Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра экономической математики, информатики и статистики (ЭМИС)

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Отчет по лабораторной работе №2 по дисциплине «Метрология и измерительная техника»

Выполнил

студент гр. 549

\_\_\_\_\_\_\_\_ Баулин С.К.

(подпись)

«05» мая 2021г.

Проверил

Старший преподаватель

\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_ Сахаров М.С.

(оценка)

(п(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021г.

Томск 2021

1. Цель работы

Целью работы является изучение способов определения погрешностей измерения физической величины различных методов на основе измерения электрических параметров катушки индуктивности и конденсаторов постоянной емкости.

1. Описание экспериментальной установки

Измеритель добротности Е 4-4 (Е 9-4), структурная схема которого приведена на рисунке 2.1. состоит из следующих блоков:

* высокочастотного генератора, перестраиваемого по частоте;
* измерительного контура;
* вольтметра входного уровня;
* вольтметра напряжения на измерительном контуре;
* генератора калибровки.

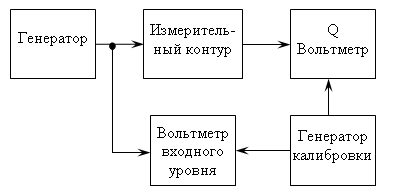


Рисунок 2.1 - Схема измерителя добротности

Принцип действия прибора основан на явлении электромагнитного резонанса в колебательном контуре, роль которого выполняет измерительный контур прибора, который, в свою очередь, представляет собой последовательный колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности L и конденсатора С. В контур вводится напряжение высокочастотного генератора *U1*. Напряжение на контуре *U2* измеряется Q – вольтметром.

При резонансе ток в контуре равен, пренебрегая внутренним сопротивлением генератора и потерями в конденсаторе:



Напряжение на конденсаторе:



откуда можно найти добротность колебательного контура:



где  – резонансная частота;

 – ёмкость переменного и подстроечного конденсаторов.

Измерение добротности прибором заключается в измерении напряжения , вводимого в контур, и напряжения на реактивном элементе контура при резонансе . При  показания *Q* – вольтметра пропорциональны добротности и его шкала градуируется в единицах добротности.

Так как всякая катушка индуктивности обладает собственной ёмкостью , которая влияет на резонансное сопротивление индуктивности, такой способ измерения даёт так называемое эффективное значение добротности. Величина истинной добротности может быть определена из соотношения:

.

Практическое расхождение между истинной и эффективной добротностью не превосходит (5-10) % при измерениях с минимальной ёмкостью измерительного конденсатора прибора Е 9-4.

Измеритель индуктивностей и ёмкостей высокочастотной типа Е 12-1 (Е 12-1А) предназначен для измерения малых индуктивностей и ёмкостей с малыми потерями.

Схема представлена на рисунке 2.2 и состоит из двух идентичных генераторов, смесителя и индикатора нулевых биений. В контур первого генератора включены образцовые конденсаторы переменной ёмкости, в контур второго генератора последовательно с катушкой индуктивности, изменяемой дискретно в зависимости от выбранного диапазона, включают измеряемую катушку. Если же измеряется ёмкость, то зажимы индуктивности заворачиваются, а измеряемый конденсатор включают параллельно контуру генератора.

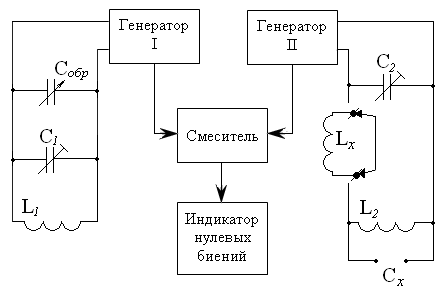
****

Рисунок 2.2 – Схема измерителя индуктивностей и ёмкостей высокочастотной типа Е 12-1.

В приборе реализован генераторный метод, являющийся разновидностью резонансного, и основан на изменении частоты генератора при включении в измерительный контур измеряемых ёмкости или индуктивности.

До включения измеряемых индуктивности или ёмкости конденсаторы *Собр* и *С1* контура первого генератора устанавливают в нулевое положение, затем оба генератора настраивают на одинаковую частоту по нулевым биениям, изменяя емкость кондесатора *С2* «НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА». Настройку производят по нулевым биениям, для чего предусмотрен смеситель с фильтром нижних частот. Нулевые биения фиксируются либо по индикатору, либо по телефонам, на которые поступает сигнал нулевых биений.

После подключения измеряемого элемента в контур второго генератора частота его изменяется, и сигнал с разностной частотой с выхода смесителя не проходит на индикатор. Перестраивая частоту первого генератора образцовым конденсатором Собр, вновь добиваются равенства частот генераторов по нулевым биениям. Изменение ёмкости образцового конденсатора однозначно определяет измеряемые индуктивность или ёмкость, и по его градуировке определяют измеряемый параметр.

Для расширения предела измерения ёмкости параллельно образцовому конденсатору подключаются дополнительные конденсаторы по 1000 пФ каждый.

Для расширения пределов измерения индуктивностей в генераторах дискретно подключаются различные катушки индуктивности *L1* и *L2* и измерение производится на других частотах.

Измеритель Е7-21 предназначен для измерения иммитансных параметров: ёмкости, индуктивности, сопротивления, проводимости, тангенса угла потерь, добротности электрорадиоэлементов.

Упрощенная структурная схема прибора представлена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 - Структурная схема прибора.

В основу работы прибора положен метод вольтметра–амперметра. Напряжение рабочей частоты подается на измеряемый объект , подключаемый к преобразователю проводимости объекта .

Преобразователь формирует два напряжения, одно из которых пропорционально току , протекающему через измеряемый объект, другое — напряжению на нем . Отношение этих напряжений равно комплексной проводимости  или комплексному сопротивлению .

Измерение отношения напряжений проводится аппаратно-программным логометром, состоящем из масштабного усилителя и аналого-цифрового преобразователя. Итогом работы программной части логометра является расчет отношений напряжений. Контроллер управляет работой логометра и индикатора.

В приборе предусмотрено измерение как сопротивлений, так и проводимостей радиоэлементов. Для этого предусмотрены различные режимы работы генератора. На 1–4 диапазонах генератор является источником напряжения, и в этом случае предпочтительно измерять составляющие комплексной проводимости

,

где  – активная проводимость;

 – реактивная проводимость.

В преобразователе прибора предусмотрена функция, обеспечивающая знаменатель  установить равным некоторому опорному напряжению , а напряжение  измерить измерителем интегрирующего типа. Разделение напряжения  на активную и реактивную составляющие производится с использованием синхронных детекторов. Таким образом, в АЦП производится преобразование двух сигналов, один из которых пропорционален активной, другой реактивной составляющей проводимости измеряемого элемента. Контроллер обеспечит индикацию этих составляющих.

На 5–8 диапазонах генератор является источником тока, и в этом случае предпочтительно измерять составляющие комплексного сопротивления

,

где  – активное сопротивление;

 – реактивное сопротивление.

В этом режиме уже напряжение  приравнивается к опорному напряжению , а числитель  измеряется измерителем интегрирующего типа. В дальнейшем разделение комплексного сигнала  на активную и реактивную составляющие производится аналогично предыдущему случаю и контроллер обеспечивает индикацию уже составляющих комплексного сопротивления.

Расширение пределов измерения достигается за счет изменения коэффициента передачи усилительного тракта логометра при измерении составляющих числителя в 10, 100, 1000 раз. Интерфейс RS-232С обеспечивает согласование уровней сигналов и гальваническую развязку измерительных цепей прибора и подключаемой аппаратуры.

1. Экспериментальные данные и их обработка

Измерение индуктивности катушки методом непосредственного отсчета прибором Е9-4 на частоте f = 760 кГц. Оценка точности измерения.

L = 400 мкГн, С = 110 пФ.

Индуктивность свободная от методической погрешности:

(3.1)

(3.1)

где значение берется из пункта 3.3.

(3.2)

Относительная погрешность измерения индуктивности:

(3.2)

где, *ΔCmax/C, Δfmax/f* – максимальные относительные погрешности определения емкости и частоты.

(3.3)

Максимальная абсолютная погрешность измерения индуктивности:

(3.3)

Результат измерения:

L = (382,5  8,4) мкГн.

3.2. Измерение индуктивности катушки косвенным методом на различных частотах.

(3.4)

При измерении индуктивности исследуемой катушки косвенным методом, используется для расчета соотношение:

(3.4)

где  - резонансная частота контура;

 - значение образцовой емкости при настройке в резонанс.

Таблица 3.1 – Обработка результатов измерений

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , пФ | , кГц | , мкГн | , мкГн |  |  |
| 25 | 1495 | 453,33 | 377,24 | -1,90 | 3,60 |
| 50 | 1091 | 425,62 | 386,62 | 7,49 | 56,10 |
| 75 | 906 | 411,46 | 385,53 | 6,40 | 40,93 |
| 100 | 797 | 398,77 | 379,63 | 0,49 | 0,24 |
| 125 | 724 | 386,59 | 371,60 | -7,53 | 56,76 |
| 150 | 651 | 398,46 | 385,50 | 6,37 | 40,54 |
| 175 | 620 | 376,55 | 366,00 | -13,13 | 172,51 |
| 200 | 570 | 389,82 | 380,23 | 1,10 | 1,20 |
| 225 | 543 | 381,82 | 373,45 | -5,68 | 32,32 |
| 250 | 514 | 383,51 | 375,92 | -3,21 | 10,30 |
| 275 | 489 | 385,20 | 378,27 | -0,87 | 0,75 |
| 300 | 468 | 385,50 | 379,13 | 0,00 | 0,00 |
| 325 | 448 | 388,33 | 382,40 | 3,26 | 10,64 |
| 350 | 429 | 393,24 | 387,65 | 8,52 | 72,60 |
| 375 | 420 | 382,92 | 377,84 | -1,29 | 1,67 |

Статистическая обработка результатов наблюдений, имеющих случайные погрешности.

(3.5)

Вычисляем среднее значение по формуле:

(3.6)

(3.5)

Определяем статистическую оценку S среднеквадратической погрешности отдельных результатов измерений индуктивности.

(3.6)

где - отклонение отдельных результатов измерений от среднего арифметического (остаточная погрешность).

Вычисляем оценку среднеквадратичного отклонения результата измерения от истинного значения измеряемой величины (среднеквадратичное отклонение среднего)

(3.7)

(3.7)

Определяем доверительный интервал:

(3.8)

(3.8)

где при заданной доверительной вероятности и известном количестве измерений n=15 находим соответствующий коэффициент Стьюдента

Записываем окончательный результат измерения

3.3 Вычисление собственной емкости катушки индуктивности.

Для вычисления собственной емкости катушки индуктивности используется соотношение:

(3.9)

(3.9)

где и - значения емкости контура куметра при его настройке частоты и соответственно.

Измерения проводим три раза, выбирая

1. C1 = 300 пФ, C2 = 25 пФ;

2) C1 = 325 пФ, C2 = 50 пФ;

3) C1 = 350 пФ, C2 = 75 пФ;

В качестве результата измерения берем среднее арифметическое

3.4. Измерение емкости конденсаторов прибором E9-4. Оценка точности измерения.

Измерение малой емкости, не превышающей диапазон изменения конденсатора переменной емкости куметра.

(3.11)

Емкость измеряемого конденсатора:

(3.10)

Относительная погрешность измерения емкости:

Абсолютная погрешность измерения:

(3.12)

Результат измерения:

Измерение большой емкости, превышающей диапазон изменения конденсатора переменной емкости.

Значение емкости измеряемого конденсатора:

(3.13)

Относительной погрешности измерения:

где и - относительные погрешности определения емкостей С1 и С2 конденсатора куметра.

(3.14)

Абсолютная погрешность измерения:

(3.15)

Результат измерения:

3.5 Измерение индуктивности катушки, емкостей конденсаторов методом сравнения с мерой на приборе Е12-1 (Е12-1А).

Индуктивность катушки:

L=398,7 мкГн

Относительная методическая погрешность составляет 0,2%.

Lиспр. = 398,7 \*(1-0,002) = 399,497 мкГн

Абсолютная погрешность измерения:

Погрешность измерения свыше 10 мкГн не превышает ±1,5% от измеряемой величины, ±0,2% от предела шкалы соответствующего диапазона. Применяем вероятностную сумму с учётом закона распределения.

Результат измерения:

(3.16)

Lизм. = (399,5 ± 7,9) мкГн

Емкость не превышающая диапазон изменения конденсатора.

С = 131,3 пФ

Абсолютная погрешность измерения:

(3.17)

Результат измерения:

Сизм. = (131,3±1,1) пФ

Емкость превышающая диапазон изменения конденсатора.

С = 775,8 пФ

Абсолютная погрешность измерения:

(3.18)

Результат измерения:

Сизм. = (775±4) пФ

3.6 Оценка точности измерения индуктивностей и емкостей прибором Е7-21.

Индуктивность катушки:

L = 398,5 мкГн

Пределы допускаемой основной погрешности:

(3.19)

%

Абсолютная погрешность измерения:

(3.20)

(3.20)

Результат измерения:

Lизм. = (398,5±5,2) мкГн

Малая емкость.

С = 131,2 пФ

Пределы допускаемой основной погрешности:

(3.21)

(3.21)

%

Абсолютная погрешность измерения:

(3.22)

Результат измерения:

Сизм. = (131,2±1,4) пФ

Большая емкость:

C = 775,6 пФ

= 0,003

Пределы допускаемой основной погрешности:

(3.23)

Абсолютная погрешность измерения:

(3.24)

Результат измерения:

Сизм. = (775,6±9,4) пФ

1. Вывод

В ходе лабораторной работы был исследован резонансный контурный метод работы куметра и обнаружена следующая закономерность: с увеличением емкости уменьшается индуктивность, что свидетельствует о присутствии в результатах измерений систематической методической погрешности, обусловленной влиянием собственной ёмкости катушки.

Прибором Е9-4 (Е4-4) измерили индуктивность и добротность катушки методом непосредственного отсчета на частоте f = 760 КГц L=400 мкГн C = 110 Пф, а также косвенным методом на различных частотах.

Измерили емкости конденсаторов с помощью гетеродинного измерителя (малой и большой емкости).

Вычислили собственную емкость катушки индуктивности, определили максимальную случайную погрешность измерения индуктивности косвенным методом. Измерили индуктивность катушки и емкостей конденсаторов методом сравнения с мерой на приборе Е12-1 (Е12-1А), а также на приборе Е7-21. Оценили точность всех измерений.

Можно сделать вывод что измерения на приборе Е7-21 являются самыми точными, а на приборе Е9-4 неточными.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Прибор Е9-4 | | Прибор Е12-1 | Прибор Е7-21 |
| Метод  непосредств.  отсчета | Косвенный  метод |
| L, мкГн | 382,58,4 | Pd=0,95  n=15 | 399,5 ±7,9 | 398,5±5,2 |
| С, пФ |  | | 775±4 | 775,6±9,4 |
| С, пФ | 1305 | | 131,2±1,1 | 131,2±1,4 |