

Марина Б04-005, Лабораторная работа №.3.2.3

Цель работы: Исследование резонанса токов в параллельном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, включающее получение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, а также определение основных параметров контура.

Оборудование:

1. генератор сигналов
2. источник тока, нагруженный на параллельный колебательный контур с переменной ёмкостью
3. двухлучевой осциллограф
4. цифровые вольтметры

Теоретическая справка:

Напряжение $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ от генератора поступает на вход источника тока. Переменное напряжение на сопротивлении R_1 в используемой схеме равно напряжению на выходе генератора и совпадает с ним по фазе, то есть:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1} = I_0 \cos(\omega t + \varphi_0), \quad I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{R_1}. \quad (1)$$

Выражения для импеданса ёмкостной и индуктивной ветви параллельного контура:

$$Z_c = R_s - \frac{i}{\omega C}, \quad Z_L = R + R_L + i\omega L. \quad (2)$$

Комплексные амплитуды токов в ёмкостной и индуктивной ветвях контура, а также напряжения на контуре при нулевой начальной фазе внешнего тока удобно представить в виде:

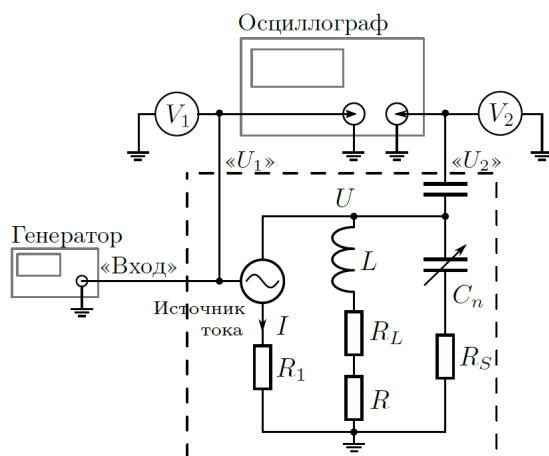


Рис. 1: Блок-схема экспериментального стенда

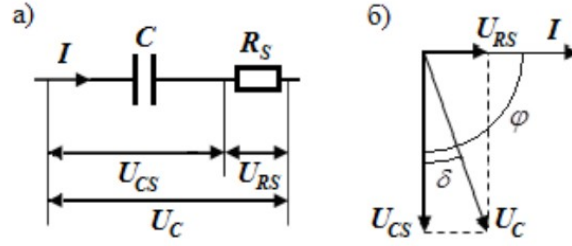


Рис. 2: Последовательная эквивалентная схема конденсатора с потерями

$$\begin{aligned}
\hat{I}_C &= QI_0 \frac{\omega}{\omega_0} \frac{e^{i\varphi_C}}{\sqrt{1+(\tau\Delta\omega)^2}} \quad , \quad \varphi_C = \frac{\pi}{2} - \frac{R+R_L}{\rho} - \arctg(\tau\Delta\omega) \quad , \\
\hat{I}_L &= QI_0 \frac{\omega}{\omega_0} \frac{e^{i\varphi_L}}{\sqrt{1+(\tau\Delta\omega)^2}} \quad , \quad \varphi_L = -\frac{\pi}{2} + \delta - \arctg(\tau\Delta\omega) \quad , \\
\hat{U} &= Q\rho I_0 \frac{e^{i\varphi_U}}{\sqrt{1+(\tau\Delta\omega)^2}} \quad , \quad \varphi_U = -\frac{\omega_0}{\omega} \frac{R+R_L}{\rho} + \delta - \arctg(\tau\Delta\omega) \quad .
\end{aligned} \quad (3)$$

При резонансе модули комплексных амплитуд, их фазы и производные фаз по циклической частоте принимают вид:

$$\begin{aligned}
I_C(\omega_0) &= QI_0 \quad , \quad \varphi_C(\omega_0) = \frac{\pi}{2} - \frac{R+R_L}{\rho} \quad , \\
I_L(\omega_0) &= QI_0 \quad , \quad \varphi_L(\omega_0) = -\frac{\pi}{2} + \delta \quad , \\
U(\omega_0) &= Q\rho I_0 = Q^2 R_\Sigma I_0 \quad , \quad \varphi_U(\omega_0) = -\frac{R+R_L}{\rho} + \delta \quad , \\
\varphi'_C(\omega_0) &= \varphi'_L(\omega_0) = \varphi'_U(\omega_0) = -\tau.
\end{aligned} \quad (4)$$

Параметры установки: $R = 3.5 \text{ Ом}$, $R_1 = 1008 \text{ Ом}$.

Ход работы:

1. Проведём измерения для контуров с различными ёмкостями (таблица 1)

$C_n, \text{нФ}$	$f_{0n}, \text{кГц}$	$U, \text{В}$	$E, \text{В}$	$L, \text{мкГн}$	$\rho, \text{Ом}$	$Z_{\text{рез}}, \text{Ом}$	Q	$R_\Sigma, \text{Ом}$	$R_{S \text{ max}}, \text{Ом}$	$R_L, \text{Ом}$
25.10	32.00	1.23	0.25	986.52	198.25	4959.36	25.02	7.93	0.20	4.23
33.20	27.70	1.15	0.25	995.37	173.15	4636.80	26.78	6.47	0.17	2.79
47.30	23.20	0.83	0.25	995.96	145.11	3346.56	23.06	6.29	0.15	2.65
57.40	21.30	0.72	0.25	973.67	130.24	2903.04	22.29	5.84	0.13	2.21
67.50	19.50	0.59	0.25	987.89	120.98	2378.88	19.66	6.15	0.12	2.53
82.70	17.70	0.50	0.25	978.65	108.78	2016.00	18.53	5.87	0.11	2.26
101.60	15.90	0.42	0.25	897.17	98.57	1693.44	17.18	5.74	0.10	2.14
Среднее значение				986.46						2.69
Среднеквадратичная погрешность				3.07						0.27

Таблица 1: Результаты измерений

$$\begin{aligned}
\rho &= \sqrt{\frac{L}{C}} \quad , \quad Z_{\text{рез}} = \frac{U}{I_0} = \frac{UR_1}{E} \quad , \quad Q = \frac{Z_{\text{рез}}}{\rho} \quad , \\
R_\Sigma &= \frac{Z_{\text{рез}}}{Q^2} \quad , \quad R_{S \text{ max}} = \text{tg} \frac{\delta}{\omega C} \quad , \quad R_L = R_\Sigma - R - R_s \quad .
\end{aligned} \quad (5)$$

2. Снимем АЧХ для двух контуров 3 и 7 в размерных и безразмерных координатах (рис. 3.)

Резонанс для контура 7 достигается на меньших частотах, чем у контура 3. Однако, в безразмерных координатах пики АЧХ двух контуров совпадают.

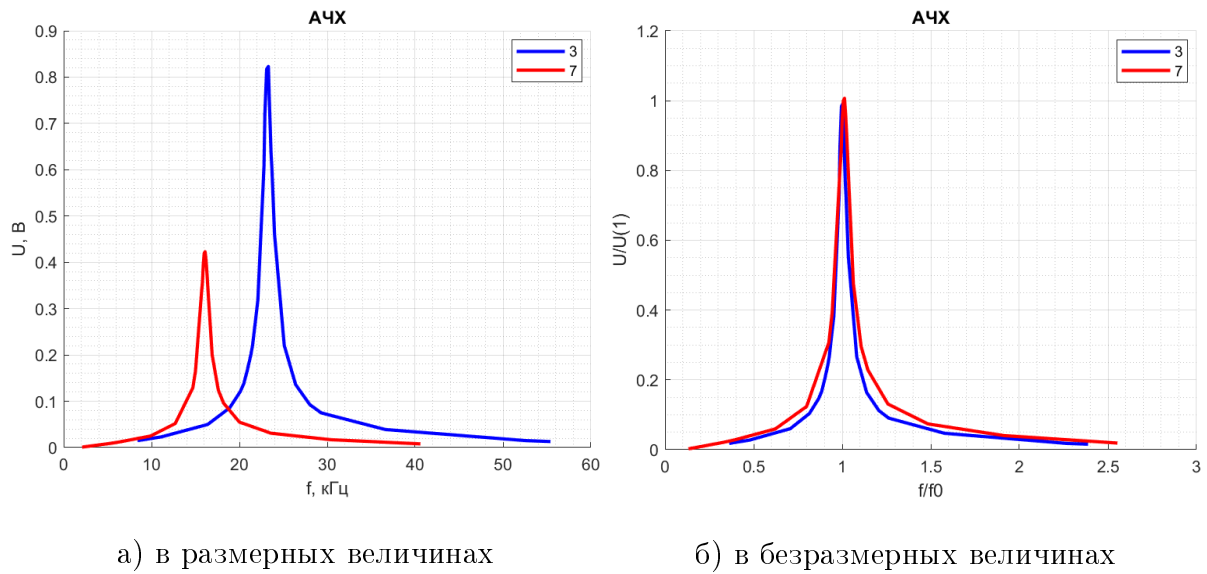


Рис. 3: АЧХ 3 и 7 контуров

Графически определяем добротность: $Q_3 = 25$; $Q_7 = 15.6$. Полученные значения сходятся с значениями в таблице 1.

3. Построим ФЧХ контуров (рис. 4).

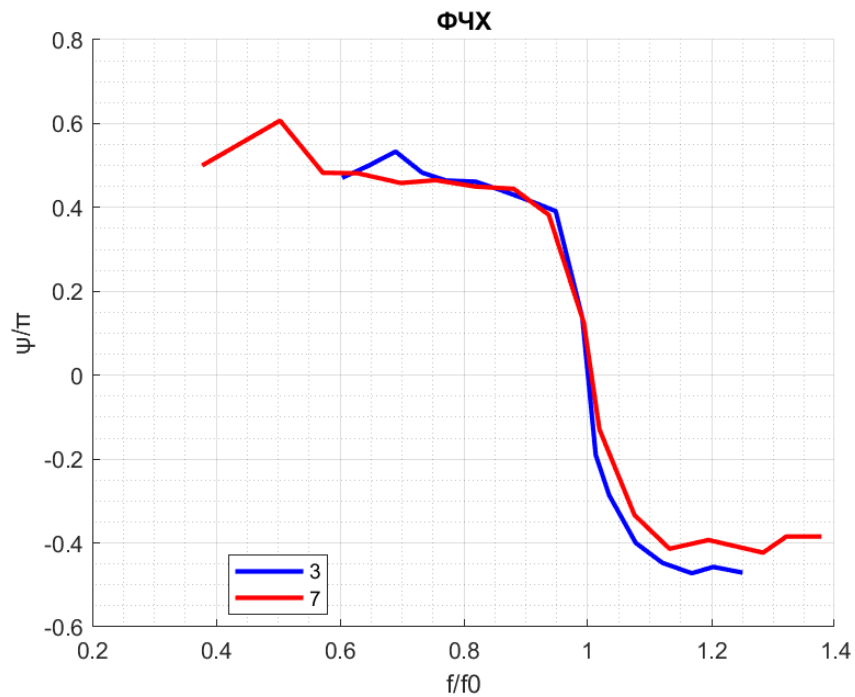


Рис. 4: ФЧХ контуров

По формуле $Q = \frac{1}{2} \frac{d\varphi_U(x)}{dx}$ определим добротность по ФЧХ: $Q_3 = 7.4$, $Q_7 = 4.25$.

4. По данным из таблицы 1 Построим график зависимости $RL(f_0)$. (рис. 5)

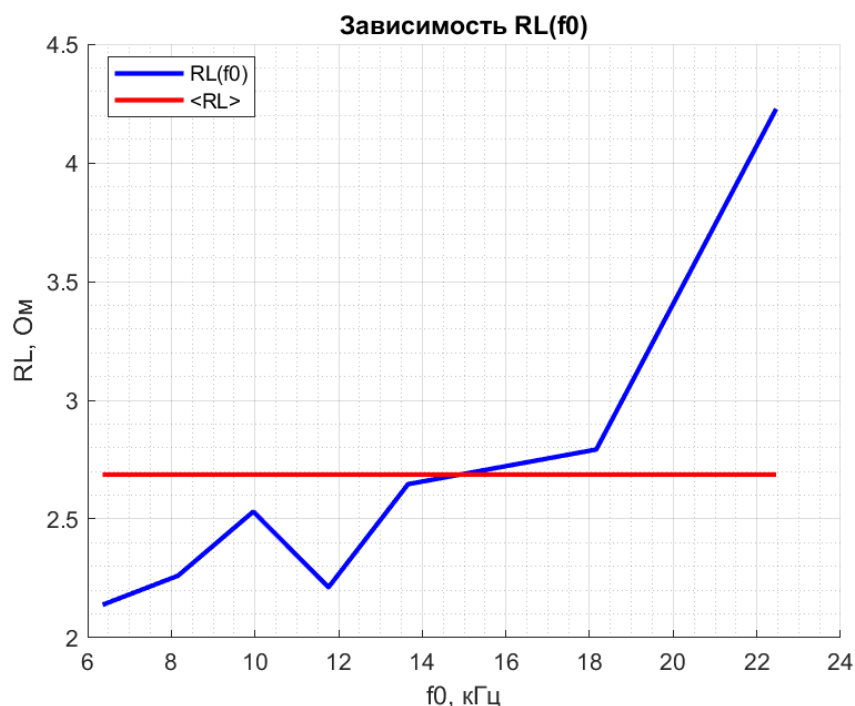


Рис. 5: Зависимость активного сопротивления от резонансной частоты

Выводы:

1. В ходе лабораторной работы мы исследовали резонанс токов в параллельном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, в ходе изучения получили амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики, а также определили основные параметры контура.
2. Мы вычислили значение добротности контура тремя различными способами, получили значения:

$$Q_3 = 23.06 \quad , \quad Q_3 = 25 \quad , \quad Q_3 = 7.4 \quad ; \\ Q_7 = 5.79 \quad , \quad Q_7 = 15.6 \quad , \quad Q_7 = 4.25 \quad .$$

Для контура 3 ближе к теоретическому значению оказалась добротность, полученная графически при помощи АЧХ, а для контура 7 — при помощи ФЧХ.

3. Также была изучена зависимость активного сопротивления катушки индуктивности. Можно заметить, что активное сопротивление увеличивается при увеличении частоты, это может быть связано с потерями на катушке при перемагничивании сердечника, и с потерями, обусловленными возникновением вихревых токов.