

Министерство образования и науки Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Заочный факультет

Кафедра компьютерных систем управления и проектирования (КСУП)

**ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

Отчет по лабораторной работе по дисциплине

«МиТИ»

Преподаватель
канд. тех. наук, доцент
Отчалко В.Ф. _____

(Подпись, дата)

Студент группы 3 – 19
Никодас Д.А. _____

(Подпись, дата)

ВВЕДЕНИЕ

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

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

При измерении индуктивности катушки методом непосредственного отсчета прибором Е9-4 (Е4-4), получили следующие показания:

$$F = 760 \text{ кГц}; C = 240 \text{ пФ}; L = 196 \text{ мкГн}.$$

С учетом собственной емкости катушки вычислим индуктивность, свободную от методической погрешности по формуле

$$L_{0i} = L_i \frac{C_i}{C_i + C_0}$$

Где собственная емкость катушки индуктивности

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

Значения для C_1 и C_2 берем из таблицы составленной в ходе измерения индуктивности катушки косвенным методом.

Для точности результата произведем вычисление собственной емкости 3 раза. За результат C_0 возьмем среднее арифметическое из C_{01} , C_{02} , C_{03} .

Для C_{01} берем значения i (1:15), для C_{02} берем значения i (2:14), для C_{01} берем значения i (3:13).

$$C_{01} = \frac{\left(30 - 450i \left(\frac{545}{1950} \right)^2 \right) * 10^{-12}}{\left(\frac{545}{1950} \right)^2 - 1} = 5,6 \text{ нФ}$$

$$C_{02} = \frac{\left(60 - 420i \left(\frac{560}{1450} \right)^2 \right) * 10^{-12}}{\left(\frac{560}{1450} \right)^2 - 1} = 3,1 \text{ нФ}$$

$$C_{03} = \frac{\left(90 - 390 \cdot \left(\frac{582}{1200}\right)^2\right) * 10^{-12}}{\left(\frac{582}{1200}\right)^2 - 1} = 2,27 \text{ нФ}$$

$$C_0 = \left(\frac{5,6 + 3,1 + 2,27}{3}\right) * 10^{-12} = 3,66 \text{ нФ}$$

$$L_0 = \frac{196 * 10^{-6} * 240 * 10^{-12}}{(240 + 3,66) * 10^{-12}} = 193 \text{ мкГн}$$

Оценим точность измерения.

Исходя из общей формулы для абсолютной максимальной погрешности Δ_{max} косвенного измерения:

$$\Delta_{max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial Y_i}\right)^2 \Delta_{i_{max}}^2}$$

где $\Delta_{i_{max}}$ – абсолютная максимальная погрешность аргумента Y_i ;
 Y_i – независимые аргументы функции $F(Y_1, Y_2)$.

$$L_i = \frac{1}{4\pi^2 f_i^2 C_i}$$

Раскрывая формулу для функции L_i и, переходя к частным относительным погрешностям, получим:

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

где $\Delta C_{max}/C$, $\Delta f_{max}/f$ – максимальные относительные погрешности определения емкости и частоты.

$$\delta L_{max} = \sqrt{(0,01)^2 + (2 \cdot 0,01)^2} = 22,36 \text{ мГн}$$

Определим максимальную абсолютную погрешность измерения по формуле:

$$\Delta L_{max} = \delta L_{max} \cdot L_{изм}$$

$$\Delta L_{max} = 22,36 * 10^{-3} * 196 * 10^{-6} = 4,3826 \text{ мкГн}$$

$$L = (196 \pm 4,3826) \text{ мкГн}$$

Провели измерение индуктивности катушки **косвенным методом**, данные измерений занесли в таблицу.

i	C пФ	F кГц	L мкГн	L_0 мкГн	ε мкГн	ε^2 мкГн
1	30	1950	222	197.86	5,4812	30
2	60	1450	200	188.5	-3,88	15
3	90	1200	195.45	187.8	-4,5788	20,96
4	120	1040	195.16	189.4	-2,9788	8,87
5	150	925	197.363	192.662	0,2832	0,08
6	180	840	199.44	195.46	3,0812	9,49
7	210	775	200.8	197.36	4,9812	24,81
8	240	725	200.8	197.78	5,4012	29,17
9	270	690	197	194.36	1,9812	3,92
10	300	655	196.8	194.43	2,0512	4,2
11	330	630	193.4	191.28	-1,0988	1,2
12	360	605	192.2	190.26	-2,1188	4,49
13	390	582	191.7	189.92	-2,4588	6,04
14	420	560	192.3	190.64	-1,7388	3,02
15	450	545	189.5	187.97	-4,4088	19,44

Проведем статистическую обработку результатов измерений.

Результаты измерений L_{0i} , свободные от систематических погрешностей, обрабатываются в следующем порядке:

1) определяется среднее арифметическое значение, которое является наиболее достоверным значением индуктивности и принимается за результат измерения;

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{0i}, \quad L_{cp} = \overset{1}{\underset{15}{192,3788}} \text{ мкГн}$$

2) определяется статистическая оценка S среднеквадратической погрешности отдельных результатов измерений индуктивности

$$S = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (L_{0i} - L_{cp})^2} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}, \quad S = 3,59 \cdot 10^{-6}$$

где $\varepsilon_i = L_{0i} - L_{cp}$ - отклонения отдельных результатов измерений от среднего арифметического (остаточная погрешность);

3) вычисляется оценка среднеквадратического отклонения результата измерения S_{Lcp} от истинного значения измеряемой величины (среднеквадратическое отклонение среднего)

$$S_{Lcp} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{0i} - L_{cp})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n(n-1)}}, \quad S_{Lcp} = 0,93 \cdot 10^{-6}$$

4) по заданной доверительной вероятности P_δ (0,95) и известному количеству измерений n (15) находят из таблицы соответствующий коэффициент Стьюдента t_α (2,14) и определяют доверительный интервал

$$\Delta L_D = \pm t_\alpha \cdot S_{Lcp}$$

$$\Delta L_D = 2,14 \cdot 0,93 = 1,9902 \text{ мкГн}$$

$$L = (192,3788 \pm 1,9902) \text{ мкГн}; P_\delta = 0,95; n = 15.$$

Измерим емкости конденсаторов (малой и большой емкости) прибором Е9-4 (Е4-4)

Измерение малых емкостей, не превышающих диапазон изменения конденсатора переменной емкости куметра, производится при параллельном подключении измеряемого конденсатора к контуру.

Проведение эксперимента производится следующим образом:

а) установить значение переменного конденсатора куметра близкое к максимальному (450 пФ) и **подстройкой частоты генератора куметра** добиться точного резонанса. Записать установленное значение емкости конденсатора $C_1 = 450$ пФ;

б) подсоединить к клеммам « C_x » исследуемый конденсатор и, не изменяя частоты, **изменением переменной емкости конденсатора прибора** вновь настроить контур в резонанс. Произвести отсчет по шкале и записать значение емкости конденсатора $C_2 = 170$ пФ;

в) вычислить значение емкости измеряемого конденсатора по формуле

$$C_x = C_1 - C_2$$

$$C_x = 450 - 170 = 280 \text{ пФ}$$

Оценим точность измерения малых емкостей на куметре.

$$\delta C = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_1}{C_1 - C_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_2}{C_1 - C_2}\right)^2}, \quad (8.8)$$

где ΔC_1 и ΔC_2 - абсолютные погрешности определения емкостей C_1 и C_2 конденсатора куметра .

Абсолютное значение погрешности измерения определим по формуле

$$\Delta C = \delta C \cdot C_{изм}$$

$$\delta C = \sqrt{\left(\frac{3}{280}\right)^2 + \left(\frac{3}{280}\right)^2} = 0,015$$

Абсолютное значение погрешности измерения определится:

$$\Delta C = \delta C \cdot C_{изм}$$

$$\Delta C = 0,015 * 280 * 10^{-12} = 4,2 \text{ нФ}$$

$$C_x = (280 \pm 4,2) \text{ нФ}$$

Измерение больших емкостей, превышающих диапазон изменения конденсатора переменной емкости, производится при последовательном подключении измеряемого конденсатора к контуру куметра.

Проведение эксперимента производится следующим образом:

а) установить значение переменного конденсатора куметра в середине диапазона (200 – 250) пФ и **изменением частоты генератора** настроить контур в резонанс. Записать установленное значение емкости конденсатора $C_1 = 250$ пФ;

б) подсоединить исследуемый конденсатор последовательно с катушкой индуктивности к зажимам «L_x», и, не изменяя частоты, **изменением переменной емкости конденсатора** прибора вновь настроить контур в резонанс. Произвести отсчет по шкале и записать значение емкости конденсатора $C_2 = 291$ пФ;

в) вычислить значение емкости измеряемого конденсатора по формуле

$$C_x = \frac{C_1 C_2}{C_2 - C_1}$$

$$C_x = \frac{250 * 291 * 10^{-12}}{291 - 250} = 1774,39 \text{ нФ}$$

Оценим точность измерения больших емкостей на куметре.

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

где δC_1 и δC_2 - относительные погрешности определения емкостей C_1 и C_2 конденсатора куметра

$$\delta C = \sqrt{\left(\frac{0,291}{250 - 291}\right)^2 + \left(\frac{0,25}{250 - 291}\right)^2} = 0,0093$$

Абсолютное значение погрешности измерения определится:

$$\Delta C = \delta C \cdot C_{изм}$$

$$\Delta C = 0,0093 \cdot 1774,39 \cdot 10^{-12} = 16,6 \text{ нФ}$$

$$C_x = (1774,39 \pm 16,6) \text{ нФ}$$

Проведем измерение индуктивности катушки и емкостей конденсаторов методом сравнения с мерой на приборе Е12-1 (Е12-1А)

$$L = 198 \text{ мкГн};$$

$$C_{\text{малая}} = 280,8 \text{ пФ};$$

$$C_{\text{большая}} = 1772 \text{ пФ}.$$

Относительная погрешность измерения индуктивности: $\delta L = 0,015 (1,5\%)$.

Абсолютная погрешность измерения индуктивности определится по формуле

$$\Delta L = \delta L \cdot L_{изм}$$

$$\Delta L = 0,015 \cdot 198 = 2,97 \text{ мкГн}$$

$$L_x = (198 \pm 2,97) \text{ мкГн}$$

Относительная погрешность измерения малой емкости:

$$\delta C = 0,005 (0,5\%).$$

$$\Delta C = 0,005 \cdot 280,8 = 1,404 \text{ нФ}$$

$$C_X = (280,8 \pm 1,404) \text{ нФ}$$

Относительная погрешность измерения большой емкости:

$$\delta C = 0,005 (0,5\%).$$

$$\Delta C = 0,005 \cdot 1772 = 8,86 \text{ нФ}$$

$$C_X = C_{\text{изм}} \pm \Delta C = (1772 \pm 8,86) \text{ нФ}$$

Проведем измерение индуктивности катушки, емкостей конденсаторов косвенным методом на приборе Е7-21.

$$f = 1 \text{ кГц}$$

$$L = 196,5 \text{ мкГн}; \text{ tg } \delta = 0,5;$$

В соответствии с инструкцией по эксплуатации и техническими характеристикам прибора абсолютная погрешность измерения индуктивности определится по формуле:

$$\pm \left[2,5(1 + \text{tg}^2 \delta) + L_K / L(1 + \text{tg} \delta) \right] \cdot 10^{-3}$$

Где $L_K = 1600 \text{ мкГн}$

$$\Delta L = \left(2,5 * (1 + 0,5^2) + \frac{1600}{196,5 * (1 + 0,5)} \right) * 10^{-3} = 0,00855 \text{ мкГн}$$

$$L_X = (196,5 \pm 0,00855) \text{ мкГн}$$

$C_{\text{малая}} = 278 \text{ пФ}; \text{ tg } \delta = 0,003;$

В соответствии с инструкцией по эксплуатации и техническими характеристикам прибора абсолютная погрешность измерения малой емкости определится по формуле:

$$\pm \left[2,5(1 + \text{tg}^2 \delta) + C_K / C(1 + \text{tg} \delta) \right] \cdot 10^{-3}$$

Где $C_K = 1600 \text{ нФ}$

$$\Delta C = \left(2,5 * (1 + 0,003^2) + \frac{1600}{278 * (1 + 0,003)} \right) * 10^{-3} = 0,0082 \text{ нФ}$$

$$C_x = (278 \pm 0,0082) \text{ нФ}$$

$C_{\text{большая}} = 1779 \text{ пФ}$, $\text{tg } \delta = 0,017$;

В соответствии с инструкцией по эксплуатации и техническими характеристикам прибора абсолютная погрешность измерения большой емкости определится по формуле:

$$\pm \left[2,5(1 + \text{tg}^2 \delta) + C_k / C(1 + \text{tg} \delta) \right] \cdot 10^{-3}$$

Где $C_k = 16000 \text{ нФ}$

$$\Delta C = \left(2,5 * (1 + 0,017^2) + \frac{16000}{1779 * (1 + 0,017)} \right) * 10^{-3} = 0,011 \text{ нФ}$$

$$C_x = (1779 \pm 0,011) \text{ нФ}$$

Результаты измерений с указанием погрешностей внести в таблицу.

Параметр	Прибор Е9-4		Прибор Е12-1	Прибор Е7-21
	Метод непосредств. отсчета	Косвенный метод		
индуктивность	196 мк Гн	192,3788 мк Гн	198 мк Гн	196,5 мк Гн
Большая	1774,39 нФ		280,8 нФ	1779 нФ

емкость			
Малая емкость	280 нФ	1772 нФ	278 нФ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты измерений индуктивности катушки, малой и большой емкостей, измеренные с помощью трех приборов, представлены в таблице. По таблице видно, что значения индуктивности, малой и большой емкостей будут приблизительно одинаковыми.