

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

Методические указания
к лабораторной работе

Куйбышев 1990

Составители: Н.А.М а л ы г и н, В.И.М и х а й к о в

УДК 621.396

Измерение активных, реактивных и полных сопротивлений цепи:Метод.указания к лаборатор.работе /Н.А.Малыгин, В.И.Михайков;Куйбышев.авиаци.ин-т.Куйбышев, 1990. 12 с.

Содержится описание лабораторной работы, посвященной методам измерения активных, реактивных и полных сопротивлений в радиотехнических цепях и выполняемой студентами спец. 2301, 2303 дневного и вечернего отделений при изучении курса "Основы радиоэлектроники". Приведены теоретические основы эксперимента, даны указания по подготовке и выполнению работы, оформлению отчета, контрольные вопросы. Составлены на кафедре "Радиотехнические устройства".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензенты: М.С.Б и х о в с к и и, В.В.М о т о в

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

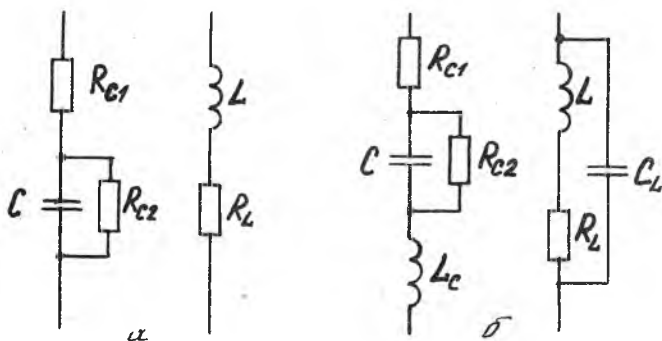
Все элементы радиотехнической цепи обладают сопротивлением, поэтому при прохождении тока сигнала на них возникает падение напряжения. Сопротивление элементов цепи может быть двух видов: активное или реактивное. Если при прохождении тока через элемент цепи происходит только необратимая затрата энергии 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 таким элементам 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 нагревание последнего 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 ко-

торых сопротивление одного из перечисленных видов преобладает, 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 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).

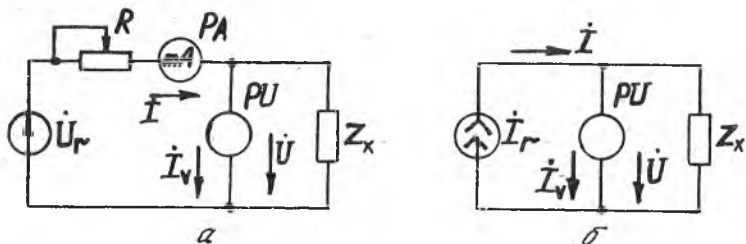


Р и с. I

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 1-3 наиболее распространенными из которых являются: вольтметра-амперметра; мостовой; резонансный; гетеродинный; сравнения двух сопротивлений.

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



Р и с. 2

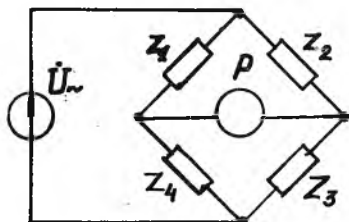
питании от источника тока. При измерении на постоянном токе схема позволяет определить сопротивление резистора R_x по показаниям вольтметра и амперметра:

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

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 диаго-



Р и с. 3

комплексные сопротивления плеч моста. Если записать последнее условие, выделив модули и аргументы комплексных сопротивлений, как

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

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 нарушенном балансе моста — на экране эллипс, при балансе — прямая горизонтальная линия.

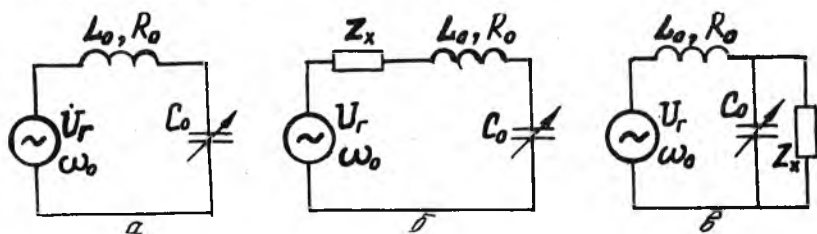
Резонансный метод измерения основан на использовании резонансных свойств колебательного контура и применяется при измерении параметров элементов до частот порядка 100 МГц, когда контур состоит еще из элементов с сосредоточенными параметрами. При измерении по данному методу на более высоких частотах необходимо применять соответствующую конструкцию колебательной системы (отрезки длинных линий, объемные резонаторы). Резонансный метод позволяет измерять ин-

нали которого подключается генератор питающего напряжения U_m , 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 $Z_1 \dots Z_4$ —

дуктивность, 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



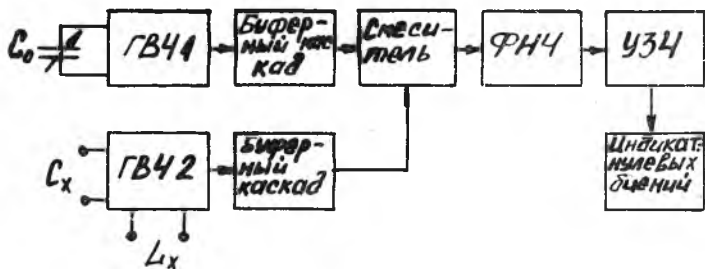
Р и с. 4

двухполюсник $Z_x = R_x + j X_x$ 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 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 ГВ42: 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.

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



Р и с. 5

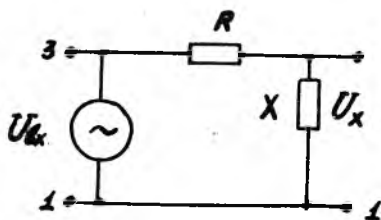
смесителя. Затем подключают измеряемый элемент, например емкость C_x , при этом частота генератора 2 изменится. Перестройкой частоты генератора I с помощью образцового конденсатора C_0 вновь добиваются равенства частот генераторов. При одинаковых индуктивностях в контурах обоих генераторов измеряемая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

Метод сравнения двух сопротивлений основан на измерении и сравнении падений переменного напряжения на двух сопротивлениях делителя, одно из которых имеет известный номинал. Метод, в отличие от перечисленных, менее точен по результатам измерений, но более прост по реализации. При использовании метода для измерения индуктивности или емкости достаточно иметь одно сопротивление с известным номиналом, а не три, как, например, в мостовом методе, кроме того не нужен измеритель переменного тока, как, например, в методе вольтметра-амперметра.

Суть метода заключается в следующем. Вначале собирается схема (рис. 6) из последовательно соединенных генератора переменного напряжения U_{BX} с перестраиваемой частотой, постоянного резистивного сопротивления R с известным номиналом, измеряемого реактивного сопротивления X с известным номиналом, измеряемого реактивного сопротивления X .

Изменяя частоту f переменного напряжения U_{BX} , меняют значение реактивного сопротивления X до тех пор, пока оно по модулю не станет равным значению известного активного сопротивления, т.е. $|X| = R$, и фиксируют значение частоты f , при котором на-

ступают это равенство. Равенство активного и реактивного сопротивлений определяют путем измерения и сравнения падения напряжения на делителе (U_{BX}) и реактивным сопротивлением (U_X). При равенстве указанных сопротивлений должно выполняться условие $U_X = 0,707 U_{BX}$, которое вытекает из решения следующей системы уравнений:



Р и с. 6

$$\begin{cases} \frac{U_{BX}}{\sqrt{X^2 + R^2}} = \frac{U_X}{|X|}, \\ |X| = |R|. \end{cases}$$

Измеряемая индуктивность L либо емкость C реактивного сопротивления X определяются по формулам как

$$L = \frac{R}{2\pi f}, \quad C = \frac{1}{2\pi f R}.$$

Для измерения частоты переменного напряжения f , падения напряжения на реактивном сопротивлении U_X (в точках 1 и 2 рис. 6) и делителе U_{BX} (в точках 1 и 3), значения которых необходимы при определении сопротивлений, может быть использован осциллограф. Однако необходимо учитывать, что при подключении его в схему вносится дополнительная емкость $C_{BX, осц}$, значение которой может быть взято из паспорта на осциллограф или определено экспериментально.

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА

Лабораторная работа проводится на стенде 87Д-01, где установлена сменная панель № 19 ("Исследование колебательных контуров"). При выполнении работы используются: электронный осциллограф С1-65; генератор высокой частоты (ГВЧ); источник постоянного тока (генератор тока) ГТ; источник постоянного напряжения (генератор напряжения) ГН2; авометр АММ2 и милливольтметр (МВ); 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., 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. Методом вольтметра-амперметра измерить на постоянном токе сопротивление четырех резисторов.

2. Методом сравнения двух сопротивлений измерить входную емкость осциллографа.

3. С учетом предыдущего измерения определить значение емкости одного из трех конденсаторов.

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 областей 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 тона.

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 (вольтметра-амперметра, мостового, резонансного, гетеродинного, сравнения двух сопротивлений).

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 радиоэлектроники и радиотехнические устройства. М.: Высш. шк., 1976.

2. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1985.

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

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНЫХ, РЕАКТИВНЫХ
И ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЦЕПИ

Составители: М а л ы г и н Николай Александрович,
М и х а й к о в Виктор Иванович

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Е.Г.Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 5.09.90 г.
Формат 60x84^I/16. Бумага оберточная.
Печать оперативная. Уч.-изд.л. 0,6.
Усл.п.л. 0,7. Усл.кр.-отт. 1,0. Т. 350 экз.
Заказ 5074 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Тип.им.В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического
объединения. 443099 Куйбышев, ул.Венцека,60.