

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра промышленной электроники и информационно-измерительной техники

Е.А. Корнев, О.В. Худорожков

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УНИВЕРСАЛЬНЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ МОСТОМ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Оренбург
2019

УДК 621.317.33
ББК 32.842-5
К672

Рецензент – профессор, доктор технических наук, профессор В.Н. Булатов

Корнев, Е.А.

К672 Измерение параметров пассивных элементов универсальным измерительным мостом : методические указания / Е.А. Корнев, О.В. Худорожков; Оренбургский гос.ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019.- 13 с.

В методических указаниях изложены цели, задачи и методика проведения лабораторной работы в части измерения параметров пассивных элементов универсальным измерительным мостом.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» для обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

УДК 621.317.33
ББК 32.842-5

© Корнев Е.А.,
© Худорожков О.В., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

1 Цели и задачи работы	4
2 Принцип действия мостовых схем	4
3 Задание на выполнение лабораторной работы.....	10
4 Содержание отчета.....	11
5 Контрольные вопросы к защите отчета по лабораторной работе	12
Список использованных источников	13

1 Цели и задачи работы

Цель работы: измерение параметров конденсаторов и индуктивностей универсальным мостом.

Задачи работы:

- изучение принципа построения мостовых схем для измерения параметров конденсаторов и индуктивностей;
- освоение органов управления универсального моста;
- измерение емкости и тангенса угла потерь конденсаторов;
- измерение индуктивности, добротности и собственной емкости катушек индуктивности.

Выполнению данной работы должна предшествовать предварительная подготовка, состоящая в следующем:

а) изучение теоретического материала в объеме материала лекций и теоретического введения, содержащего: принципы построения мостовых схем; модели конденсаторов и катушек индуктивностей; параметры элементов конденсаторов и катушек индуктивностей;

б) выполнение указаний раздела 3.

2 Принцип действия мостовых схем

В приборах измерения параметров элементов цепей методом сравнения применяют мостовые схемы [2,3]. На основе мостовых методов строят приборы, предназначенные для измерения какой-либо одной величины, так и универсальные приборы. Измеряемую величину (сопротивление, индуктивность, емкость) сравнивают с образцовой мерой при помощи мостовой схемы автоматически или вручную на переменном или постоянном токе. Мостовые схемы обладают высокой точностью, широким диапазоном измеряемых значений параметров элементов.

Существует несколько модификаций мостовых схем для измерения значений R, L, C электрорадиоэлементов. В зависимости от вида мостовых схем количество входящих в ее состав ветвей (плеч) мосты можно разделить на: четырехплечие, многоплечие, Т-образные и другие. Наиболее распространенные являются четырехплечие (одинарные) мосты. Т-образные мосты обычно применяют для измерения параметров электрических цепей на высоких и сверхвысоких частотах. Напряжение на диагонали (ток в диагонали) электронного индикатора в зависимости от соотношения между параметрами мостовой схемы может присутствовать или отсутствовать, в результате чего мосты делятся на неуравновешенные (есть ток) и уравновешенные (нет тока). В состав мостовой схемы входят элементы для измерения параметров, дополнительные элементы и переменные образцовые меры.

Рассмотрим принцип действия четырехплечего (одинарного) моста. Схема одинарного моста, представленная на рисунке 1, содержит в общем случае 4 плеча (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) комплексного характера, источник питания постоянного или переменного тока (U), электронный ноль-индикатор (ЭИ).

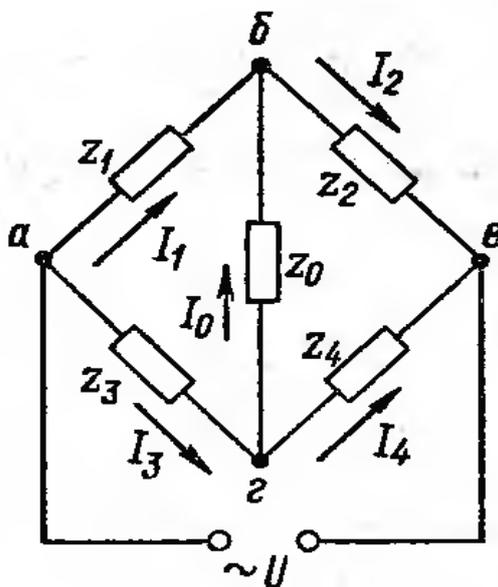


Рисунок 1– Структурная схема моста

Ток через ноль-индикатор с внутренним сопротивлением Z_0 будет равен

$$I_0 = (Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3) / [Z_0 (Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4) + Z_1 Z_2 (Z_3 + Z_4) + Z_3 Z_4 (Z_1 + Z_2)] \quad (1)$$

Сопротивления ветвей моста переменного напряжения Z_i в общем случае имеют комплексный характер:

$$Z_i = |Z_i| e^{j\varphi_i}$$

где $|Z_i|$ – модули комплексных сопротивлений ветвей, $i=1,2,3,4$.

φ_i – соответствующие фазы.

Если сопротивления таковы, что точки б и г имеют равные потенциалы, то ток через ноль-индикатор с внутренним сопротивлением Z_0 отсутствует; в этом случае говорят, что достигается первое условие равновесия моста, когда модули сопротивлений в числителе исходного уравнения (1) связаны выражением

$$|Z_1| \cdot |Z_4| = |Z_2| \cdot |Z_3|.$$

Если $|Z_1|$ измеряемое сопротивление, то его значение можно определить из условия равновесия

$$|Z_1| = |Z_2| \cdot |Z_3| / |Z_4|.$$

Отсюда следует, что равновесие не зависит от сопротивления ноль-индикатора, т.к. ток не течет через него, а также от напряжения и внутреннего сопротивления источника напряжения. Таким образом, не требуется высокостабильный источник питания.

В рассматриваемом случае, когда $|Z_1|$ является измеряемым сопротивлением, $|Z_3|$ называют плечом сравнения, а $|Z_2|$ и $|Z_4|$ – плечами отношения. Величина отношения $|Z_2|/|Z_4|$ – определяет диапазон измеряемого параметра элемента. Чтобы охватить широкий диапазон известных сопротивлений, мосты снабжают переключателем, которые изменяют отношение сопротивлений Z_2 и Z_4 больше, чем на порядок.

Кроме условия (1) должно выполняться второе условие баланса моста

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \quad (2)$$

Когда равновесие моста определяется выражениями приведенными выражениями, то мост переменного тока нуждается в регулировке двух независимых параметров, чтобы обеспечить равновесие модулей и фазовых углов.

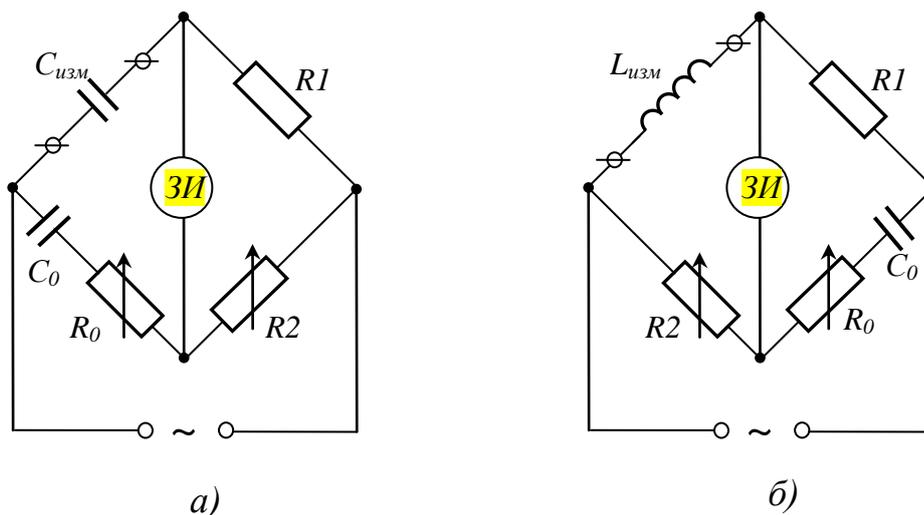
Чувствительность моста является очень важным параметром и определяется, как минимальное относительное изменение измеряемого параметра элемента, которое нарушает баланс схемы и вызывает отклонение показаний индикатора. Приблизительно чувствительность моста определяется как отношение конечных приращений показаний индикатора (выходной величины Δy) и измеряемой величины (входная величина Δx) вблизи равновесия

$$S \approx \Delta y / \Delta x$$

Расчеты показывают, что чувствительность мостовой схемы зависит не только от чувствительности индикатора, но и от сопротивлений плеч. Для обеспечения высокой чувствительности сопротивления плеч целесообразно выбирать попарно равными ($Z_2 = Z_4$ и $Z_1 = Z_3$). Часто используют равноплечий мост, когда $Z_2 = Z_4 = Z_1 = Z_3$.

Основная погрешность измерения параметров элементов мостовой схемой определяется погрешностью образцовых элементов моста, его чувствительностью и числом декад изменения образцовой меры, используемой в плече сравнения. Дополнительная погрешность возникает в основном из-за температурных воздействий на элементы моста, за счет изменения сопротивлений контактов и паразитных сопротивлений соединительных проводов.

Мостовая схема для измерения емкости (рисунок 2, а) позволяет сравнить измеряемую емкость $C_{изм}$ с емкостью, образцового конденсатора C_0 , включенного в плечо сравнения. Для уравнивания мостовой схемы изменяют сопротивление резистора R_2 в плече отношения, добиваясь нулевых показаний электронного индикатора ЭИ.



а) емкости; б) индуктивности.

Рисунок 2– Мостовые схемы измерений

Значение измеряемой емкости конденсатора определяется из выражения

$$C_{изм} = C_0 R_2 / R_1.$$

Для компенсации потерь конденсатора подбирают сопротивление резистора R_0 , шкала которого проградуирована в значениях тангенса угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta = 1 / Q_c,$$

где Q_c - добротность конденсатора.

Мостовая схема для измерения индуктивности составлена аналогично, но для ее уравнивания образцовый конденсатор C_0 следует включить в противоположное плечо, как показано на рисунке 2, б. Для точного равновесия схемы поочередно изменяют сопротивления резисторов R_2 и R_0 . Измеряемая индуктивность равна

$$L_{изм} = C_0 R_2 R_1.$$

По шкале резистора R_0 отсчитывают добротность катушки Q_L .

В качестве примера на рисунке 3 показана одна из измерительных схем универсального моста в режиме измерения индуктивности.

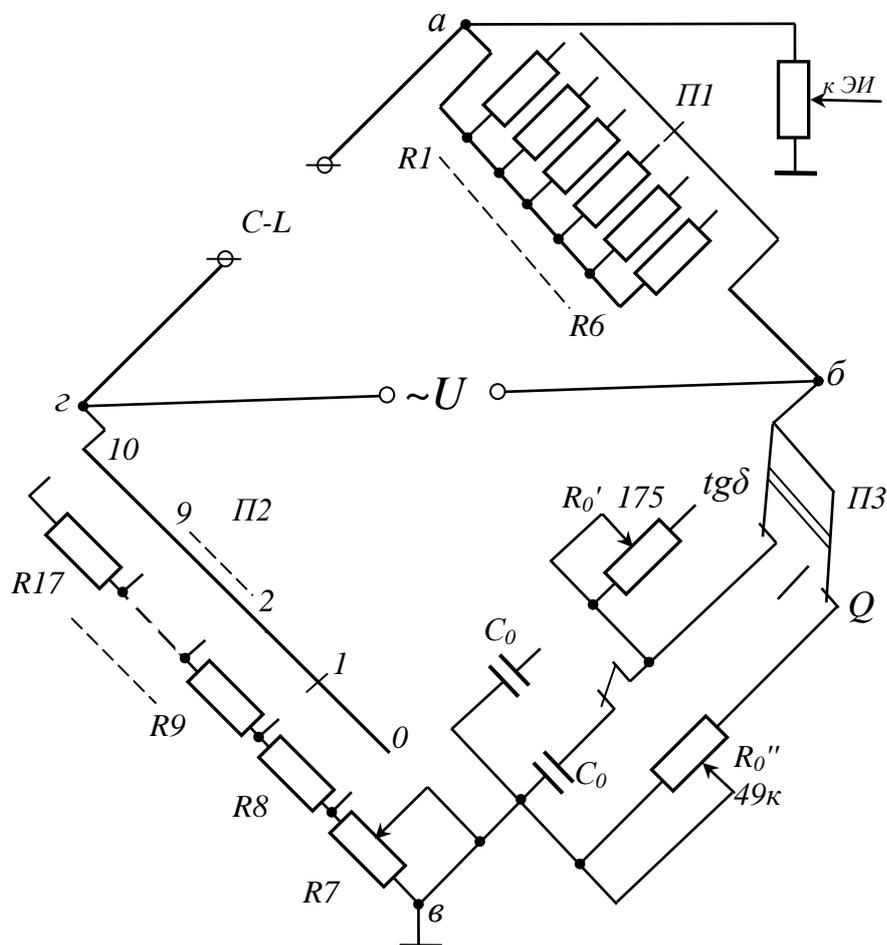


Рисунок 3 – Измерительная схема универсального моста в режиме измерения индуктивности

Объект измерения подключают к зажимам «C-L» в плече $a-г$. В образцовое плечо $б-в$ включен образцовый конденсатор $C_0=0,1$ мкФ при питании схемы током частотой 1000 Гц или образцовый конденсатор $C_0=1$ мкФ при питании током частотой 100 Гц. Во втором случае загорается транспарант «LC×10» и полученный результат следует увеличить в 10 раз. В положении «Q» переключателя ПЗ образцовый переменный резистор $R_0'' = 49$ кОм включен параллельно образцовому конденсатору, а в положении «tg δ» образцовый переменный резистор $R_0' = 175$ Ом

включен последовательно образцовому конденсатору. Оба резистора имеют общую ось, на которой укреплен диск со шкалой, проградуированной в значениях Q и $tg \delta$

При регулировке равновесия мостовой схемы переключатель P_2 устанавливают в положение 0, а переменный резистор R_7 в произвольное положение, кроме нулевого. Вводят невысокую чувствительность и, переключая пределы измерений, находят положение, при котором показания индикатора будут наиболее близки к нулевой отметке. Регулируя сопротивление резистора R_7 , добиваются минимальных показаний.

Повысить точность измерений можно, если увеличить в 10 раз показание отсчетного плеча, уменьшить в 10 раз предел измерений и точно отрегулировать сопротивления резисторов R_7 и R_0 , добиваясь минимальных показаний электронного индикатора ЭИ.

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Используя техническое описание и инструкцию по эксплуатации, ознакомьтесь с передней панелью и органами управления универсального моста и изучите их действие по измерительным мостовым схемам, подобным схеме, приведенной на рисунке 3.

3.2 Измерьте емкость и тангенс угла потерь нескольких конденсаторов, для чего подключите первый из них к зажимам «С-Л», и переключите мостовую схему в режим измерения емкости. Далее следуйте методике, изложенной в техническом описании и инструкции по эксплуатации моста.

Результаты измерений емкости и тангенса угла потерь нескольких конденсаторов запишите в таблицу 1.

3.3 Измерьте индуктивность и добротность нескольких катушек индуктивности с сердечниками и без них, для чего подключите ее к зажимам «С-Л» и переключите мостовую схему в режим измерения индуктивности. Далее следуйте также методике, изложенной в техническом описании и инструкции по

эксплуатации моста. Запишите результаты измерений индуктивности и добротности в таблицу 2.

3.4 Проведите оценку абсолютных погрешностей измерений емкости конденсаторов и индуктивностей катушек, используя методику однократных измерений и паспортные метрологические параметры и характеристики используемого моста. Запишите результаты оценки погрешностей измерений в таблицы 1, 2.

Таблица 1 – Результаты измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов мостовым методом

Объект измерения	Номинальная емкость и допуск	Отсчет по шкалам			$C_{изм} \pm \Delta C$	$tg \delta \pm \Delta tg \delta$
		Резистора	Переключателей			
			2	1		
Конденсатор 1						
Конденсатор 2						
Конденсатор 3						

Таблица 2 – Результаты измерения индуктивности и добротности катушек мостовым методом

Объект измерения	Положение сердечника	Отсчет по шкалам			$L_{изм} \pm \Delta L$	$Q \pm \Delta Q$
		Резистора R	переключателей			
			2	1		
Катушка 1	Вывернут					
	Ввернут					
Катушка 2						

4 Содержание отчета

4.1 Тема и цель лабораторной работы.

4.2 Результаты выполненного индивидуального задания.

4.3 Вывод.

5 Контрольные вопросы к защите отчета по лабораторной работе

5.1 Почему измеряемый и образцовый конденсаторы следует включать в соседние плечи, а измерительную катушку и образцовый конденсатор – в противоположные?

5.2 Почему чувствительность электронного индикатора и напряжения питания должны быть невелики и возрасти по мере приближения к равновесию?

5.3 Определите наименьшую и наибольшую измеряемые универсальным мостом емкости и покажите установку органов управления.

5.4 Определите наименьшую и наибольшую измеряемые универсальным мостом индуктивности и покажите установку органов управления.

5.5 Почему при измерении высокодобротных элементов образцовый резистор $R_0=175$ Ом включают последовательно образцовому конденсатору, а при измерении малодобротных элементов образцовый резистор $R_0=49$ кОм включают последовательно образцовому конденсатору?

Список использованных источников

1 Шпаков, П. С. Математическая обработка результатов измерений / Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. - Краснояр.: СФУ, 2014. - 410 с.: ISBN 978-5-7638-3077-4 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/550266>

2 Метрология и радиоизмерения: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Радиотехника" / В. И. Нефедов [и др.] ; под ред. В. И. Нефедова.- 2-е изд., перераб. - Москва: Высш. шк., 2006. - 526 с. : ил.. - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 514. - Предм. указ.: с. 515. - ISBN 5-06-004427-0.

3 Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - М.: Высш. шк., 2001. - 205 с.: ил - ISBN 5-06-003796-7.

4 Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для академического бакалавриата: учебник для студентов высших учебных заведений обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе . - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2015.

5 Третьяк, Л. Н. Основы теории и практики обработки экспериментальных данных: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / Л. Н. Третьяк, А. Л. Воробьев; под общ. ред Л. Н. Третьяк.- 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2017. - 218 с. : ил.; 16,82 печ. л. - (Университеты России). - На тит. л.: Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru. - Библиогр.: с. 198. - Прил.: с. 199-211. - Предм. указ.: с. 212-217. - ISBN 978-5-534-04914-5.