

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

**КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА**

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНЫХ, РЕАКТИВНЫХ И ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЦЕПИ

**Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве методических
указаний к лабораторной
работе для студентов**

УДК 621.396

Методические указания содержат описание лабораторной работы, посвященной методам измерения активных, реактивных и полных сопротивлений в радиотехнических цепях и выполняемой студентами спец. 0705 при изучении курса «Основы радиоэлектроники». Приведены теоретические основы лабораторной работы, даны указания по подготовке и выполнению работы, оформлению отчета, контрольные вопросы.

Составитель Н. А. Малыгина

Рецензенты: В. В. Мотов, Ю. С. Быховский

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов измерения сопротивлений в радиотехнических цепях постоянного и переменного тока.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ /I-3/

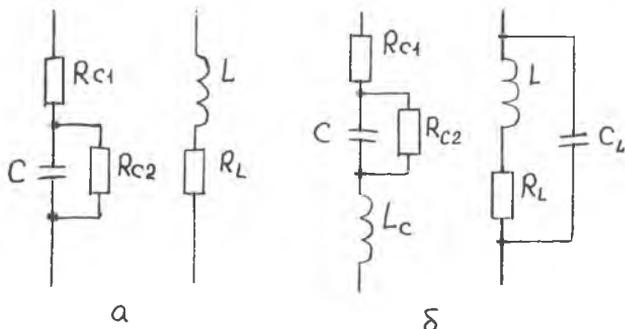
Все элементы радиотехнической цепи обладают сопротивлением, поэтому при прохождении тока сигнала на них возникает падение напряжения. Сопротивление элементов цепи может быть двух видов: активное или реактивное. Если при прохождении тока через элемент цепи происходит только необратимая затрата энергии на нагрев, механическую работу или излучение электромагнитной энергии, то сопротивление называют а к т и в н ы м. Примером реального элемента цепи с активным сопротивлением может служить резистор.

Если же энергия в элементе не теряется, а лишь накапливается, то элемент называют р е а к т и в н ы м. К последним относятся катушка индуктивности (индуктивное сопротивление), в которой накапливается энергия магнитного поля, и конденсатор (емкостное сопротивление), в котором накапливается энергия электрического поля.

Следует отметить, что в действительности невозможно получить такой элемент цепи, сопротивление которого являлось бы только активным, или только индуктивным, или только емкостным. Катушка индуктивности обладает активным сопротивлением, так как ее обмотка выполнена из проводника с конечной проводимостью и, кроме того, есть потери на излучение. Как всякое металлическое тело, катушка индуктивности обладает и емкостью. Конденсатор имеет некоторую индуктивность, так как состоит из отдельных проводников, перемещение зарядов по которым вызывает появление магнитного поля. Потери в диэлектрике конденсатора вызывают его нагревание и, следовательно, являются необратимыми, как и в активном сопротивлении. Отрезки провода, с помощью которых соединяются между собой элементы цепи, как это следует из аналогичных рассуждений, кроме активного сопротивления имеют и индуктивное, и емкостное.

Исследовать прохождение сигнала в таких сложных элементах цепи труднее. Однако на практике стараются применять такие элементы, в которых сопротивление одного из перечисленных видов имеет преобладающее значение, а двумя другими видами можно без ущерба для требуемой точности исследования пренебречь. Тогда рассматриваемый элемент цепи можно заменить идеализированным, например, резистор - активным сопротивлением R , катушку индуктивности - индуктивностью L , конденсатор - емкостью C . В случаях, когда такое упрощение недопустимо,

прибегают к замене реального элемента эквивалентной схемой, состоящей из нескольких идеализированных элементов. При этом эквивалентной считают такую цепь, при помещении которой на место заменяемой цепи не изменяются ни токи, ни напряжения в любых участках остальной цепи, в том числе и между точками, где произошла замена. Таким образом, конденсатор с потерями в проводниках R_{C1} и диэлектрике R_{C2} и катушка индуктивности с заметной величиной активного сопротивления R_L проводников могут быть заменены для токов средних частот эквивалентными схемами, приведенными на рис. I, а. На высоких частотах дополнительно приходится учитывать паразитную индуктивность конденсатора L_C и



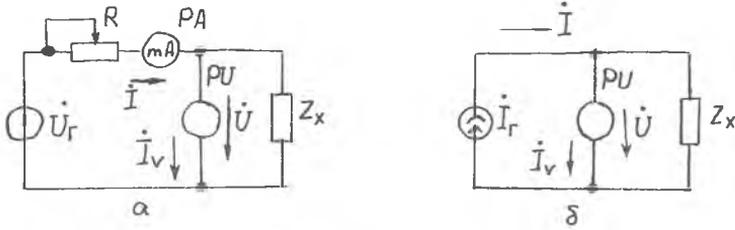
Р и с. I

паразитную емкость катушки индуктивности C_L , что усложняет эквивалентные схемы (рис. I, б). Полное сопротивление элемента цепи становится в этом случае комплексным, т.е. содержит две части – действительную (активная составляющая) и мнимую (реактивная составляющая).

Применение эквивалентных схем значительно облегчает изучение процессов в радиотехнических цепях. При этом можно ограничиться изучением свойств только трех идеализированных элементов R , L , C , а все остальные случаи рассматривать как их комбинации.

Для измерения активных, реактивных и полных сопротивлений, а также основных параметров (R , L , C) элементов цепи с сосредоточенными параметрами используют различные методы, наиболее распространенными из которых являются: вольтметра-амперметра; мостовой; резонансный; гетеродинный.

Схема измерения по методу вольтметра-амперметра показана на рис. 2, а – при питании от источника напряжения, на рис. 2, б – при пита-



Р и с . 2

нии от источника тока. При измерении на постоянном токе схема позволяет определить сопротивление резистора R_x по показаниям вольтметра и амперметра:

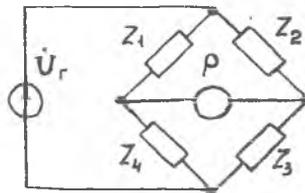
$$R_x = \frac{U}{I - U/R_V} \approx \frac{U}{I},$$

так как обычно $R_V \gg R_x$, где R_V - сопротивление вольтметра.

При измерении на переменном токе с частотой f можно определить модуль полного сопротивления $Z_x = \sqrt{R_x^2 + X_x^2} = U/I$, где U и I одновременно либо действующие, либо амплитудные значения напряжения и тока в измеряемом сопротивлении. При включении в качестве Z_x конденсатора или катушки индуктивности можно, кроме модулей реактивных сопротивлений, определить значение емкости или индуктивности, зная частоту f питающего генератора. Так для конденсатора реактивное сопротивление $X_C = 1/\omega C = U/I$, откуда емкость $C = I/\omega U$; для катушки индуктивности $X_L = \omega L = U/I$, откуда индуктивность $L = U/\omega I$, где $\omega = 2\pi f$ - угловая частота.

Мостовой метод измерения применяется в диапазоне низких радиочастот и позволяет достичь наибольшей точности измерения полных сопротивлений. Используется измерительный мост (рис.3), к одной диагонали которого подключается генератор питающего напряжения U_{\sim} , а к другой - индикатор равновесного состояния (например, электронный осциллограф или милливольтметр), имеющий большое входное сопротивление, чтобы исключить его влияние на работу моста.

Равновесие моста наступает при условии $Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$, где $Z_1 \dots Z_4$ -



Р и с . 3

комплексные сопротивления плечей моста. Если записать последнее уравнение, выделив модули и аргументы комплексных сопротивлений:

$$Z_1 Z_3 e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)} = Z_2 Z_4 e^{j(\varphi_2 + \varphi_4)},$$

то оно распадается на два равенства:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad \text{и} \quad \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4,$$

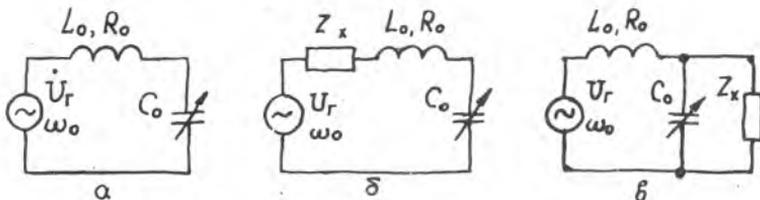
которые должны выполняться одновременно.

Следовательно, если принять за измеряемое сопротивление Z_1 , а за образцовое - Z_2 , то в мосте переменного тока для достижения равновесия должны быть две регулировки - модуль образцового сопротивления Z_2 и его аргумента φ_2 . Так как эти параметры при регулировке взаимосвязаны, т.е. при отдельной регулировке активной и реактивной составляющих одновременно меняются модуль и фаза, то балансировку моста необходимо вести методом последовательного приближения, одновременно регулируя активную и реактивную составляющие. В этом случае в качестве индикатора удобно использовать осциллограф: при разбалансе моста - на экране эллипс, при балансе - прямая горизонтальная линия.

Резонансный метод измерения основан на использовании резонансных свойств колебательного контура и применяется при измерении параметров элементов до частот порядка 100 МГц, когда контур состоит еще из элементов с сосредоточенными параметрами. При измерении по данному методу на более высоких частотах необходимо применять соответствующую конструкцию колебательной системы (отрезки длинных линий, объемные резонаторы). Резонансный метод позволяет измерять индуктивность, емкость, сопротивление потерь в них, а также активную и реактивную составляющие комплексного сопротивления любого двухполюсника.

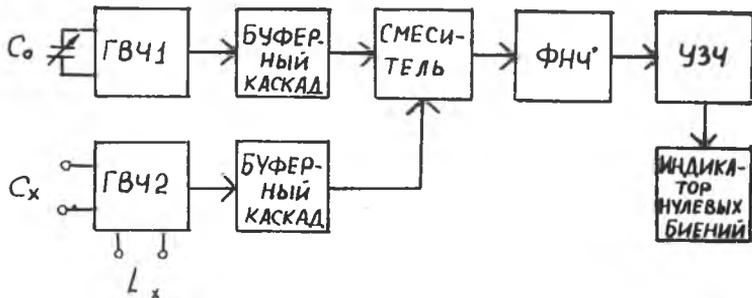
Суть метода заключается в следующем. Вначале составляют контур (рис.4, а) из образцовой катушки индуктивности L_0, R_0 и образцового конденсатора C_0 без потерь, настраивают его в резонанс на требуемой частоте $\omega_0 = 1/\sqrt{L_0 C_0}$ и измеряют его добротность $Q = \omega_0 L_0 / R_0 = 1/\omega_0 C_0 R_0$. Затем к этому контуру подключают исследуемый двухполюсник $Z_x = R_x + jX_x$ последовательно (рис.4, б) или параллельно (рис.4, в) и изменением емкости C_0 восстанавливают резонанс в схеме, измеряя новые значения C_0' и Q' . По измеренным значениям ω_0, C_0, C_0', Q и Q' расчетным путем определяют R_x и X_x исследуемого двухполюсника.

Гетеродинный метод основан на зависимости частоты колебаний



Р и с. 4

автогенератора от индуктивности и емкости его колебательного контура и сравнении частоты данного генератора с частотой перестраиваемого с помощью образцового конденсатора C_0 генератора по нулевым биениям. Структурная схема прибора, основанного на этом методе измерения, приведена на рис.5. Измеряемая индуктивность L_x или емкость C_x включается в колебательный контур высокочастотного генератора 2: индуктивность последовательно с индуктивностью контура генератора, величина которой может изменяться; емкость - параллельно емкости генератора. (При измерении C_x зажимы для подключения L_x закорачиваются). Принцип измерения состоит в следующем.



Р и с. 5

До подключения измеряемой индуктивности или емкости оба генератора с помощью образцового конденсатора C_0 настраиваются на одну частоту, что фиксируется по нулевым биениям, образующимся после смесителя. Затем подключают измеряемый элемент, например емкость C_x ,

при этом частота генератора 2 изменится. Перестройкой частоты генератора 1 с помощью образцового конденсатора C_0 вновь добиваются равенства частот генераторов. При одинаковых индуктивностях в контурах обоих генераторов измеряемая емкость будет равна изменению емкости образцового генератора. Погрешность измерения этим методом составляет $\pm(0,2\dots0,5)\%$.

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА

Лабораторная работа проводится на стенде 87Л-01, где установлена сменная панель № 19 (Исследование колебательных контуров). При выполнении работы используются:

Электронный осциллограф С1-73

Генератор высокой частоты (ГВЧ)

Источник постоянного тока (генератор тока) ГТ

Источник постоянного напряжения (генератор напряжения) ГН2

Авометр АВМ2 и милливольтметр (МВ)

Частотометр (ЧМ) и измеритель выхода (ИВ)

Радиоэлементы:

Резистор МЛТ-0,5 10 Ом - 1 шт.

 51 Ом - 1 шт.

 100 Ом - 1 шт.

 1 кОм - 1 шт.

Резистор переменный СП-1-А-ВС-3-20 10 кОм - 1 шт.

Конденсатор К21-7 510 пФ - 1 шт.

 680 пФ - 1 шт.

 1000 пФ - 1 шт.

Катушка индуктивности Z_1 - 1 шт.

Z_4 - 1 шт.

Перемычка - 2 шт.

Провод соединительный - 6 шт.

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Разработать и нарисовать схемы для проведения всех указанных в лабораторном задании измерений, продумать порядок выполнения измерений.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Измерить активное сопротивление четырех резисторов на постоянном и переменном токе и сравнить полученные результаты.
2. Измерить входное сопротивление авометра и милливольтметра и входную емкость осциллографа (с учетом емкости кабеля).
3. Измерить реактивное сопротивление и рассчитать емкость трех конденсаторов.
4. Измерить реактивное сопротивление и рассчитать индуктивность двух катушек индуктивности.
5. Подобрать катушку индуктивности и конденсатор (из числа исследованных) для последовательного колебательного контура на резонансную частоту $f_0 = 465$ кГц и измерить полное сопротивление последовательного контура для двух значений сопротивления резистора $R = 0$ и 51 Ом. Рассчитать добротность контура.
6. Измерить полное сопротивление параллельного колебательного контура, составленного из элементов п.5, и рассчитать его добротность.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Структурные схемы измерений.
3. Таблицы экспериментальных данных и необходимые расчеты.
4. Выводы и оценка полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Что такое активное, реактивное и полное сопротивление цепи?
2. Что такое сопротивление, индуктивность, емкость?
3. Нарисовать и пояснить физический смысл эквивалентных схем замещения резистора, катушки индуктивности, конденсатора для области низких, средних и высоких частот.
4. Что такое резонанс в радиотехнической цепи? Нарисовать схемы последовательного и параллельного колебательных контуров. Что такое добротность элемента цепи, колебательного контура?
5. Пояснить физический смысл законов Ома и Кирхгофа.
6. Дать определение и привести примеры источников напряжения и тока.
7. Что такое линейные, нелинейные и параметрические цепи? Привести примеры.

8. Дать определение и привести примеры радиотехнических цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами.

9. Пояснить сущность методов измерения параметров элементов радиотехнических цепей (метода вольтметра-амперметра, мостового метода, резонансного метода, гетеродинного метода).

10. Какие требования предъявляются к источникам питания и измерительным приборам при измерении сопротивлений элементов цепи. Как учесть влияние приборов на результаты измерений?

Библиографический список

1. Ушаков В.Н. Основы радиозлектроники и радиотехнические устройства. -М.:Высшая школа, 1976.

2. Манаев Е.И. Основы радиозлектроники: Учебное пособие для вузов. -М.:Радио и связь, 1985.

3. Комлик В.В. Радиотехника и радиоизмерения. -Киев:Вища школа, 1978.

Составитель Николай Александрович Малыгин

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНЫХ, РЕАКТИВНЫХ И ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИИ ЦЕПИ

Редактор Е.Д.Антипова

Техн. редактор Н.М.Каленюк

Корректор А.П.Закхардяева

Подписано в печать 15.II.86. Формат 60x84 1/16

Оперативная печать. Бумага оберточная белая.

Усл.п.л. 0,46. Уч.-изд.л. 0,4. Т.500 экз.

Заказ 8321 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного
Знамени авиационный институт имени академика
С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Молодогвардей-
ская, 151.

Обл.тип. им. В.П.Мяги, г.Куйбышев,
ул.Венцека, 60.