

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Отчет по лабораторной работе № 1 по дисциплине
«Метрология и технические измерения»

Выполнил:

студент гр. 1В1:

_____ Шульга А.Д

_____ Куртуков П.М

_____ Шуцько Д.Д.

«__»_____ 2023 г.

Проверил:

доцент каф. КСУП, к.т.н.

_____ В. Ф. Отчалко

«__»_____ 2023 г.

Томск 2023 г.

1 Цель работы

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

2 Результаты эксперимента

2.1 Измерение индуктивности катушки прибором Е9-4 методом непосредственного отсчета

Измерил индуктивность катушки методом непосредственного отсчета прибором Е9-4 на частоте $f = 2400 \text{ кГц}$. Она оказалась равным: $L_{изм} = 58 \text{ мкГн}$.

Измерил емкость конденсатора: $C_{изм} = 78 \text{ пФ}$.

Вычислим индуктивность $L_{св.}$, свободную от методической погрешности по формуле (2.1):

$$L_{св.} = L_{0i} = L_i \frac{C_i}{C_i + C_0}, \quad (2.1)$$

где C_0 - собственная емкость катушки, пФ;

L_i - найденное значение индуктивности, мкГн;

C_i - значение образцовой емкости при настройке в резонанс, пФ.

Для вычисления собственной емкости катушки индуктивности используется соотношение:

$$C_0 = \frac{C_1 - C_2 \cdot \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2}{\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 - 1}, \quad (2.2)$$

где C_1 и C_2 - значения емкости контура куметра, взятые из данных;

f_1 и f_2 - значения частот, соответствующих C_1 и C_2 , МГц.

За истинное значение собственной емкости катушки возьмем среднее арифметическое значение для трех разных случаев:

$$1) C_1 = 25 \text{ пФ}, C_2 = 450 \text{ пФ};$$

$$C_{01} = \frac{25 - 450 \cdot \left(\frac{915}{3400}\right)^2}{\left(\frac{915}{3400}\right)^2 - 1} = 8,2 \text{ нФ}$$

2) $C_1 = 50 \text{ пФ}, C_2 = 425 \text{ пФ};$

$$C_{02} = \frac{50 - 425 \cdot \left(\frac{941}{2586}\right)^2}{\left(\frac{941}{2586}\right)^2 - 1} = 7,2 \text{ нФ}$$

3) $C_1 = 75 \text{ пФ}, C_2 = 400 \text{ пФ};$

$$C_{03} = \frac{75 - 400 \cdot \left(\frac{967}{2134}\right)^2}{\left(\frac{967}{2134}\right)^2 - 1} = 8,97 \text{ нФ}$$

$$C_0 = \frac{8,2 + 7,2 + 8,97}{3} = 8,13 \text{ нФ}$$

По формуле (2.1) вычислим индуктивность $L_{св.}$:

$$L_{св.} = L_i \frac{C_i}{C_i + C_0} = 58 \cdot \frac{78}{78 - 8,13} = 64,7 \text{ мкГн}$$

Вычислим относительную погрешность индуктивности:

$$\delta L_{\max} = \frac{\Delta L_{\max}}{L_i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_{\max}}{C}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{\Delta f_{\max}}{f}\right)^2}, \quad (2.3)$$

где $\Delta C_{\max}/C$ и $\Delta f_{\max}/f$ – максимальные относительные погрешности определения емкости и частоты ($\Delta C_{\max} = 1 \text{ нФ}$ и $(\Delta f_{\max}/f = 0,01 (1\%))$).

$$\delta L_{\max} = \sqrt{0,00016 + 6,94 \cdot 10^{-11}} \approx 0,013$$

Определим максимальную абсолютную погрешность измерения:

$$\Delta L_{\max} = \delta L_{\max} \cdot L_{св.} \quad (2.4)$$

$$\Delta L_{\max} = 0,013 \cdot 64,7 = 0,841 \text{ мкГн}$$

Результат измерения индуктивности методом непосредственного отсчета с учетом правил метрологии:

$$L = L_{\text{изм}} \pm \Delta L_{\max} = (58 \pm 0,841) \text{ мкГн}$$

При измерении индуктивности исследуемой катушки косвенным методом используется для расчета соотношение (2.5):

$$L_i = \frac{1}{4\pi^2 f_i^2 C_i}, \quad (2.5)$$

где f_i – резонансная частота генератора;

C_i – значение образцовой емкости при настройке в резонанс.

Уменьшение погрешности однократного измерения можно достичь путем многократных косвенных измерений индуктивности с последующей статистической обработкой результатов наблюдений, имеющих случайные погрешности.

$$L_{oi} = L_i \cdot \frac{C_i}{C_i + C_0} \quad (2.6)$$

2.2 Измерение индуктивности катушки прибором Е9-4 косвенным методом

Таблица 2.1 – Результаты измерений

C_i , пФ	f_i , МГц	L_i , мкГн	L_{oi} , мкГн	ε_i , мкГн	ε_i^2 , (мкГн) ²
25	3,4	87,6	66,10	0,13	0,01
50	2,5	81,05	69,71	3,74	13,98
75	2,1	76,58	69,09	3,12	9,73
100	1,86	73,21	67,70	1,73	2,99
125	1,68	71,79	67,40	1,43	2,04
150	1,54	71,20	67,53	1,56	2,43
175	1,43	70,78	67,63	1,66	2,75
200	1,34	70,53	67,77	1,8	3,24
225	1,27	69,79	67,35	1,38	1,9
250	1,21	69,20	67,02	1,05	1,1
275	1,16	68,45	66,48	0,51	0,26
300	1,12	67,08	65,31	-0,66	0,43
325	1,08	66,82	65,18	-0,79	0,62
350	1,05	65,05	63,64	-2,33	5,42
375	1,02	64,92	63,54	-2,43	5,9
400	1	63,32	62,05	-3,92	15,36
425	0,98	62,05	60,88	-5,09	25,9
450	0,96	61,07	59,98	-5,99	35,88

Обработка результатов измерений L_{0i} :

1) Определим среднее арифметическое значение, которое является наиболее достоверным значением индуктивности и принимается за результат измерения, по формуле (2.7):

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n L_{0i} \quad (2.7)$$

$$L_{cp} = \frac{1}{18} \cdot (66,1 + 69,71 + 69,09 + 67,7 + 67,7 + 67,4 + 67,53 + 67,63 + 67,77 + 67,35 + 67,02 + 66,48 + 65,3)$$

2) Определим статистическую оценку среднеквадратической погрешности отдельных результатов измерений индуктивности по формуле (2.8):

$$S = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (L_{0i} - L_{cp})^2} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}, \quad (2.8)$$

где $\varepsilon_i = L_{0i} - L_{cp}$ – отклонения отдельных результатов измерений от среднего арифметического.

$$S = \frac{1}{\sqrt{18-1}} \cdot \sqrt{0,01 + 13,98 + 9,73 + 2,99 + 2,04 + 2,43 + 2,75 + 3,24 + 1,9 + 1,1 + 0,26 + 0,43 + 0,62 + 5,42 + 5,9 + 15,36 + 25,9 + 35,88} \approx 2,76 \text{ мкГн}$$

3) Определим оценку среднеквадратического отклонения результата измерения от истинного значения измеряемой величины:

$$S_{L_{cp}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{0i} - L_{cp})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n(n-1)}} \quad (2.9)$$

$$S_{L_{cp}} = \frac{2,76}{\sqrt{18}} \approx 0,65 \text{ мкГн}$$

4) Определим доверительный интервал ($P_D = 0.95$; $n = 18$; $t_\alpha = 2.14$):

$$\Delta L_D = t_\alpha \cdot S_{L_{cp}} \quad (2.10)$$

$$\Delta L_D = 2,14 \cdot 0,65 \approx 1,39 \text{ мкГн}$$

Результат измерения индуктивности с учетом правил метрологии:

$$L = L_{cp} \pm \Delta L_D; P_D = 0.95; n = 18$$

$$L = (65,79 \pm 1,39) \text{ мкГн}; P_D = 0.95; n = 18$$

2.3 Измерение малой и большой емкости конденсаторов прибором Е9-4

Измерение малой емкости:

Провел отсчет емкостей конденсаторов C_1 и C_2 . Они оказались равными: $C_1 = 450$ пФ и $C_2 = 255$ пФ. Тогда значение малой емкости измеряемого конденсатора равно:

$$C_{изм} = C_1 - C_2 = 450 - 255 = 195 \text{ нФ}$$

Определим относительную погрешность измерения:

$$\delta C = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_1}{C_1 - C_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_2}{C_1 - C_2}\right)^2} \quad (2.11)$$

$$\delta C = \sqrt{\left(\frac{4.5}{450 - 255}\right)^2 + \left(\frac{2.55}{450 - 255}\right)^2} \approx 0.026$$

Абсолютное значение погрешности измерения определим по формуле (2.12):

$$\Delta C = \delta C \cdot C_{изм} \quad (2.12)$$

$$\Delta C = 0.026 \cdot 195 = 5.07 \text{ нФ}$$

Результат измерения малой емкости с учетом правил метрологии:

$$C_X = C_{изм} \pm \Delta C = (195 \pm 5.07) \text{ нФ}$$

Измерение большой емкости:

Провели отсчет емкостей конденсаторов C_1 и C_2 . Они оказались равными: $C_1 = 200$ пФ и $C_2 = 227$ пФ. Тогда значение малой емкости измеряемого конденсатора равно:

$$C_{изм} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_2 - C_1} = \frac{200 \cdot 227}{227 - 200} = 1681 \text{ нФ}$$

Определим относительную погрешность измерения по формуле (2.13):

$$\delta C = \sqrt{\left(\frac{C_2}{C_1 - C_2} \cdot \delta C_1\right)^2 + \left(\frac{C_1}{C_1 - C_2} \cdot \delta C_2\right)^2} \quad (2.13)$$

$$\delta C = \sqrt{\left(\frac{227}{200 - 227} \cdot 0.01\right)^2 + \left(\frac{200}{200 - 227} \cdot 0.01\right)^2} \approx 0.11 \text{ нФ}$$

Абсолютное значение погрешности измерения определим по формуле (2.12):

$$\Delta C = 0,11 \cdot 1681 = 184,91 \text{ нФ}$$

Результат измерения большой емкости с учетом правил метрологии:

$$C_X = C_{изм} \pm \Delta C = (1681 \pm 184,91) \text{ нФ}$$

3 Сводка значений

Таблица 3.1 – Сводная таблица полученных значений и их погрешностей.

Параметр	Прибор Е9-4	
	Метод непосредств. отсчета	Косвенный метод

Индуктивность, мкГн	$58 \pm 0,7$	$52,62 \pm 0,12$
Большая емкость, пФ	$1680 \pm 386,4$	
Малая емкость, пФ	$130 \pm 5,5$	

Заключение

В данной лабораторной работе был изучен 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) была измерена индуктивность и емкость катушки методом непосредственного отсчета на частоте $f = 2400 \text{ кГц}$; $L = 58 \text{ мкГн}$; $C = 78 \text{ пФ}$, а также косвенным методом на различных частотах.

С помощью гетеродинного измерителя (малой и большой емкости) были измерены емкости конденсаторов.