторного макета производится последовательно по блокам. В начале экспериментально проверяется входной делитель напряжения. Для этого на вход делителя подается напряжение синусоидальной формы с выхода генератора ИН. С помощью И – измерителя (Вольтметр ВЗ-38) определяются входное и выходное напряжения, отношение этих напряжений определяет коэффициент деления и передачи, как обратную величину коэффициента деления. Далее проверя-



ют работу усилителя без магнитоэлектрического вольтметра. Подбором R3 или R4 добиваются получения на выходе усилителя напряжения не менее 3 вольт.

Напряжение на R7 определяет обратную связь, охватывающую нелинейный преобразователь средневыпрямленного значения. Если его установить около трети выходного напряжения усилителя, то постоянное напряжение на входе выпрямительного моста должно составлять порядка 1,8 вольт, на которое рассчитывается добавочное сопротивление магнитоэлектрического механизма.

Подгонка добавочного сопротивления производится на младшем пределе. Частота генератора устанавливается 1 КГц. Кроме того, проверяется наличие самовозбуждения усилителя. Для этого входное напряжение отключается от входа и осциллографом проверяется напряжение на выходе усилителя. Переменное напряжение должно отсутствовать, а постоянное (смещение нуля) должно быть менее 10 мВ, в противном случае делается коррекция частоты и установки нуля. Это выполняется согласно указаниям в справочнике для данного типа операционного усилителя.

- 4.2. Экспериментально определяется градуировочная характеристика вольтметра. Для этого, регулируя напряжение на выходе генератора, устанавливают указатель на оцифрованные отметки микроамперметра и фиксируют значения входных напряжений по вольтметру ВЗ – 38 . Число отметок можно увеличивать до 10. По полученным данным определяют общие коэффициенты передачи (чувствительности).
- 4.3. Непостоянство чувствительности по всей шкале определяет погрешность от нелинейности. Приняв за идеальное значение чувствительность на верхней отметке, находят нелинейность характеристики по её относительному отклонению, т.е.

$$\gamma_{нел} = \left( \frac{S_i - S_{\beta}}{S_{\beta}} \right) \cdot 100\% ;$$

где  $S_i$  - чувствительность в данной точке;  
 $S_{\beta}$  – чувствительность на верхнем пределе.

- 4.4. Строят градуировочную характеристику, как функцию  $\alpha = F_1(U_{ex})$ , и погрешность от нелинейности, как

$$\gamma_{нел} = F_2(U_{ex}) \text{ или } \gamma_{нел} = F_3(\alpha_i);$$

Второй предел измерения устанавливается и подгоняется регулировкой величины сопротивления резистора делителя R1.

- 4.5. Градуировка производится аналогично первому пределу.
- 4.6. На одном из пределов (лучше на втором) снимается АЧХ вольтметра. Для этого на входе вольтметра устанавливается напряжение, соответствующее половине предела и регулируется частота генератора. Диапазон изменения частоты указывается преподавателем. Данные заносятся в таблицу.

4.8. По данным АЧХ строится график частотной погрешности, как функция

$$\gamma_{\omega} = F_4(\omega), \text{ где } \mathcal{Y}_{\omega} = \left( \frac{S_{\omega} - S_1}{S_1} \right) \cdot 100\% ;$$

$S_1$  - чувствительность на частоте 1 КГц;

$S_{\omega}$  - чувствительность на частотах, отличных от 1 КГц;

4.9. По всем пунктам программы делается вывод.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО РАБОТЕ

- 5.1. Получить уравнение шкалы вольтметра переменного тока.
- 5.2. Что называется нелинейностью преобразования?
- 5.3. Как производится настройка схемы?
- 5.4. Как обозначаются вольтметры переменного тока?
- 5.5. Как определяется частотная погрешность?
- 5.6. Определить коэффициент усиления усилителя по параметрам схемы.

## 6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ.

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.3. Таблицы данных экспериментов.
- 6.4. Расчетные соотношения.
- 6.5. Графики экспериментальных исследований.
- 6.6. Выводы по работе.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- 7.8. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства». (Миляев Д.В.)
- 7.2. Волгин Л.И. «Аналоговые операционные преобразователи для измерительных приборов и систем». М.: Энергоатомиздат, 1983 г.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4.3.

### ЭЛЕКТРОННЫЙ ЧАСТОТОМЕР.

#### ВВЕДЕНИЕ

Раздел дисциплины «Электронные приборы» включает расчет и исследование измерительных преобразователей электронных приборов.

В электронных частотомерах наибольшее распространение получили преобразователи частоты в постоянный ток с использованием заряда и разряда конденсатора. Преобразователи просты, имеют достаточно высокую точность и широкий диапазон преобразования 20 Гц – 1 МГц. При исследовании основных свойств конденсаторного преобразователя используется генератор прямоугольного напряжения с регулируемой амплитудой. Преобразователь предварительно рассчитывается в домашнем задании.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1 Экспериментальным путем подтвердить расчетные соотношения домашнего задания конденсаторного преобразователя.
- 1.2 Научиться исследовать преобразователи частоты. Закрепить теоретические знания.

#### 2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

- 2.1. Выполнить домашнее задание по расчету конденсаторного преобразователя.
- 2.2. Снять макет прибора на монтажной плате.
- 2.3. Снять зависимость выходного тока преобразователя от частоты. Построить график зависимости и определить погрешность от нелинейности.
- 2.4. Изменить постоянные времени цепей заряда и разряда и убедиться в изменении погрешности от нелинейности, повторив п. 2.3. программы.
- 2.5. Исследовать зависимость амплитуды прямоугольного напряжения на чувствительность преобразователя. Построить график зависимости.
- 2.6. Построить градуировочную характеристику частотомера, используя данные с наименьшей погрешностью от нелинейности.
- 2.7. Сделать выводы по работе.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

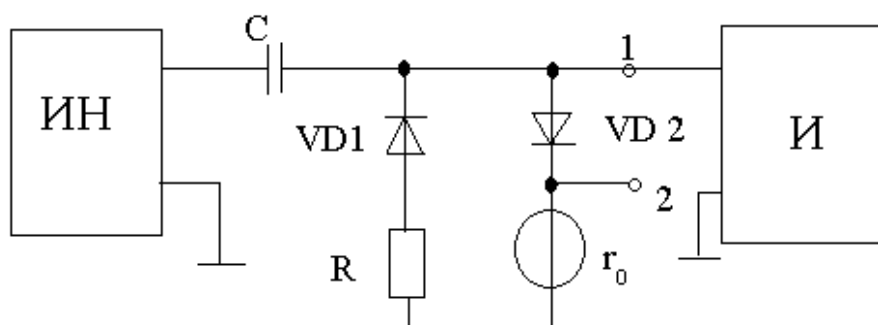


Рис.1.

Преобразователь питается от генератора прямоугольного напряжения с регулируемой амплитудой и частотой ИН. В качестве ИН могут быть использованы:

- генератор специальной формы сигналов Г6 – 26, Г6- 27 и т. д.;
- генератор прямоугольного напряжения комбинированного прибора «Сура»;
- генератор - калибратор частотой 2 КГц осциллографа С1-55;

Первые два источника требуют измерения амплитуды выходного сигнала, а комбинированный прибор «Сура» и частоты.

Электрическая цепь преобразователя частоты представляет дифференцирующую цепь с отдельными ветвями заряда и разряда. При исследовании преобразователя, сопротивления цепей выбрать равными, т.е.  $R = r_0$ , постоянная времени изменяется подбором емкости конденсатора  $C$ .

И – измеритель напряжения выхода. В данном случае это или осциллограф С1 –55 или цифровой тестер.

$r_0$  - сопротивление микроамперметра, шкала которого градуируется в единицах частоты.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 4.1. В домашнем задании рассчитываются характеристика конденсаторного преобразователя при заданной погрешности от нелинейности и элементы электрической цепи для заданного частотного диапазона.
- 4.2. Расчетная характеристика в п. 2.3. экспериментально проверяется. Для измерения амплитуды прямоугольных импульсов используется осциллограф.
- 4.3. П. 2.4. выполняется аналогично п. 2.3. при меньшей постоянной времени (она изменяется в 2-3 раза).
- 4.4. В пункте 2.5. для исследования используется генератор – калибратор осциллографа С1-55, выдающий на выход напряжения с известной амплитудой. Амплитуду изменять во всем диапазоне амплитуд калибратора. Магнитоэлектрический микроамперметр можно заменить резистором, равного сопротивления, к выходу 2 подключить цифровой тестер.
- 4.5. В п. 2.6. градуировать преобразователь частоты допускается по показаниям цифрового тестера, т.е.  $U_{\text{вых}} = F(f)$ .

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ.

- 5.1. Вывести уравнение преобразования конденсаторного частотомера.
- 5.2. Написать формулу для определения погрешности от нелинейности, объяснить физический смысл погрешности.
- 5.3. Записать уравнение заряда и разряда конденсатора за несколько периодов.
- 5.4. Почему необходимо подавать на вход конденсаторного преобразователя напряжение прямоугольной формы?
- 5.5. Будет ли работать преобразователь без одного диода, без диодов вообще?
- 5.6. Как постоянная времени влияет на погрешность?
- 5.7. Как влияет амплитуда прямоугольного напряжения на показания преобразователя?

### 6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.3. Таблицы данных расчетов и эксперимента.
- 6.4. Графики исследований.
- 6.5. Расчетные соотношения.
- 6.6. Выводы по работе.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- 7.1. Конспект лекций по курсу “Аналоговые измерительные устройства” (Миляев Д.В.)
- 7.2. П.В.Новицкий, В.С. Гутников “Цифровые приборы с частотными датчиками. Л., “Энергия”, 1980 г.,424 стр.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4.4.

### ЭЛЕКТРОННЫЙ ФАЗОМЕТР.

#### ВВЕДЕНИЕ

Все электронные аналоговые приборы, в том числе и фазометры, в основе алгоритма (метода) имеют преобразование входной электрической величины в постоянный ток, вызывающий отклонение показателя магнитоэлектрического механизма. Понятие фазового сдвига и фазы относятся к сигналам синусоидальной формы. В основе методов измерения фазового сдвига помещены принципы сравнения с мерой, где мерой фазы является время, поэтому для измерения временных интервалов необходима точная привязка синусоидального сигнала ко времени. Для этих целей входные сигналы, фазовый сдвиг между которыми необходимо измерить, преобразуются в прямоугольную форму. Формирование сигналов прямоугольной формы, а лучше, если это меандр, является обязательной операцией всех приборов, имеющих в качестве меры время.

Устройство формирования прямоугольных сигналов: ограничители, триггеры, мультивибраторы и т. п. Как правило, они имеют различные недостатки, приводящие к погрешности преобразования фазового сдвига в ток или напряжение. Из этих недостатков следует назвать два существенных: асимметрию ограничения и конечное время срабатывания.

Лабораторная работа своей целью ставит выяснение особенностей построения фазометров.

#### 1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1. Научиться практически и теоретически находить функции преобразования электронного фазометра.
- 1.2. Исследовать свойства основных узлов и определить их погрешности.

#### 2.ПРОГРАММА РАБОТЫ.

- 2.1. Рассчитать в соответствии с домашним заданием коэффициенты преобразования основных блоков фазометра.
- 2.2. Снять схему простейшего фазометра.
- 2.3. Изобразить временные диаграммы преобразователей фазометра.
- 2.4. Настроить схему прибора, зарисовать осциллограммы основных преобразователей.
- 2.5. Рассчитать простейшую RC- цепь для создания определенного фазового сдвига.

- 2.6. Определить по осциллограммам и с помощью приборов коэффициенты преобразования.
- 2.7. Произвести градуировку прибора.
- 2.8. Исследовать источники погрешностей и определить класс точности фазометра.
- 2.9. Сделать выводы по работе.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.

Объектом исследования является электронный аналоговый фазометр, схема которого представлена на рис. 1.

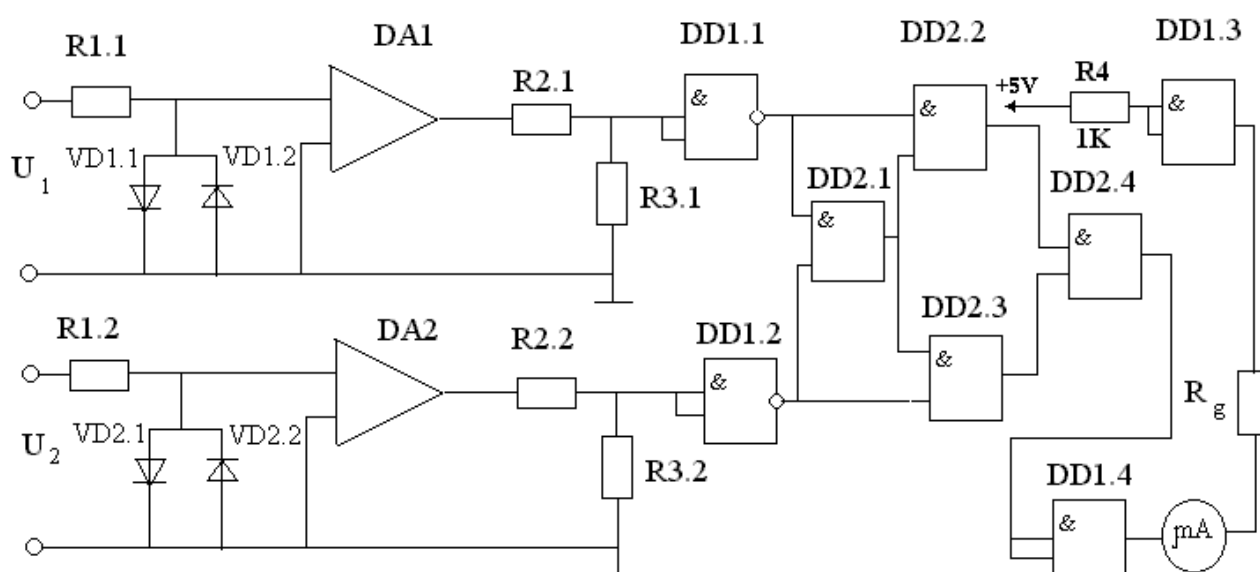


Рис.1.

В схеме фазометра можно выделить несколько блоков:

1. Входные диодные ограничители (R1.1, R1.2, VD1, VD2).
2. Усилители- ограничители (DA1, DA2).
3. Преобразователи уровней (R2, R3, DD1.1, DD1.2).
4. Исключающее ИЛИ (DD2)- преобразователь фазового сдвига во временной интервал.
5. Выходной инвертор DD1.4.
6. DD1.3 – схема компенсации начального смещения (уровень «0»), R4 - токоограничительный резистор.
7. Магнитоэлектрический вольтметр ( $\mu\text{A}$ ,  $R_g$ ).



Блок - схема установки для исследования изображена на рис.2.

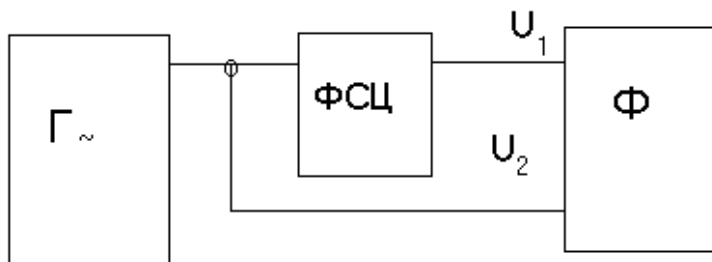


Рис.2.

Напряжение синусоидальной формы подается с генератора  $\Gamma_{\sim}$  на фазосдвигающую цепь ФСЦ и на один из входов фазометра  $\Phi$ . На другой вход фазометра подается сдвинутый сигнал.

Значение сопротивлений резисторов и типы полупроводниковых элементов:

$R1 - 10 \text{ кОм};$

$VD1, VD2 - D9B;$

$R2 - 510 \text{ Ом};$

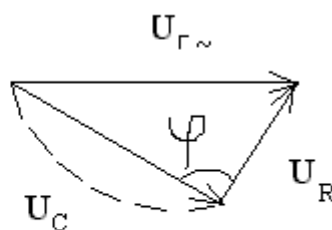
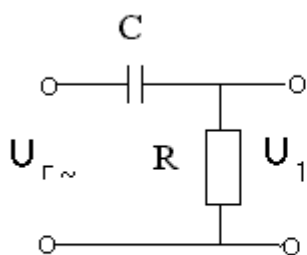
$DA1, DA2 - 140 \text{ УД1А};$

$R3 - 510 \text{ Ом};$

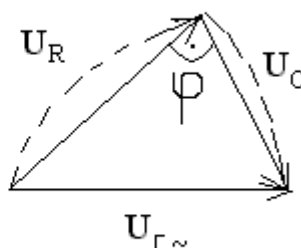
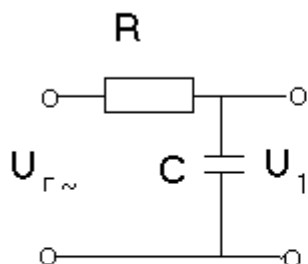
$DD1, DD2 - 155 \text{ ЛА 3.}$

Фазосдвигающая цепь (ФСЦ):

с положительным сдвигом:



с отрицательным сдвигом:



Фазовый сдвиг: 
$$\varphi^+ = \operatorname{arctg} \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R};$$

$$\varphi^- = \operatorname{arctg} \omega \cdot C \cdot R ;$$

Входное сопротивление фазометра  $\Phi$  (примерно величина  $R_1$ ) нагружает (шунтирует) фазосдвигающую цепь, в результате чего расчетная величина фазового сдвига уменьшается. Необходимо выполнять условие  $R_1 < R_2$ .

С другой стороны малое сопротивление фазосдвигающей цепи нагружает генератор. В процессе исследования необходимо найти компромиссное решение.

Частотный диапазон фазометра, а, следовательно, генератора, в данной работе ограничивается звуковым диапазоном, т.е. 20 Гц- 20 кГц.

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

- 4.1. Расчет и исследование фазометра необходимо выполнить для предела измерения равного  $90^\circ$ . Расчетом определить все выходные величины и коэффициенты преобразования.
- 4.2. Для более полного выяснения принципа работы необходимо изобразить все временные диаграммы.
- 4.3. Настройка схемы заключается в выборе оптимального напряжения с выхода генератора, оптимального сопротивления резистора фазовращателя, установке точной величины сопротивления добавочного резистора  $R_g$ .
- 4.4. Оптимально построенная схема фазометра исследуется следующим образом:
  1. Студенту предоставляется самостоятельно выбрать знак фазового сдвига.
  2. Так как фазовый сдвиг  $\pm 90^\circ$  для RC- цепи является предельным углом, то шкалу можно практически ограничить до  $\pm 80^\circ$ .
  3. Значения фазовых сдвигов устанавливать дискретно, примерно через  $10^\circ$ .
  4. Действительное значение фазового сдвига определять с помощью цифрового фазометра.
  5. Добавочное сопротивление при градуировке устанавливается один раз на предельном значении фазового сдвига.

6. Разностью показаний исследуемого фазометра и образцового цифрового фазометра на всех других точках шкалы, определяют абсолютную погрешность исследуемого фазометра. Максимальное значение абсолютной погрешности по модулю определяет класс точности прибора.
- 4.5. В ходе исследования фазометра определить источники погрешностей и сделать выводы по работе.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 5.1. Вывести уравнение шкалы аналогового фазометра.
- 5.2. Привести временные диаграммы преобразователей.
- 5.3. Почему необходимо преобразовывать синусоидальный сигнал в прямоугольную форму?
- 5.4. Пояснить влияние асимметрии в ограничении на показания выходного прибора.
- 5.5. Как присоединяется магнитоэлектрический вольтметр на выходе?
- 5.6. Пояснить работу электрической схемы фазометра.
- 5.7. Как определяется класс точности фазометра?

## **6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ**

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.3. Принципиальная схема установки исследования.
- 6.4. Краткое описание настройки прибора.
- 6.5. Таблицы расчетных и экспериментальных данных.
- 6.6. Градуировка шкалы прибора.
- 6.7. Выводы по работе.

## **7. ЛИТЕРАТУРА**

- 7.1. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства» (Миляев Д.В.).
- 7.2. Кукуш В.Д. «Электрорадиоизмерения»: учебное пособие для ВУЗОВ.-М.: Радио и связь, 1985, 368 стр., ил.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4.5.

### ЭЛЕКТРОННЫЙ КУМЕТР.

#### ВВЕДЕНИЕ

Добротность, как электрическая величина, характеризует качество колебательного контура, т. е. его способность сохранять электрические колебания системы без дополнительных затрат энергии.

С другой стороны, процесс изменения амплитуды колебаний в контуре, математически представляется через коэффициент затухания. Первоначально понятие добротности применялось для резонансных колебательных контуров, состоящих из емкости и индуктивности. В дальнейшем это понятие было распространено и на квазирезонансные цепи, т.е. RC- цепи, обладающие избирательными свойствами.

Так как добротность колебательного LC-контура зависит от элементов контура, индуктивности и емкости, то понятие добротности распространяется и на катушки индуктивности и на конденсаторы. Добротность катушки:

$$Q_L = \frac{\omega \cdot L_K}{r_K};$$

Добротность конденсатора:

$$Q_C = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot r_C};$$

Добротность катушки связывают с коэффициентом затухания:

$$\delta = \frac{L_K}{r_K}; \quad \delta = \frac{\omega \cdot L_K}{\omega \cdot r_K} = \frac{Q_L}{\omega};$$

Экспериментально добротность контура можно определить через основные соотношения:

$$Q_L = \frac{U_C}{E}; \quad \text{и} \quad Q_L = \frac{\omega_0}{\Delta\Omega};$$

Где:  $U_C$  – напряжение на контуре или на емкости;  
 $E$  – введенное в контур напряжение;  
 $\omega_0$  – резонансная частота колебательного контура;  
 $\Delta\Omega$  – расстройка по частоте контура влево и вправо от резонансной частоты, вызывающая изменение напряжения на контуре до  $0.707U_{\max}$ .

Большинство измерителей добротности строится по резонансной схеме, используя ту особенность цепи, что добротность контура практически равна добротности катушки.

Для измерения реактивной составляющей  $\omega L_k$  и активной составляющей  $r_k$ , можно при резонансе измерить напряжение на конденсаторе и напряжения, вводимое в контур. В лабораторной работе используется резонансный метод измерения. Для уменьшения влияния монтажных емкостей на измерения, применяется низкочастотный колебательный контур.

## **1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1. Получить навыки работы с резонансными колебательными LC-контурами.
- 1.2. Научиться проектировать измеритель добротности.

## **2.ПРОГРАММА РАБОТЫ.**

- 2.1. Используя методику расчета домашнего контрольного задания по Q-метру, рассчитать емкость и индуктивность резонансного контура для заданной (преподавателем) частоты.
- 2.2. Изготовить катушку индуктивности и подобрать необходимый конденсатор для заданной частоты.
- 2.3. Спаять измерительную схему измерителя добротности.
- 2.4. Настроить измерительную схему, подобрав необходимое введенное напряжение.
- 2.5. Определить сопротивление катушки на переменном токе.
- 2.6. Произвести градуировку прибора.
- 2.7. Оценить погрешности.
- 2.8. Построить шкалу прибора.
- 2.9. Определить добротность по расстройке контура.
- 2.10. Сделать выводы по работе.

## **3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ**

Объектом измерения является последовательный резонансный контур, состоящий из изготовленной катушки индуктивности и конденсатора. Для введения напряжения в колебательный контур применяется резистивный делитель. Схема избирательной цепи куметра изображена на рис. 1.

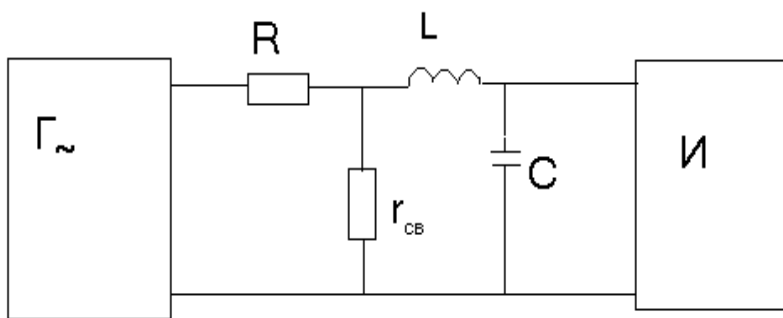


Рис.1.

- $\Gamma_{\sim}$  - генератор синусоидального напряжения;  
 $R - r_{св}$  - резистивный делитель;  
 $L, C$  - индуктивность и емкость колебательного контура;  
 $\text{И}$  - измеритель напряжения входа.

Напряжение и частота генератора устанавливаются при настройке измерительной схемы по данным расчета. В качестве измерителя выхода используется Электронный осциллограф С1-55 или вольтметр переменного тока ВЗ-38.

Катушка индуктивности изготавливается намоткой медной проволоки на ферритовый сердечник, желательной замкнутой формы для уменьшения потоков рассеивания и уменьшения числа витков при заданной индуктивности. Конденсатор желательно выбирать с малыми потерями, слюдяной или с фторопластовым диэлектриком.

#### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 4.1. Для выбора элементов измерительной схемы необходимо предварительно знать, что ожидаемая величина добротности  $\leq 100$ . Для уменьшения влияния аддитивных сигналов (помехи и наводки промышленной сети) необходимо стремиться к увеличению напряжения, вводимого в колебательный контур. Это напряжение определяется делителем и максимальным напряжением генератора. Напряжение генераторов обычно составляет величину не более 10 В. Сопротивление  $r_{св}$  резистивного делителя определяет методическую погрешность куметра. Методической погрешностью делителя можно задаться  $\gamma_{мет} \leq 10\%$ . Сопротивление катушки можно измерить на постоянном токе обычным тестером. Тогда

$$\gamma_{мет} \approx \frac{r_{св}}{r_{к}} \cdot 100\% ;$$

- 4.2 Настройка измерительной схемы заключается в установке выходного напряжения генератора и точной настройкой частоты генератора. Настройка контура в резонанс производится плавной установкой частоты (используя расстройку генератора) до получения максимального напряжения на конденсаторе. Зная индуктивность, емкость, сопротивление катушки на постоянном токе можно в первом приближении оценить добротность контура. Далее проверяют отношение напряжения на конденсаторе и напряжение на сопротивлении связи. Это отношение должно быть численно равно добротности с точностью до методической погрешности.
- 4.3 Сопротивление катушки на переменном токе обычно значительно отличается от активного сопротивления на постоянном токе. Поэтому для определения сопротивления катушки на переменном токе необходимо вычислить его из соотношения:

$$\frac{U_{с}}{E_{св}} = \frac{\omega_0 \cdot L_{к}}{r_{св} + r_{к\sim}} ;$$

Так как на практике на результаты расчета  $r_{к\sim}$  влияет собственная емкость катушки, то более точный результат определения сопротивления можно получить по данным градуировки прибора.

- 4.4 Для градуировки прибора в единицах добротности, последовательно с катушкой включают различные добавочные сопротивления, кратные  $r_{к\sim}$ , т.е.  $r_{к\sim}$ ,  $2 r_{к\sim}$ ,  $3 r_{к\sim}$  и т. д. Далее находят отношение напряжений на конденсаторе и на сопротивлении связи. По данным эксперимента строят график зависимости:

$$\frac{U_{с}}{E_{св}} = F \left[ \frac{\omega_0 \cdot L_{к}}{r_{св} + r_{к\sim} + r_{доб}} \right] ;$$

По графику зависимости можно определить усредненное значение  $r_{к\sim}$ .

- 4.5. Подставив усредненное значение  $r_{к\sim}$ , строят зависимость показаний прибора от добротности. По данным полученной зависимости определяют погрешность от нелинейности:

$$\gamma_{нел} = \frac{A_i - A_{i-1}}{Q_i - Q_{i-1}} ;$$

где  $A_i = \frac{U_{ci}}{E_{св}}$ ; и  $Q_i = \frac{\omega \cdot L_k}{r_{св} + r_{к\sim} + r_{доб\ i}}$ ;

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ.

- 5.1. Написать формулу для определения добротности.
- 5.2. Объяснить принцип работы измерительной схемы Q-метра.
- 5.3. Получить выражения для напряжений на всех элементах контура.
- 5.4. Что такое резонансная частота контура?
- 5.5. Изобразить векторную диаграмму токов и напряжений в измерительной схеме Q - метра.
- 5.6. Как измерить индуктивность катушки на приборе Е12-1?
- 5.7. Объяснить отличие активного сопротивления катушки на постоянном токе и переменном токе.

## 6. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

- 6.1. Цель работы.
- 6.2. Программа работы.
- 6.3. Принципиальная схема Q-метра.
- 6.9. Таблицы данных расчета и эксперимента.
- 6.10. Градуировочные графики Q-метра по данным расчета и эксперимента.
- 6.11. Расчетные соотношения.
- 6.12. Выводы по работе.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

- 7.9. Конспект лекций по курсу «Аналоговые измерительные устройства». (Миляев Д.В.)
- 7.10. Кукуш В.Д. « Электроизмерения»: Учебное пособие для ВУЗОВ. М.:Радио и связь, 1985, 368 стр., ил.



## Содержание

Общая теория аналоговых устройств .....	3
1.Лабораторно-практическая работа №1.1 ”Последовательные структурные схемы .....	4
2.Лабораторно-практическая работа №1.2 “Параллельные структурные схемы .....	9
Измерительные преобразователи аналоговых устройств .....	16
3.Лабораторно-практическая работа №2.1 “Резистивные масштабные преобразователи .....	17
4.Лабораторно-практическая работа №2.2 “Преобразователи средних значений.....	22
5.Лабораторно-практическая работа №2.3 “Преобразователи амплитудных значений” .....	26
6. Лабораторно-практическая работа №2.4 “Преобразователи эффективных значений” .....	31
Электромеханические приборы .....	36
7.Лабораторно-практическая работа №3.1. «Магнитоэлектрический амперметр.....	37
8.Лабораторно-практическая работа №3.2. “Магнитоэлектрический вольтметр” .....	41
9.Лабораторно-практическая работа №3.3. “Магнитоэлектрический омметр”.....	45
Электронные приборы.....	51
10.Лабораторно-практическая работа №4.1 “Электронный вольтметр постоянного тока “ .....	52
11.Лабораторно-практическая работа №4.2 “Электронный вольтметр переменного тока” .....	55
12.Лабораторно-практическая работа №4.3 “Электронный частотомер” .....	59
13.Лабораторно-практическая работа №4.4 “Электронный фазометр” .....	63
14.Лабораторно-практическая работа №4.5 “Электронный куметр”....	68
Содержание.....	73