

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.2.2

Резонанс напряжений в последовательном контуре

Пилюгин Л. С.

Б02-212

Победин Н. К.

Б02-212

19 сентября 2023 г.

# 1 Аннотация

**Цель работы:** исследование резонанса напряжений в последовательном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, получение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, определение основных параметров контура.

**Оборудование:** генератор сигналов, источник напряжения, нагрузкой которого является последовательный колебательный контур с переменной ёмкостью, двухканальный осциллограф, цифровые вольтметры.

## 2 Оборудование

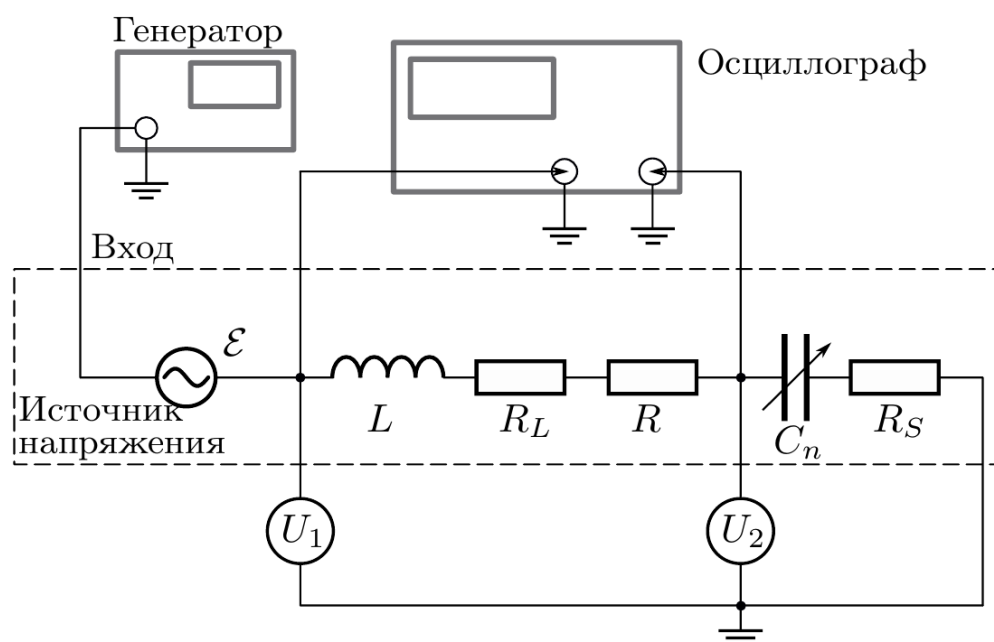


Схема установки приведена на рисунке.

Синусоидальный сигнал от генератора поступает на вход управляемого напряжением источника напряжения, собранного на операционном усилителе, питание которого осуществляется встроенным блоком-выпрямителем от сети. Источник напряжения обеспечивает с высокой точностью постоянство амплитуды сигнала  $\varepsilon = \varepsilon_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$  на меняющейся по величине нагрузке (последовательном колебательном контуре).

Источник напряжения, колебательный контур и блок питания заключены в отдельный корпус, отмеченный на рисунке штриховой линией. На корпусе имеются коаксиальные разъёмы и «Вход», « $U_1$ » и « $U_2$ », а также переключатель магазина ёмкостей  $C_n$  с указателем номера. Величины ёмкостей указаны на установке. Напряжение  $\varepsilon$  на контуре через разъём « $U_1$ » попадает одновременно на канал 1 осциллографа и вход 1-го цифрового вольтметра. Напряжение на конденсаторе  $U_C$  подаётся через разъём « $U_2$ » одновременно на канал 2 осциллографа и вход 2-го цифрового вольтметра.

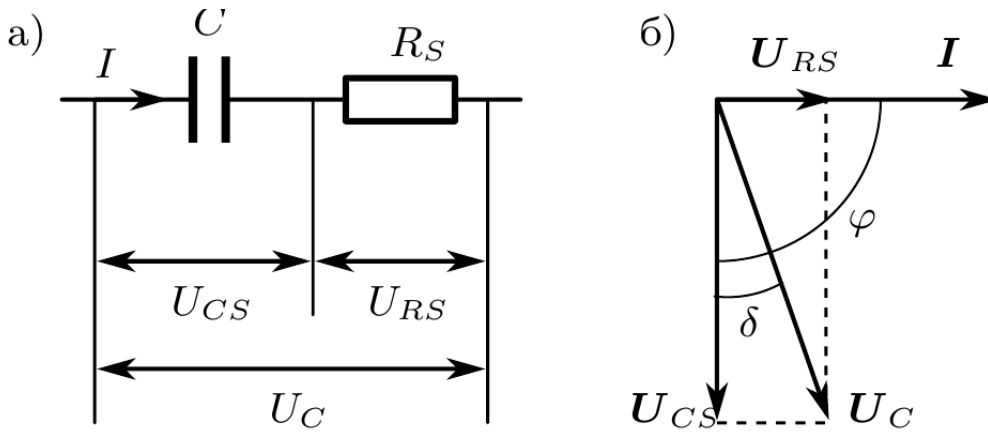
**Особенности реальных элементов цепи.** Колебательный контур собран из стандартных элементов, используемых в современных радиоэлектронных цепях. Известно, что в реальных конденсаторах и особенно в катушках индуктивности происходят необратимые потери энергии. К ним относятся: утечки и диэлектрические потери в конденсаторах, вихревые токи и потери на перемагничивание в сердечниках катушек индуктивности, омические потери в проводниках, растущие с частотой за счёт скин-эффекта и т.д. Рост потерь

приводит к увеличению действительных частей комплексных сопротивлений элементов контура и, значит, к изменению его резонансных свойств, в частности, к уменьшению добротности.

Потери в элементах контура зависят как от частоты, так и от амплитуды тока (напряжения), температуры и ряда других факторов. В общем случае зависят индуктивность  $L$ , ёмкость  $C$  и суммарное сопротивление  $R_\Sigma$ .

В контуре катушка индуктивности  $L$  обладает малым сопротивлением по постоянному току и высокой собственной резонансной частотой  $\nu_{L0} > 1,3$  МГц. Помимо индуктивности каждая катушка характеризуется собственной ёмкостью  $C_L$  и активным сопротивлением  $R_L$ . Принимается, что эти величины сосредоточены в отдельных элементах схемы, образующих с индуктивностью замкнутую колебательную цепь с собственной резонансной частотой  $\nu_{L0} = 1/2\pi\sqrt{LC_L}$ . Вследствие влияния ёмкости  $C_L$  при измерении на частоте  $\nu$  определяется не истинная индуктивность  $L$ , а эффективное значение индуктивности  $L_{\text{эфф}} = L/(1 - \nu^2/\nu_0^2)$ , которое может заметно отличаться от истинной величины  $L$ .

В этой работе  $\nu \ll \nu_0$ , поэтому индуктивность представлена последовательным соединением  $L$  и  $R_L$ .



Конденсаторы  $C_n$  имеют пренебрежимо малые собственные индуктивности и относительно малые активные потери. Для оценки вклада активных потерь можно представить конденсатор как последовательное соединение конденсатора  $C$  и сопротивления  $R_S$ . Из рисунка видно, что активные потери в конденсаторе, пропорциональные косинусу угла  $\varphi$ , убывают с ростом  $\varphi$ . Потери в конденсаторе принято характеризовать величиной  $\text{tg } \delta$ ,  $\delta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ .

$$R_S = \frac{U_{RS}}{I} = \frac{U_{RS}}{\omega C U_C} = \frac{\text{tg } \delta}{\omega C}$$

В работе  $\text{tg } \delta < 10^{-3}$ .

**Свойства колебательного контура.** В колебательный контур добавлен постоянный резистор  $R$ , снижающий его добротность.

$$R_\Sigma = R + R_L + R_S$$

$$Q = \frac{\rho}{R_\Sigma} = \frac{\omega_0 L}{R_\Sigma} = \frac{1}{\omega_0 C R_\Sigma} \gg 1$$

Для импедансов ёмкости  $Z_C$  и индуктивности  $Z_L$  и последовательного контура  $Z = Z_L + R + Z_C$  верны выражения

$$Z_C = R_S - \frac{i}{\omega C}$$

$$\begin{aligned}
Z_L &= R_L + i\omega L \\
Z &= R_\Sigma + i \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \\
I &= \frac{U_R}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R_\Sigma} \frac{1}{1 + iQ(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)} \\
U_C &= -iQ\varepsilon_0 \frac{\omega_0}{\omega} \frac{1 + i \operatorname{tg} \delta}{1 + iQ(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)} \\
U_L &= iQ\varepsilon_0 \frac{\omega}{\omega_0} \frac{1 - iR_L/\rho}{1 + iQ(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)}
\end{aligned}$$

При  $Q \gg 1$  и  $\operatorname{tg} \delta < 10^{-3}$  мнимыми добавками к потере можно пренебречь. Но нужно оценить их вклад вблизи резонанса, равный примерно  $R_L + \rho \operatorname{tg} \delta$ .

Наибольший практический интерес представляет случай, когда

$$|\omega - \omega_0| = |\Delta\omega| \ll \omega_0$$

При этом в первом порядке малости по  $\Delta\omega/\omega_0$

$$\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}$$

Это позволяет представить вещественные части комплексных амплитуд в виде

$$\begin{aligned}
I &= \frac{\varepsilon_0}{R_\Sigma} \frac{\cos(\omega t - \psi_I)}{\sqrt{1 + (\tau\Delta\omega)^2}} \\
\psi_I &= \operatorname{arctg}(\tau\Delta\omega) \\
U_C &= Q\varepsilon_0 \frac{\omega_0}{\omega} \frac{\cos(\omega t - \psi_C)}{\sqrt{1 + (\tau\Delta\omega)^2}} \\
\psi_C &= \psi_I + \frac{\pi}{2} - \delta \\
U_L &= Q\varepsilon_0 \frac{\omega}{\omega_0} \frac{\cos(\omega t - \psi_L)}{\sqrt{1 + (\tau\Delta\omega)^2}} \\
\psi_L &= \psi_I - \frac{\pi}{2} + \frac{R_L}{\rho} \\
\tau &= \frac{2L}{R}
\end{aligned}$$

$\tau$  — время затухания.

В резонансе модули комплексных амплитуд принимают вид

$$\begin{aligned}
I(\omega_0) &= \frac{U_R}{R} \\
U_C(\omega_0) &= Q\varepsilon_0 \\
U_L(\omega_0) &= Q\varepsilon_0
\end{aligned}$$

В резонансе контур становится чисто активным и  $I_{max} = \varepsilon_0/R_\Sigma$ . Напряжения  $U_L$  и  $U_C$  на частоте  $\omega_0$  находятся почти в противофазе и в  $Q$  раз по амплитуде превышают  $\varepsilon$  внешней ЭДС (с поправкой порядка  $Q^{-2}$ ).

При таком отклонении, что

$$\tau\Delta\omega = \pm 1$$

амплитуда тока  $I$  уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз относительно резонансной величины, а фаза  $\psi_I$  меняется на угол  $\pm\pi/4$ . В этой же точке происходят аналогичные изменения амплитуд  $U_C$ ,  $U_L$  и фаз  $\psi_C$  и  $\psi_L$  напряжений на ёмкости и индуктивности: амплитуды уменьшаются в  $\sqrt{2}$  раз, а фазы меняются на угол  $\pm\pi/4$  по отношению к своим резонансным значениям.

Величина  $\delta\omega = 2|\Delta\omega| = 2/\tau$  является шириной резонансной кривой  $U_C(\omega)$  на уровне  $U_C(\omega_0)/\sqrt{2}$ , по которой можно определить время затухания  $\tau = 2/\delta\omega$  и найти добротность контура  $Q = \omega_0/\delta\omega$ .

Эти же параметры можно определить по фазово-частотной характеристике: расстояние по оси  $\omega$  между точками, в которых фаза  $\varphi_C$  меняется от  $-\pi/4$  до  $3\pi/4$  равно  $2\tau$ , а тангенс угла наклона функции  $\varphi_C(\omega)$  в точке резонанса определяет время затухания.

В работе резонансные явления в последовательном колебательном контуре исследуются по напряжению на контуре  $\varepsilon$  и напряжению на ёмкости  $U_C$ , а также по фазовым сдвигам между ними.

### 3 Результаты измерений

Таблица 1. Задание 7

$C_n$ , нФ	$\nu$ , КГц	$U_C$ , В	$\mathcal{E}$ , В	$Q$	$R_\Sigma$ , Ом	$I$ , А	$L$ , мкГн	$\rho$ , Ом	$R_{S_{max}}$ , Ом	$R_L$ , Ом	$R_{S_{max}}/R_\Sigma$
$24,80 \pm 0,05$	$(32353,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,57 \pm 0,08$	$(100 \pm 3) \cdot 10^{-3}$	$25,6 \pm 1,1$	$7,8 \pm 0,3$	$(129 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$976 \pm 2$	$198,4 \pm 0,4$	$(1984 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$7,6 \pm 0,3$	$(25,6 \pm 1,1) \cdot 10^{-3}$
$33,20 \pm 0,05$	$(28010,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,26 \pm 0,07$	$(100 \pm 3) \cdot 10^{-3}$	$22,6 \pm 1,0$	$7,6 \pm 0,3$	$(132 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$972,5 \pm 1,5$	$171,1 \pm 0,3$	$(1711 \pm 3) \cdot 10^{-4}$	$7,4 \pm 0,3$	$(22,6 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$
$47,60 \pm 0,05$	$(23379,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,95 \pm 0,06$	$(100 \pm 3) \cdot 10^{-3}$	$19,5 \pm 0,8$	$7,3 \pm 0,3$	$(136 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$973,6 \pm 1,0$	$143,0 \pm 0,2$	$(1430 \pm 2) \cdot 10^{-4}$	$7,2 \pm 0,3$	$(19,5 \pm 0,8) \cdot 10^{-3}$
$57,50 \pm 0,05$	$(21352,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,78 \pm 0,05$	$(100 \pm 3) \cdot 10^{-3}$	$17,8 \pm 0,8$	$7,3 \pm 0,3$	$(137 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$966,3 \pm 0,8$	$129,63 \pm 0,11$	$(1296,3 \pm 1,1) \cdot 10^{-4}$	$7,2 \pm 0,3$	$(17,8 \pm 0,8) \cdot 10^{-3}$
$68,00 \pm 0,05$	$(19502,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,67 \pm 0,05$	$(100 \pm 3) \cdot 10^{-3}$	$16,7 \pm 0,7$	$7,2 \pm 0,3$	$(139 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$979,4 \pm 0,7$	$120,01 \pm 0,09$	$(12001 \pm 9) \cdot 10^{-5}$	$7,0 \pm 0,3$	$(16,7 \pm 0,7) \cdot 10^{-3}$
$102,80 \pm 0,05$	$(15939,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,39 \pm 0,04$	$(100 \pm 3) \cdot 10^{-3}$	$13,9 \pm 0,6$	$7,0 \pm 0,3$	$(143 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$969,9 \pm 0,5$	$97,13 \pm 0,05$	$(9713 \pm 5) \cdot 10^{-5}$	$6,9 \pm 0,3$	$(13,9 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}$

$$\langle L \rangle = 973 \pm 4 \text{ мкГн}$$

$$\langle R_L \rangle = 7,2 \pm 0,2 \text{ Ом}$$

$$R_{S_{max}}/R_\Sigma \approx 0,02$$

Погрешности приборов примерно равны погрешностям средних. Поэтому их влияние значительно.

Частоты и напряжения АЧХ1 больше, чем АЧХ2. Из-за того, что напряжения больше, контур 1 добротнее, чем контур 2.

$$Q_1 = \frac{1}{x_1 - x_2} = 26 \pm 2$$

$$Q_2 = \frac{1}{x_1 - x_2} = 23 \pm 2$$

$$Q_1 = \frac{1}{x_1 - x_2} = 28 \pm 2$$

$$Q_2 = \frac{1}{x_1 - x_2} = 22 \pm 2$$

Изменение сопротивления может быть связано с токами Фуко в сердечнике и скин-эффектом.

Таблица 2. АЧХ1

$C$ , нФ	$\nu$ , КГц	$U_C$ , В
$24,80 \pm 0,05$	$(31568,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,52 \pm 0,05$
$24,80 \pm 0,05$	$(31811,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,90 \pm 0,06$
$24,80 \pm 0,05$	$(32014,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,25 \pm 0,07$
$24,80 \pm 0,05$	$(32265,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,54 \pm 0,08$
$24,80 \pm 0,05$	$(32110,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,40 \pm 0,07$
$24,80 \pm 0,05$	$(31689,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,71 \pm 0,05$
$24,80 \pm 0,05$	$(31866,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,99 \pm 0,06$
$24,80 \pm 0,05$	$(31878,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,02 \pm 0,06$
$24,80 \pm 0,05$	$(33214,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,55 \pm 0,05$
$24,80 \pm 0,05$	$(33043,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,76 \pm 0,05$
$24,80 \pm 0,05$	$(32749,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,17 \pm 0,07$
$24,80 \pm 0,05$	$(32479,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,49 \pm 0,07$
$24,80 \pm 0,05$	$(32579,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,39 \pm 0,07$
$24,80 \pm 0,05$	$(32884,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,98 \pm 0,06$
$24,80 \pm 0,05$	$(32622,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,34 \pm 0,07$
$24,80 \pm 0,05$	$(33127,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,66 \pm 0,05$

Таблица 3. АЧХ2

$C$ , нФ	$\nu$ , КГц	$U_C$ , В
$33,20 \pm 0,05$	$(27101,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,27 \pm 0,04$
$33,20 \pm 0,05$	$(27243,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,43 \pm 0,04$
$33,20 \pm 0,05$	$(27678,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,07 \pm 0,06$
$33,20 \pm 0,05$	$(27430,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,69 \pm 0,05$
$33,20 \pm 0,05$	$(27782,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,19 \pm 0,07$
$33,20 \pm 0,05$	$(27522,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,83 \pm 0,05$
$33,20 \pm 0,05$	$(27889,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,25 \pm 0,07$
$33,20 \pm 0,05$	$(28058,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,22 \pm 0,07$
$33,20 \pm 0,05$	$(28882,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,28 \pm 0,04$
$33,20 \pm 0,05$	$(28724,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,44 \pm 0,04$
$33,20 \pm 0,05$	$(28371,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,88 \pm 0,06$
$33,20 \pm 0,05$	$(28115,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,18 \pm 0,07$
$33,20 \pm 0,05$	$(28411,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,82 \pm 0,05$
$33,20 \pm 0,05$	$(28479,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,73 \pm 0,05$
$33,20 \pm 0,05$	$(28662,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,51 \pm 0,05$
$33,20 \pm 0,05$	$(28798,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,36 \pm 0,04$

## 4 Вывод

Проведено исследование колебаний напряжений в последовательном контуре. Несколькими методами определена добротность контура. Результаты неплохо согласуются.

Таблица 4. ФЧХ1

$C$ , нФ	$x_1$	$x_2$	$\nu$ , КГц	$\Delta\phi$
$33,20 \pm 0,05$	$2,70 \pm 0,10$	$6,90 \pm 0,10$	$(28823,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,46 \pm 0,10$
$33,20 \pm 0,05$	$3,00 \pm 0,10$	$6,60 \pm 0,10$	$(30143,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,86 \pm 0,10$
$33,20 \pm 0,05$	$3,00 \pm 0,10$	$6,70 \pm 0,10$	$(29876,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,81 \pm 0,10$
$33,20 \pm 0,05$	$3,00 \pm 0,10$	$6,80 \pm 0,10$	$(29277,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,77 \pm 0,10$
$33,20 \pm 0,05$	$2,80 \pm 0,10$	$6,80 \pm 0,10$	$(28917,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,59 \pm 0,10$
$33,20 \pm 0,05$	$2,20 \pm 0,10$	$7,00 \pm 0,10$	$(28320,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,97 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$2,60 \pm 0,10$	$7,00 \pm 0,10$	$(28645,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,33 \pm 0,10$
$33,20 \pm 0,05$	$1,90 \pm 0,10$	$7,10 \pm 0,10$	$(28035,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,68 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,10$	$7,30 \pm 0,10$	$(26310,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,17 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,10$	$7,30 \pm 0,10$	$(26450,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,17 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,10$	$7,40 \pm 0,10$	$(26840,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,51 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$0,80 \pm 0,10$	$7,30 \pm 0,10$	$(27220,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,69 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$0,90 \pm 0,10$	$7,30 \pm 0,10$	$(27387,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,77 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$1,50 \pm 0,10$	$7,20 \pm 0,10$	$(27766,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,31 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$1,80 \pm 0,10$	$7,20 \pm 0,10$	$(27970,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,57 \pm 0,09$
$33,20 \pm 0,05$	$1,20 \pm 0,10$	$7,20 \pm 0,10$	$(27657,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,05 \pm 0,09$

Таблица 5. ФЧХ2

$C$ , нФ	$x_1$	$x_2$	$\nu$ , КГц	$\Delta\phi$
$24,80 \pm 0,05$	$0,30 \pm 0,10$	$7,60 \pm 0,10$	$(30390,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,25 \pm 0,08$
$24,80 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,10$	$6,30 \pm 0,10$	$(30660,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,40 \pm 0,10$
$24,80 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,10$	$6,40 \pm 0,10$	$(30820,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,39 \pm 0,10$
$24,80 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,10$	$6,40 \pm 0,10$	$(31412,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,59 \pm 0,10$
$24,80 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,10$	$6,30 \pm 0,10$	$(31654,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,70 \pm 0,10$
$24,80 \pm 0,05$	$0,80 \pm 0,10$	$6,30 \pm 0,10$	$(31763,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$0,80 \pm 0,10$
$24,80 \pm 0,05$	$1,10 \pm 0,10$	$6,20 \pm 0,10$	$(32031,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,11 \pm 0,10$
$24,80 \pm 0,05$	$1,40 \pm 0,10$	$6,20 \pm 0,10$	$(32220,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,42 \pm 0,10$
$24,80 \pm 0,05$	$1,80 \pm 0,10$	$6,20 \pm 0,10$	$(32500,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$1,82 \pm 0,11$
$24,80 \pm 0,05$	$2,20 \pm 0,10$	$6,10 \pm 0,10$	$(32866,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,27 \pm 0,11$
$24,80 \pm 0,05$	$2,30 \pm 0,10$	$6,00 \pm 0,10$	$(33007,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,41 \pm 0,11$
$24,80 \pm 0,05$	$2,40 \pm 0,10$	$6,00 \pm 0,10$	$(33205,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,51 \pm 0,11$
$24,80 \pm 0,05$	$2,50 \pm 0,10$	$5,90 \pm 0,10$	$(33580,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,66 \pm 0,12$
$24,80 \pm 0,05$	$2,50 \pm 0,10$	$5,90 \pm 0,10$	$(33736,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,66 \pm 0,12$
$24,80 \pm 0,05$	$2,60 \pm 0,10$	$5,90 \pm 0,10$	$(33963,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,77 \pm 0,12$
$24,80 \pm 0,05$	$2,60 \pm 0,10$	$5,80 \pm 0,10$	$(34290,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$2,82 \pm 0,12$

