

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

Методические указания к выполнению
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №6
«ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «РАДИОИЗМЕРЕНИЯ»
для студентов ДФО и ЗФО специальности – Радиотехника

Севастополь 2011

УДК 621.317.08(075.8)

Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование мостового измерителя параметров элементов электрических цепей» по дисциплине «Радиоизмерения» для студентов ДФО и ЗФО направления Радиотехника/Сост. И.Л. Ветров, — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. — 9 с.

Целью указаний является оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ. Излагаются основные теоретические сведения. Приводится описание лабораторных установок, программ и методик измерений, требования к содержанию отчет по лабораторным работам.

Указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения направления «Радиотехника».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций.

Протокол № _____ от _____ 2011г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Радиоизмерения»

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Зиборов С.Р.

Ответственный за выпуск: доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа «Исследование мостового измерителя параметров элементов электрических цепей»	3
1.1. Цель работы	3
1.2. Теоретические сведения	3
1.2.1. Параметры конденсаторов и катушек индуктивности.....	3
1.2.2. Мосты переменного тока.....	4
1.2.3. Измерение сопротивления.....	4
1.2.4. Измерение емкости	5
1.2.5. Измерение индуктивности	5
1.3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	6
1.3.1. Описание лабораторной установки	6
1.3.2. Методика измерения сопротивления на переменном токе.....	7
1.3.3. Методика измерения сопротивления на постоянном токе	7
1.3.4. Методика измерения емкости и $\text{tg}\delta$ конденсатора	7
1.3.5. Измерение активного сопротивления на постоянном токе	8
1.3.6. Измерение активного сопротивления на переменном токе.....	8
1.3.7. Измерение емкости и $\text{tg}\delta$ конденсаторов.	8
1.4. Содержание отчета.....	9
1.5. Контрольные вопросы	9

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»

1.1. Цель работы

Целью работы является изучение мостовых методов измерения параметров элементов электрических цепей и приобретение навыков работы с приборами, построенными на основе мостового метода измерения параметров элементов цепей.

1.2. Теоретические сведения

1.2.1. Параметры конденсаторов и катушек индуктивности

Резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности, предназначенные для реализации электрических цепей, кроме основных параметров, таких как сопротивление, емкость, индуктивность, характеризуются рядом дополнительных параметров. Так, выводы резисторов и конденсаторов обладают индуктивностью, которая проявляется на достаточно высоких частотах, а катушки индуктивности всегда обладают межвитковой емкостью. Поэтому, для более точного описания свойств реальных элементов цепей используют эквивалентные схемы замещения, учитывающие их основные и дополнительные параметры.

Собственная индуктивность и емкость постоянных пленочных резисторов малы, поэтому полное сопротивление резисторов вплоть до сотен мегагерц определяются активными сопротивлениями. Частотная зависимость появляется лишь на очень высоких частотах и обусловлена диэлектрическими потерями в каркасах резисторов. В постоянных проволочных резисторах собственную индуктивность сводят к минимуму специальными схемами намотки провода на каркас резистора. Для исключения влияния остаточной индуктивности измерение сопротивлений резисторов часто производят на постоянном токе или на низких частотах.

Основным параметром катушки индуктивности является собственная индуктивность L , а дополнительными (паразитными): сопротивление потерь r_L и собственная емкость C_L . На рис. 2.1, а изображена эквивалентная схема катушки индуктивности. Сопротивление потерь r_L обусловлено омическими потерями энергии в проводе, в экране и сердечнике катушки индуктивности. Собственная емкость катушки индуктивности C_L учитывает емкость между отдельными витками, между витками катушки и экраном и т.д. Катушки индуктивности часто характеризуют добротностью на частоте f , показывающей во сколько раз индуктивное сопротивление больше сопротивления потерь

$$Q_L = \frac{\omega L}{r_L}, \quad (2.1)$$

и собственной резонансной частотой

$$\omega_{0L} = \frac{1}{\sqrt{LC_L}}. \quad (2.2)$$

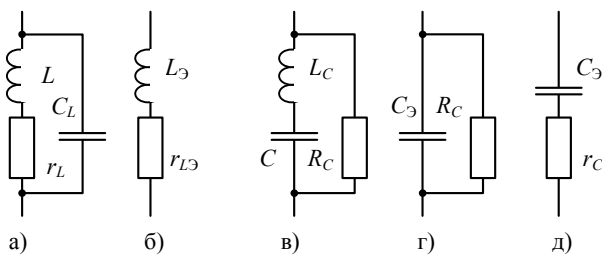


Рис. 2.1 — Эквивалентные схемы катушки индуктивности (а, б) и конденсатора (в, г, д)

Обычно катушки индуктивности применяют на частотах существенно ниже резонансной и используют упрощенную эквивалентную схему катушки индуктивности. Она включает эквивалентные индуктивность L_Σ и сопротивление потерь $r_{L\Sigma}$ (рис. 2.1, б). Большинство методов измерения дают значения именно эквивалентных параметров катушки индуктивности. Если рабочая частота катушки индуктивности менее $0,1 \omega_{0L}$, то с погрешностью менее 1 % можно считать, что $L_\Sigma = L$ и $r_{L\Sigma} = r_L$.

Эквивалентная схема конденсатора показана на рис. 2.1, в. Паразитными параметрами конденсаторов являются сопротивление R_C потерь, обусловленное диэлектрическими потерями, и индуктивность L_C выводов и обкладок конденсаторов. Конденсаторы характеризуют собственной резонансной частотой $\omega_{0C} = 1/\sqrt{LC}$. На частотах $\omega \ll \omega_{0C}$ конденсатор обычно представляют параллельной (рис. 2.1, г) или последовательной (рис. 2.1, д) эквивалентными схемами, параметры которых связаны следующими соотношениями:

$$C_\Sigma = \frac{C}{1 - \omega^2/\omega_{0C}^2}, \quad (2.3)$$

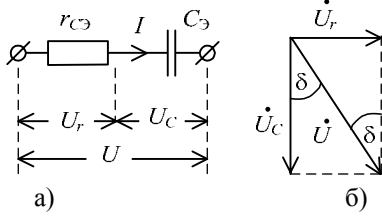


Рис. 2.2 — Схема замещения конденсатора (а) и векторная диаграмма напряжений (б)

$$r_C = \frac{1}{(\omega C)^2 R_C}. \quad (2.4)$$

На рис. 2.2 изображена схема замещения конденсатора векторная диаграммы напряжений для нее.

Качество конденсаторов характеризуют добротностью

$$Q_C = \frac{U_C}{U_r} = \frac{1}{\omega C r_C} \quad (2.5)$$

или тангенсом угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q_C} = \omega C r_C. \quad (2.6)$$

Параметры Q_C и $\operatorname{tg} \delta$ зависят от рабочей частоты и используются для оценки пригодности конденсатора для работы в требуемом частотном диапазоне.

1.2.2. Мосты переменного тока

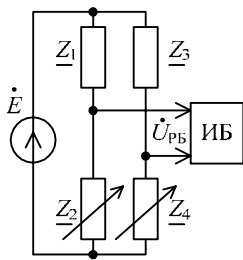


Рис. 2.3 — Эквивалентная схема моста переменного тока

Для измерения параметров резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов применяют мост переменного тока. На рис. 2.3 изображена эквивалентная схема моста переменного тока. Плечи моста образованы комплексными сопротивлениями. $Z_i = |Z_i| e^{j\Phi_i}$, где $|Z_i|$ — модуль i -того комплексного сопротивления; $\Phi_i = \arctg(X_i / R_i)$ — аргумент i -того комплексного сопротивления; R_i, X_i — действительная и мнимая части i -того комплексного сопротивления соответственно; $i = 1, 2, 3, 4$.

Мост питают переменным напряжением $\dot{E}$, которое подают на одну диагональ, а к другой диагонали моста подключают индикатор баланса ИБ. Обычно для питания моста используют низкочастотное напряжение, так как при этом влияние паразитных емкостей и индуктивностей мало сказывается на точности измерения. В качестве индикатора баланса применяют высокочувствительные индикаторы переменного напряжения.

Мост считается сбалансированным, если при $\dot{E} \neq 0$ напряжение разбаланса $\dot{U}_{PB}$, поступающее на индикатор баланса, равно нулю. Напряжение $\dot{U}_{PB}$ равно нулю при равенстве падений напряжений на комплексных сопротивлениях Z_1 и Z_3 или при равенстве падений напряжений на комплексных сопротивлениях Z_2 и Z_4 . Приравняв падения напряжений на Z_2 и Z_4 , получаем

$$\dot{E} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \dot{E} \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4}. \quad (2.7)$$

Преобразуя (2.7), находим условие баланса моста

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3. \quad (2.8)$$

Таким образом, если мост сбалансирован, то произведения комплексных сопротивлений противоположных плеч моста равны.

Как известно, комплексные числа равны, если равны их действительные и мнимые части. Поэтому из (2.7) и (2.8) следует:

$$\operatorname{Im}(Z_1 Z_3) = \operatorname{Im}(Z_2 Z_3); \quad (2.9)$$

$$\operatorname{Re}(Z_1 Z_3) = \operatorname{Re}(Z_2 Z_3). \quad (2.10)$$

Если в качестве сопротивления одного из плеч моста, например Z_1 , включить исследуемый элемент (катушку индуктивности, конденсатор, резистор), а в остальных плечах моста использовать элементы с известными параметрами, то формулы (2.9), (2.10) однозначно связывают параметры исследуемого элемента с известными параметрами остальных элементов моста.

Для балансировки моста обычно используют два переменных сопротивления Z_2 и Z_4 . Такую измерительную схему называют мостом с двойной регулировкой. Органы регулировки сопротивлений Z_2 и Z_4 снабжают шкалами, позволяющими отсчитывать значения параметров исследуемых элементов.

1.2.3. Измерение сопротивления

Мост для измерения активного сопротивления показан на рис. 2.4 [8]. Измеряемое сопротивление R_X образует одно из плеч моста, а сопротивления в остальных плечах моста известны. Балансируют мост переменным сопротив-

лением $R_{CЧ}$, добиваясь нулевых показаний индикатора баланса ($u_{РБ} = 0$).

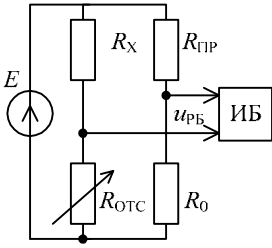


Рис. 2.4 — Мост для измерения сопротивления

Данный мост состоит только из активных сопротивлений, поэтому для его питания может быть использовано не только переменное, но и постоянное напряжение.

При балансе моста справедливо выражение (2.10), из которого следует $R_X R_0 = R_{ОТС} R_{ПР}$ или $R_X = R_{ОТС} R_{ПР} / R_0$. Таким образом, сопротивление $R_{ОТС}$ пропорционально сопротивлению R_X , поэтому при известных $R_{ПР}$ и R_0 шкалу $R_{ОТС}$ можно проградуировать в значениях R_X . Сопротивление $R_{ОТС}$ называют отсчетным сопротивлением, а $R_{ПР}$ называют предельным сопротивлением, поскольку изменением $R_{ПР}$ можно изменять пределы измерения величины R_X .

1.2.4. Измерение емкости

Обычно конденсатор представляют схемой замещения, показанной на рис. 2.2, и применяют мост с двойной регулировкой, изображенный на рис. 2.5 [8].

Плечи моста содержат два регулируемых сопротивления R_0 и $R_{ОТС}$, последовательным изменением которых добиваются баланса моста ($u_{РБ} = 0$). В соответствии с (2.8), условие баланса моста, представленное в комплексной форме, имеет вид

$$\left(r_C + \frac{1}{j\omega C_Э} \right) R_{ОТС} = \left(R_0 + \frac{1}{j\omega C_0} \right) R_{ПР},$$

где ω — круговая частота напряжения питания моста.

Приравнявая мнимые и действительные части выражения, получаем: $R_{ОТС} r_C = R_0 R_{ПР}$; $R_{ОТС} C_0 = R_{ПР} C_Э$. Выразим измеряемые величины через известные параметры моста:

$$C_Э = R_{ОТС} \frac{C_0}{R_{ПР}}; \quad (2.11)$$

$$r_C = R_0 \frac{R_{ПР}}{R_{ОТС}}. \quad (2.12)$$

Сопротивление $R_{ПР}$ называют предельным, поскольку изменением $R_{ПР}$ можно изменять пределы измерения величин $C_Э$ и r_C .

Из выражения (2.11) следует, что при фиксированных значениях C_0 и $R_{ПР}$ переменное сопротивление $R_{ОТС}$ пропорционально емкости $C_Э$. Поэтому в измерительных приборах переменное сопротивление $R_{ОТС}$ снабжают шкалой проградуированной в значениях $C_Э$.

С помощью рассматриваемого моста можно измерить тангенс угла потерь конденсатора. В соответствии с (2.6), (2.11) и (2.12) находим

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q_C} = \omega C_0 R_0. \quad (2.13)$$

Как следует из (2.13), в случае постоянных ω и C_0 переменное сопротивление R_0 пропорционально значению тангенса угла потерь конденсатора, поэтому переменное сопротивление R_0 снабжают шкалой проградуированной в значениях $\operatorname{tg} \delta$.

1.2.5. Измерение индуктивности

На рис. 2.6 показана схема моста для измерения индуктивности [8]. В соответствии с (2.8) условие равновесия моста представим в виде

$$R_{ОТС} \cdot R_{ПР} = \frac{(r_{LЭ} + j\omega L_Э) \cdot \frac{R_0}{j\omega C_0}}{\left(\frac{1}{j\omega C_0} + R_0 \right)}.$$

После преобразований получаем следующее выражение

$$R_{ОТС} R_{ПР} + j\omega C_0 R_0 R_{ОТС} R_{ПР} = R_0 r_{LЭ} + j\omega L_Э R_0.$$

Приравнявая мнимые и действительные части выражения, находим:

$$L_Э = C_0 R_{ОТС} R_{ПР}; \quad (2.14)$$

$$r_{L\Omega} = \frac{R_{\text{ОТС}} R_{\text{ПР}}}{R_0}. \quad (2.15)$$

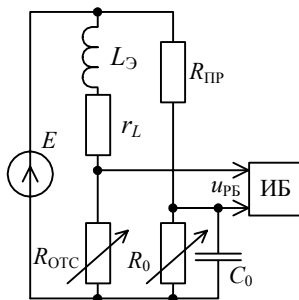


Рис. 2.6 — Мост для измерения индуктивности

Из выражения (2.14) следует, что при фиксированных значениях C_0 и $R_{\text{ПР}}$ переменное сопротивление $R_{\text{ОТС}}$ можно проградуировать в значениях индуктивности L_{Ω} .

При помощи рассмотренного моста также можно измерить добротность катушки индуктивности. Используя выражения (2.1), (2.14) и (2.15), получаем

$$Q = \omega C_0 R_0,$$

т. е. при фиксированных значениях C_0 и ω переменное сопротивление R_0 можно проградуировать в значениях добротности Q .

Основная погрешность измерения при использовании мостовых схем включает в себя: погрешность значений параметров образцовых элементов моста; погрешность, обусловленную неточностью балансировки моста, которая определяется чувствительностью индикатора; погрешность, обусловленную паразитным сопротивлением, емкостью и индуктивностью соединительных проводов и переходных сопротивлений контактов, а также паразитными связями между элементами моста. Четырехплечные мосты применяются как на постоянном токе, так и на переменном токе вплоть до 400 МГц.

1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1.3.1. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает измеритель L, C, R универсальный Е7-11 и набор исследуемых элементов, состоящий из резисторов и конденсаторов.

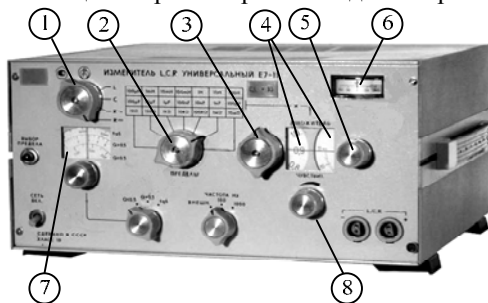


Рис. 2.7 — Внешний вид прибора Е7-11

На рис. 2.7 показан внешний вид прибора Е7-11. Он построен на основе моста с двойной регулировкой и предназначен для измерения, индуктивности, емкости и сопротивления. Основные органы управления прибором расположены на передней панели (рис. 2.7): 1 — переключатель измеряемой величины; 2 — переключатель пределов измерения; 3 — переключатель значения множителя; 4 — шкалы отсчетного устройства L, C, R ; 5 — ручка плавной регулировки значения множителя; 6 — индикатор баланса; 7 — отсчетное устройство тангенса угла потерь; 8 — регулятор чувствительности индикатора баланса.

Переключателем измеряемой величины выбирают тип моста для измерения величин L , C или R .

Переключателем пределов изменяют значение сопротивления $R_{\text{ПР}}$ (см. рисунки 2.4 ... 2.6) в одном из плеч моста. Ступенчатым переключателем и ручкой плавной регулировки значения множителя изменяют сопротивление $R_{\text{ОТС}}$ в другом плече моста. Отсчет значения измеряемого параметра производят по шкалам отсчетного устройства, соединенного с органами регулировки значения множителя.

Упрощенная структурная схема Е7-11 показана рис. 2.8.

Источник напряжения, вырабатывающий переменные напряжения частотой 100 Гц, 1000 Гц и постоянное напряжение, служит для питания измерительной мостовой схемы. Выбор напряжения питания мостовой схемы производится с помощью переключателя S_1 . При измерении индуктивности, емкости и сопротивления используется переменное напряжение питания $u_{\sim}$. Постоянное напряжение питания $U_{\sim}$ используется только для измерения сопротивления.

Мостовая схема позволяет получить варианты моста для измерения величин L, C, R , а также тангенса угла потерь и добротности катушек индуктивности и конденсаторов. С мостовой схемы напряжение разбаланса моста $u_{\text{РБ}}$ поступает на усилитель постоянного тока УПТ и усиливается в $k_{\text{УПТ}}$ раз.

В режиме измерения сопротивления на постоянном токе (переключатель S_2 находится в положении $R_{\sim}$) индикатор баланса подключен к выходу

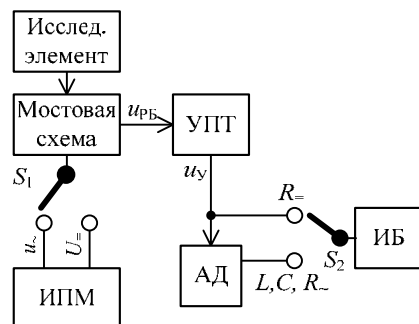


Рис. 2.8 — Упрощенная структурная схема прибора Е7-11

УПТ и индицирует усиленное напряжение разбаланса.

В режиме измерения $L, C, R_{\sim}$ мостовая схема питается переменным напряжением и, следовательно, $u_{\text{РБ}}$ тоже является переменным напряжением. Поэтому переключателем S_2 индикатор баланса подключается к выходу амплитудного детектора АД, который преобразует переменное напряжение в постоянное. Напряжение, поступающее на индикатор баланса, является однополярным и стрелка индикатора баланса отклоняется только в одну сторону в зави-

симости от модуля напряжения $u_{РБ}$.

Поскольку напряжение на индикаторе баланса пропорционально $k_{УПТ}$, то регулировка $k_{УПТ}$ равнозначна регулировке чувствительности индикатора баланса. Чем больше $k_{УПТ}$, тем выше чувствительность индикатора баланса и тем меньше погрешность измерений.

Переключатель «ПРЕДЕЛЫ» изменяет значение предельного сопротивления $R_{ПР}$ (см. рис. 6.4 ... рис. 6.5) и, тем самым, изменяет пределы измерения индуктивности, емкости или сопротивления. Значения пределов измерения, соответствующие положениям переключателя, указаны на передней панели Е7-11.

Сопротивление $R_{ОТС}$, образующее одно из плеч мостовой схемы (см. рис. 6.4 ... рис. 6.5), снабжено органами регулировки и двумя шкалами, образующими отсчетное устройство «МНОЖИТЕЛЬ». Показания одной шкалы изменяются ступенчато, другой — плавно. Шкалы позволяют произвести считывание значения множителя, которое необходимо умножить на установленный предел измерения. На рис. 2.7 показаны шкалы отсчетного устройства «МНОЖИТЕЛЬ». Показание, изображенное на рис. 2.7, а, должно быть прочитано как 0,275.

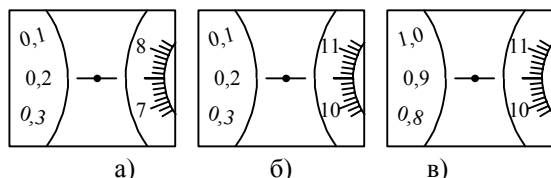


Рис. 2.7 — Пример показания отсчетного устройства прибора Е7-11

Если показание на плавной шкале больше или равно 10, то это означает, что единица должна быть перенесена (добавлена) в предыдущий разряд отсчета, то есть отсчет, изображенный на рис. 2.7, б, следует прочесть как 0,305. Аналогично, отсчет, представленный на рис. 2.7, в, соответствует значению 1,005.

1.3.2. Методика измерения сопротивления на переменном токе

1.3.2.1. Переключатель «ИЗМЕРЕНИЕ» на задней панели прибора во всех режимах измерения должен находиться в нижнем положении, а ручка « $U_{ГЕН}$ » — должна занимать крайнее правое положение.

1.3.2.2. Переключатель вида измерений « L , C , $R \sim$, R_{-} » установите в положение « $R \sim$ »

1.3.2.3. Переключателем частоты измерения « F , Hz » установите частоту, на которой будут проводиться измерения. При установке переключателя в положение «100» загорается сигнальная лампочка « C , $L \times 10$ ».

1.3.2.4. Присоедините исследуемый резистор к зажимам соединительного кабеля.

1.3.2.5. Переключатель «ПРЕДЕЛЫ» поставьте в крайнее левое положение.

1.3.2.6. Ручки регулировки отсчетного устройства «МНОЖИТЕЛЬ» установите на отметку «1,00».

1.3.2.7. Ручку регулировки чувствительности индикатора баланса « Δ » установите в крайнее правое положение, соответствующее максимальной чувствительности индикатора.

1.3.2.8. Произведите выбор нужного предела измерения. Для этого вращением по часовой стрелке ручки «ПРЕДЕЛЫ» изменяйте установленный предел до тех пор, пока знак разбаланса на индикаторе баланса не изменится.

1.3.2.9. Добейтесь равновесия моста, вращая ручки регулировки отсчетного устройства «МНОЖИТЕЛЬ». Измеренная величина сопротивления равна произведению отсчета по шкалам «МНОЖИТЕЛЬ» на значение сопротивления, соответствующее выбранному пределу и указанное в таблице на передней панели прибора.

Например:

Пусть отсчет по шкалам «МНОЖИТЕЛЬ» — 0,127 на пределе измерения 3. По таблице, приведенной на передней панели прибора, пределу 3 соответствует значение 1 кОм. Следовательно, измеренная величина сопротивления резистора будет $R = 0,127 \times 1 \text{ кОм} = 127 \text{ Ом}$.

1.3.3. Методика измерения сопротивления на постоянном токе

1.3.3.1. Переключатель вида измерений « L , C , $R \sim$, R_{-} » установите в положение « R_{-} ».

1.3.3.2. Присоедините измеряемое сопротивление к зажимам соединительного кабеля.

1.3.3.3. Произведите измерения в соответствии с п. п. 6.3.2.5 — 6.3.2.9.

1.3.4. Методика измерения емкости и $\text{tg} \delta$ конденсатора

1.3.4.1. Присоедините исследуемый конденсатор к зажимам соединительного кабеля прибора.

1.3.4.2. Установите переключатель вида измерений « L , C , $R \sim$, R_{-} » в положение « C ».

1.3.4.3. Переключателем частоты измерения « F , Hz » установите частоту, на которой будут проводиться измерения.

1.3.4.4. Переключатель « $Q < 0,5$ — $Q > 0,5$ — $\text{tg} \delta$ » установите в положение « $\text{tg} \delta$ ».

1.3.4.5. Показание шкалы регулятора « $\text{tg} \delta$ » установите равным нулю.

1.3.4.6. Установите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в крайнее правое положение (7-ой предел);

1.3.4.7. Установите ручку регулировки чувствительности индикатора « Δ » в крайнее левое положение.

1.3.4.8. Ручки регулировки отсчетного устройства «МНОЖИТЕЛЬ» установите на отметку 1,00.

1.3.4.9. Выберите нужный предел измерения. Для этого нажмите кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛОВ» и вращением ручки «ПРЕДЕЛЫ» изменяйте пределы до тех пор, пока знак показаний индикатора баланса не изменится.

1.3.4.10. Отпустив кнопку «ВЫБОР», сбалансируйте мост. Для этого уменьшайте показания шкалы переключателя «МНОЖИТЕЛЬ» до получения минимума показаний индикатора баланса. Затем, вращая плавно шкалу «МНОЖИТЕЛЬ», найдите положение, при котором показание индикатора баланса станет еще меньше.

Если вращение плавной шкалы не изменяет показаний индикатора, то перейдите к уравниванию моста с помощью регулировки « $\text{tg}\delta$ ». Найдя минимум, вновь возвратитесь к уравниванию моста ручками регулировки «МНОЖИТЕЛЬ». Регулировку повторяют при постепенном увеличении чувствительности индикатора. Достигнув минимума при максимальной чувствительности индикатора баланса, произведите отсчет результата измерения. Измеренная емкость конденсатора равна отсчету по шкале «МНОЖИТЕЛЬ», умноженному на значение емкости, указанное в таблице, расположенной на передней панели для соответствующего положения переключателя «ПРЕДЕЛЫ».

Измеренное значение тангенса угла потерь отсчитывают по шкале « $\text{tg}\delta$ ».

1.3.5. Измерение активного сопротивления на постоянном токе

1.3.5.1. Ознакомьтесь с конструкцией универсального моста Е7-11.

1.3.5.2. В соответствии с п. 2.3.3 проведите измерения сопротивлений трех резисторов на постоянном токе.

1.3.5.3. Номинальное значение R_H и результаты измерения $R_{И}$ сопротивления резистора занесите в таблицу

2.1. Номинальное сопротивление резистора указано в виде буквенно-цифровой или цветовой маркировки на корпусе резистора.

Таблица 2.1 — Результаты измерения сопротивления резисторов

Измеряемый резистор	R_H	Постоянный ток			Переменный ток		
		$R_{И}$	ΔR	δ_R	$R_{И}$	ΔR	δ_R
R_1							
R_2							
R_3							

1.3.5.4. Рассчитайте абсолютную ΔR и относительную δ_R погрешности номинальных значений сопротивлений резисторов:

$$\Delta R = R_H - R_{И}, \quad \delta_R = \frac{R_H - R_{И}}{R_{И}} 100\%.$$

1.3.5.5. Результаты расчетов занесите в таблицу 2.1.

1.3.6. Измерение активного сопротивления на переменном токе

1.3.6.1. В соответствии п. 2.3.2 произведите измерение сопротивлений трех резисторов на переменном токе частоты 1000 Гц.

1.3.6.2. Результаты измерения сведите в таблицу 2.1.

1.3.6.3. Рассчитайте абсолютные и относительные погрешности номинальных значений сопротивлений резисторов аналогично п. 2.3.5.4.

1.3.6.4. Результаты расчетов занесите в таблицу 2.1.

1.3.6.5. Сравните значения сопротивлений на постоянном и переменном токе. В выводах по работе объясните, почему с увеличением R_H увеличивается отличие результатов измерения на постоянном от результатов измерения на переменном токе.

1.3.7. Измерение емкости и $\text{tg}\delta$ конденсаторов.

1.3.7.1. В соответствии п. 2.3.4 измерьте емкость $C_{И}$ и $\text{tg}\delta$ конденсаторов различных типов.

1.3.7.2. Номинальное значение емкости C_H конденсатора и измеренные значения $C_{И}$ и $\text{tg}\delta$ занесите в соответствующие графы таблицы 2.2.

Таблица 2.2 — Результаты измерения параметров конденсаторов

Тип конденсатора			
C_H			
$C_{И}$			
ΔC			
δ_C			
$\text{tg}\delta$			

1.3.7.3. Рассчитайте и занесите в таблицу 2.2 абсолютную ΔC и относительную δ_C погрешность номинальных значений емкостей конденсаторов:

$$\Delta C = C_H - C_{И}, \quad \delta_C = \frac{C_H - C_{И}}{C_{И}} 100\%.$$

1.3.7.4. Сравните измеренные значения $\operatorname{tg} \delta$ конденсаторов различных типов и сделайте заключение о качестве диэлектриков. Результаты заключения отразите в выводах по работе.

1.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- структурную схему универсального моста Е7-11;
- упрощенные принципиальные схемы мостов для измерения сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, индуктивностей катушек, входящих в состав моста Е7-11;
- таблицы результатов измерений и расчетов;
- выводы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Поясните принцип измерения полного сопротивления методом моста.
2. Сформулируйте условие баланса моста переменного тока в математической форме.
3. Дайте определение добротности конденсатора и поясните ее зависимость от частоты.
3. Дайте определение добротности катушки индуктивности и поясните ее зависимость от частоты.
4. Что такое тангенс угла потерь конденсатора?
5. Приведите схемы замещения конденсатора.
6. Назовите причины потери электрической энергии в конденсаторе.
7. Приведите схемы замещения катушки индуктивности.
8. Назовите причины потери электрической энергии в катушке индуктивности?
9. Из каких функциональных узлов состоит универсальный измерительный мост Е7-11?
10. Какие операции необходимо выполнить при измерениях активного сопротивления с помощью моста Е7-11?
11. Какие операции необходимо выполнить при измерениях емкости и тангенса угла потерь конденсатора с помощью моста Е7-11?
12. Почему при измерении индуктивности и емкости необходимо пользоваться двумя органами настройки моста, а при измерении активного сопротивления — одним?

Литература по теме лабораторной работы: [1, с. 303 — 309], [3, с. 308 — 311], [4, с. 186 — 199] [5, с. 187 — 197], [6, с. 357 — 361], [7, с. 280 — 284]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения/В.Д. Кукуш. — М.: Радио и связь, 1985.— 368 с.
2. Кушнир Ф.В. Измерения в технике связи / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, С.М. Верник. — М.: Высш. шк., 1976. — 432 с.
3. Мирский Г.Я. Электронные измерения / Г.Я. Мирский. — М.: Радио и связь, 1986 — 440 с.
4. Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; Под ред. Е.М. Душина. — 6 изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1987. — 480 с.
5. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.
6. Нефедов В.И. Метрология и радиоизмерения / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков. — М.: Высш. шк., 2006. — 526 с.
7. Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения. Учебное пособие для вузов / Б. В. Дворяшин. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
8. Измеритель L , C , R универсальный Е7-11. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / НИИРИТ. — Каунас: НИИРИТ, 1980. — 97 с.