***2.1.3.Лабораторная работа по активным и индуктивным сопротивления проводов***

Знакомство с методами измерения сопротивления резистора, емкости конденсатора и индуктивности катушки, а также приобретение практических навыков обращения с измерительными приборами.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Измерение активного сопротивления.

Одним из распространенных методов измерения сопротивления является метод, в котором используется мостовая схема.

Мостовая схема (рис. 1) состоит из реохорда (R), образцового сопротивления () известной вели-чины и измеряемого сопротивления (RХ).

Рис. 1

Реохорд — это проволочное сопротивление, у которого имеется средний передвижной контакт 3. Реохорд обычно выполняется из высокоомной проволоки, намотанной на каркас, или просто представляет собой отрезок натянутой проволоки из материала с высоким удельным сопротивлением. Предполагается, что общее сопротивление реохорда (между контактами 1 и 2) известно, а также известны сопротивления между контактом 3 и контактами 1 (R1) и 2 (R2) при любом положении контакта 3.

Измерение активного сопротивления обычно производится с использованием постоянного напряжения U следующим образом. Подвижный контакт 3 устанавливают так, чтобы напряжение между точками 3 и С стало равным нулю. В этом случае справедливы следующие отношения между величинами падения напряжения на сопротивлениях R1 , R2, R0 и RX:

, (1)

. (2)

Поделим правые и левые части уравнений (1) и (2) друг на друга:

. (3)

В силу закона Ома справедливы следующие соотношения:

, , , ,

где I1, I2 — электрические токи в левой и правой частях моста (см. рис. 1).

Подставив эти выражения в соотношение (3), получим

или

. (4)

Соотношение (4) используется для определения неизвестного сопротивления RX. Точность измерения RX определяется точностью, с которой известны значения R0, R1, R2.

Соотношение (4) остается справедливым и в том случае, когда к точкам А и В моста (см.рис. 1) приложено переменное напряжение. При этом предполагается, что величины емкостей и индуктивностей элементов схемы, показанной на рис. 1, пренебрежимо малы.

Измерение емкости конденсатора.

Покажем теперь, что мостовая схема, к которой подводится переменное напряжение (U~), может быть использована для измерения электрической емкости. Для измерения неизвестной емкости СX сопротивление в схеме нужно заменить на (образцовую емкость), a RX – на СX.

Синусоидальное напряжение на конденсаторе С:

,

где , f — частота переменного напряжения. Заряд, емкость и напряжение на конденсаторе связаны следующим соотношением q=CU.

Следовательно,

.

Рассмотрим мостовую схему, показанную на рис. 2.

Если напря-жение между точ-ками 3 и С равно нулю, то для напряжений на со-противлениях R1, R2 и емкостях С0 и СX справедливы соотношения:

.

Рис. 2

Следовательно, . (5)

Далее

,

аналогично,

,

где , – напряжения на и , а и – амплитуды напряжений на и .

Отсюда получается

или . (6)

Подставляя (6) в (5), получаем

или . (7)

Измерение индуктивности проволочной катушки.

Рассмотрим индуктивность, к которой приложено переменное напряжение .

Ток I и напряжение U на индуктивности связаны соотношением:

. (8)

Если мы заменим в схеме на рис. 2 С0 на L0, а на , то, используя соотношение (8) и рассуждения, аналогичные тем, которые мы провели выше, получим

. (9)

Таким образом, мостовая схема, к которой приложено переменное напряжение, может быть использована для определения электрической ёмкости и индуктивности.

Обсудим особенности измерения индуктивности мостовым методом и вопрос о точности таких измерений.

Катушка индуктивности представляет собой в простейшем случае тонкую медную проволоку, плотно намотанную в один слой на цилиндрический каркас из непроводящего материала.

При подаче на индуктивность L переменного синусоидального напряжения U сдвиг фазы между напряжением и током составляет 90° (рис. 3). Амплитуда напряжения на индуктивности и тока через нее связаны между собой соотношением

. (10)

Коэффициент, связывающий между собой ток и напряжение в (10), определяет эффективное сопротивление индуктивности в цепи переменного тока

.

Очевидно, что это сопротивление растет с повышением частоты .

Реальная проволочная катушка индуктивности обладает некоторым активным сопротивлением. Поэтому эквивалентная схема катушки индуктивности представляет собой последовательно включенные индуктивность L и активное сопротивление R (рис. 3а).

Рис. 3

Напряжение на индуктивности опережает по фазе на 90° напряжение на сопротивлении, что отражено на векторной диаграмме напряжений (рис. 3b). Результирующее напряжение определяется как результат векторного сложения и .

Амплитуды напряжения и тока , сдвиг фазы  связаны между собой соотношениями

, . (11)

При получении соотношения (9) для мы пренебрегли влиянием сопротивления R. Выясним условия, при которых влияние R мало, и оценим точность определения с помощью формулы (9) при этих условиях. Воспользуемся соотношением (11), представив его в следующем виде:

. (12)

Для того чтобы влияние R на результаты измерения было мало, должно быть выполнено соотношение

. (13)

Рассмотрим катушку индуктивности из медной проволоки (рис. 3). Длина катушки 1, диаметр катушки D. Обозначим диаметр проволоки через d, массу проволоки m, длину проволоки A, ее сопротивление R. Можно показать, что индуктивность такой катушки при условии l>>D определяется следующим выражением

, (14)

где 10-7 Гн/м – магнитная постоянная

=1,610-8 Омм – удельное сопротивление меди

=8,9 г/см3 – удельный вес меди.

Из формулы (14) видно, что отношение пропорционально отношению . Таким образом, для катушек индуктивности, изготовленных из проволоки одинакового диаметра, отношение будет оставаться постоянным, т.к. масса проволоки пропорциональна длине l катушки.

Возьмем катушку из медной проволоки с конкретными параметрами:

m=50 г, l=6 см, D=2 см, d=0,3 мм.

Тогда число витков =200.

Длина проволоки м.

Сопротивление Ом.

Индуктивность Гн.

Индуктивное сопротивление при частоте

f=100 Гц Ом,

f=10 кГц Ом.

Таким образом, при частоте f=10 кГц соотношение (13) выполняется, а именно,

. (15)

Отметим, что при изменении диаметра проволоки d отношение , полученное из формулы (14), будет меняться, но по порядку величины будет оставаться тем же для реально используемых катушек индуктивности. Поэтому соотношение (15) является справедливым для реальных катушек.

В мостовой схеме (рис. 2) сравниваются напряжения на индуктивностях L0 и LX. При условии (15) R<<RL, а при частоте f=10 кГц расчет результирующего напряжения по формуле (12) дает значение

,

т.е. отличие от составляет 0,04%.

Следовательно, погрешность измерения LX, вносимая активным сопротивлением катушки, при частоте f=10 кГц, составляет 0,04%. На самом деле реальная погрешность будет еще меньше, поскольку образцовая катушка также обладает некоторым активным сопротивлением (см. (9)).

В заключение приведем некоторые рекомендации для практической оценки погрешности измерений индуктивности.

1. При использовании моста переменного тока увеличение частоты задающего генератора уменьшает погрешность измерения индуктивности.

2. Если образцовая и измеряемая катушки имеют одинаковую форму (сравнимые отношения ) и намотаны одинаковым проводом, то погрешность определения LX за cчет активного сопротивления провода будет существенно меньше полученной из формулы (12).

3. Если образцовая и измеряемые катушки имеют разную форму, намотаны проводом разного сечения, сделаны из разного материала, то в этом случае ни при каком положении подвижного контакта 3 реохорда (рис. 2) не удастся добиться нулевого показания милливольтметра. Это связано с разностью фаз напряжений в точках 3 и С. Отношение минимального напряжения милливольтметра к напряжению на индуктивности L0 (или LX) может служить мерой погрешности измерения LX.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для определения сопротивления резистора, емкости конденсатора и индуктивности катушки (рис. 4) состоит из кругового реохорда, генератора и панели, на которой смонтированы все элементы измерительного моста, в том числе:

– переключатель рода работы S1 — R–L–C;

– переключатель S2 образцовых величин выбранной группы: R, С или L (по два номинала каждый);

переключатель S3, подключающий к мосту измеряемые элементы R, С или L (по два номинала каждый).

Кроме перечисленного на панели имеется милливольтметр переменного тока, его чувствительность определяется электронным усилителем, имеющим коэффициент усиления К=2500.

Питание усилителя производится от специального источника питания, имеющего напряжение 9 В и гальванически не связанного с корпусом. Номиналы R, С и L (образцовые и измеряемые) обозначены на схеме.

Рис. 4

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТОРА

1. Включить установку тумблером "сеть.

2. Переключатель S1 поставить в позицию «R».

3. Переключатель S2 – в позицию «1 кОм» (образцовый).

4. Переключатель S3 – в позицию «~1 кОм» (измеряемый).

5. Перемещая движок Д реохорда АВ, добиться минимального показания милливольтметра V. Если зона нечувствительности значительная, то нужно повысить напряжение звукового генератора. Если спад напряжения незначительный, то напряжение звукового генератора надо понизить (при этом частота генератора должна быть в пределах 6  10 кГц).

6. Записать длины плеч l1 и 12 реохорда (в омах), где l1 считывается непосредственно с линейки, а 12 берется как разность всей линейки и 11.

7. Указанным выше способом определить длины плеч реохорда для образцового резистора «10 кОм» и измеряемого «~10 кОм».

Повторить указанные измерения не менее 3-х раз.

Вычислить измеряемое сопротивление по формуле:

,

где 1 – длина реохорда.

10. Оценить ошибку измерения по приближенной формуле

, (16)

где l1, l2, R0 – cредние значения измеренных величин

l1, l2, R0 – абсолютные погрешности измеренных величин.

Упражнение 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕН-САТОРА

На шкале генератора остается та же частота (6  10 кГц).

2. Методика измерения остается такой же, как при измерении сопротивления резисторов. Вычисление емкости производится по формуле:

.

Определить неизвестные емкости ~0.01 мкФ и ~0.1 мкФ.

3. Определить погрешности в измерении электроемкости, воспользовавшись формулой (16) (сопротивление R0 заменить ёмкостью С0).

Упражнение 3. ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШЕК

Методика измерения та же, что и при измерении сопротивления резисторов. Вычислить неизвестную индуктивность (1 мГн и 10 мГн) следует по формуле

.

Оценить ошибку измерения и записать результат.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое резистор, от чего зависит сопротивление резистора?

2. Какое сопротивление можно назвать линейным?

3. Что представляет собой мостовая схема измерения? Объясните принцип измерения.

4. В чем преимущества измерения по мостовой схеме перед другими методами.

5. Есть ли различие в точности измерения сопротивления для моста постоянного тока и переменного тока?

6. Вывести формулу для определения неизвестного сопротивления в мостовой схеме.

7. Что такое электроемкость? Что такое конденсатор?

8. Объясните принцип измерения электроемкости неизвестного конденсатора с помощью мостовой схемы.

9. Чему равно сопротивление конденсатора в цепях постоянного и переменного токов?

10. Вывести формулу для определения электроемкости.

11. Что такое индуктивность?

12. Что такое эффективное сопротивление индуктивности в цепи переменного тока? От чего оно зависит?

13. Какие фазовые соотношения между напряжениями на катушке индуктивности и конденсаторе?

14. От чего зависит сдвиг фаз между колебаниями тока и колебаниями напряжения на элементах цепи?

15. Что такое активное и реактивное сопротивления электрической цепи?

16. Что представляет собой реохорд, применяемый в данной установке?

17. Можно ли вместо вольтметра, применяемого в данной цепи, использовать амперметр?

18. От чего зависят силы токов в плечах мостовой схемы?

19. Должно ли быть неизвестное сопротивление Rx линейным?

20. Можно ли для схемы применять переменное несинусоидальное напряжение?

21. Может ли резистор обладать емкостью и индуктивностью, а катушка индуктивности – емкостью и активным сопротивлением?

22. В каком частотном диапазоне нужно вести измерения?

23. От каких параметров катушки зависит ее индуктивность? Как изменить эти параметры, чтобы увеличить индуктивность?

24. Как влияет величина частоты переменного напряжения генератора на погрешность измерения индуктивности?

25. Влияет ли форма катушки на точность измерения индуктивности? Как именно?

26. Влияет ли материал провода и его сечение на точность измерения индуктивности? Как именно?

27. Каким образом можно добиться минимальной погрешности измерения индуктивности катушки?

28. Как оценить величину погрешности измерения сопротивления резистора?

29. Как оценить величину погрешности измерения емкости конденсатора?

30. Как оценить величину погрешности измерения индуктивности катушки?

http://lib.convdocs.org/docs/index-92134.html