

A1^{1.20} Установите амплитуду напряжения на генераторе $\mathcal{E}_0 < 1,0\text{ В}$. Снимите зависимость резонансной частоты $f_{\text{рез}}$ контура от величины постоянного напряжения на варикапе V_0 в диапазоне от 0 до 3 В.

Собираем установку (рис. 1). Устанавливаем напряжение на генераторе $\mathcal{E}_0 = 0,9\text{ В}$. Подключаем осциллограф и источник постоянного напряжения, мультиметр для измерения V_0 (рис.3). Меняя частоту входного напряжения, находим резонансную частоту контура по максимуму напряжения на варикапе, для фиксированного значения V_0 .

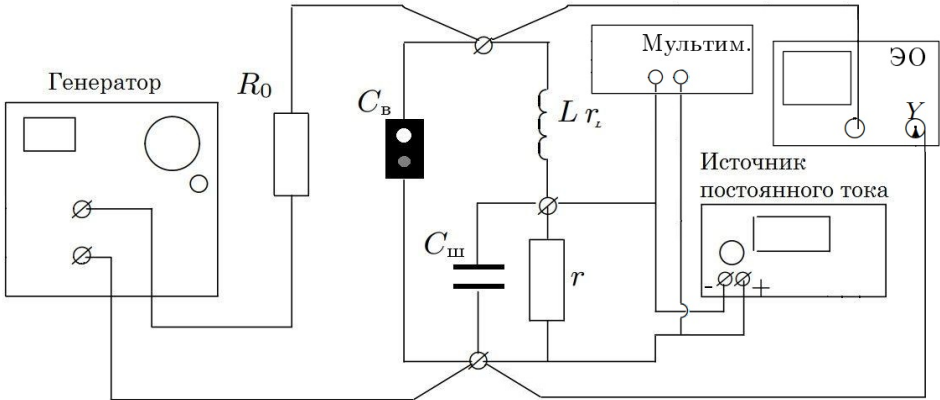
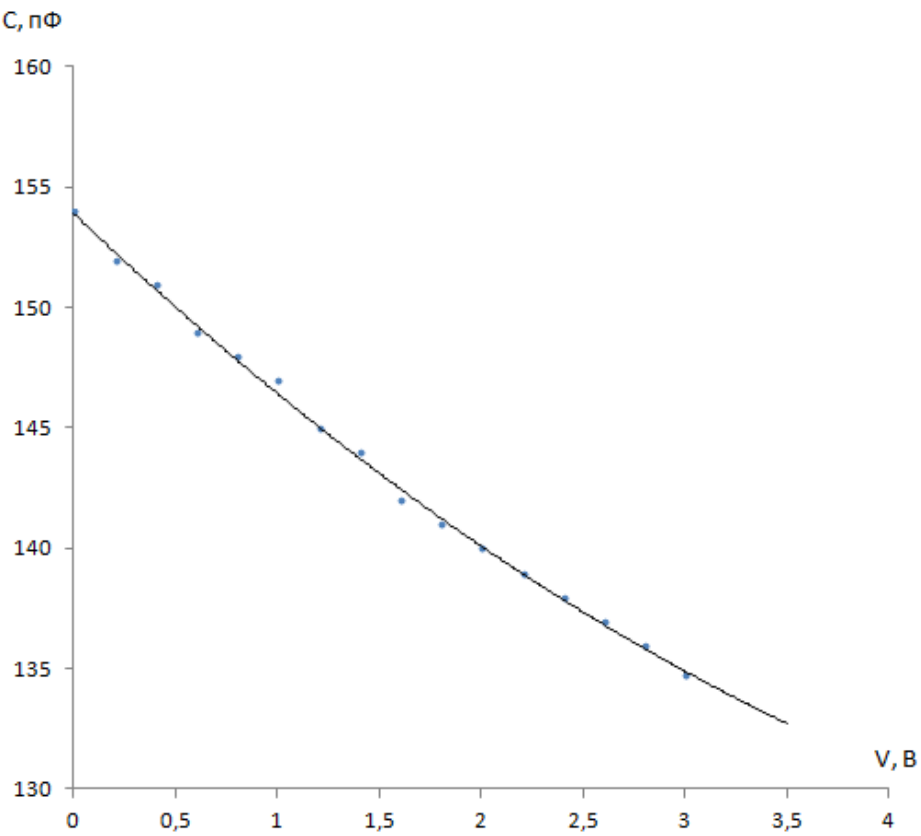


Рис. 3

$V, \text{В}$	$f, \text{кГц}$	$C, \text{пФ}$
0	223,4	154
0,2	224,4	152
0,4	225,5	151
0,6	226,9	149
0,8	227,8	148
1	228,9	147
1,2	229,9	145
1,4	230,9	144
1,6	232,1	142
1,8	233,4	141
2	234,2	140
2,2	235,4	139
2,4	236,2	138
2,6	237	137
2,8	237,8	136
3	238,7	135

A2^{0.90} Постройте график зависимости ёмкости схемы от приложенного к нему напряжения $C(V + V_0)$. Определите параметры χ и β .

По формуле резонансной частоты колебательного контура $C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}$ пересчитываем зависимость $C(V_0)$.



Из касательной графика в нуле находим χ

$$\chi = (4 - 9) \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{В}}$$

Из касательных графика в точках $V_0 = 0,0 \text{ В}$ и $V_0 = 2,8 \text{ В}$:

$$\beta = \frac{C'(2,8) - C'(0,0)}{2 * 2,8}$$

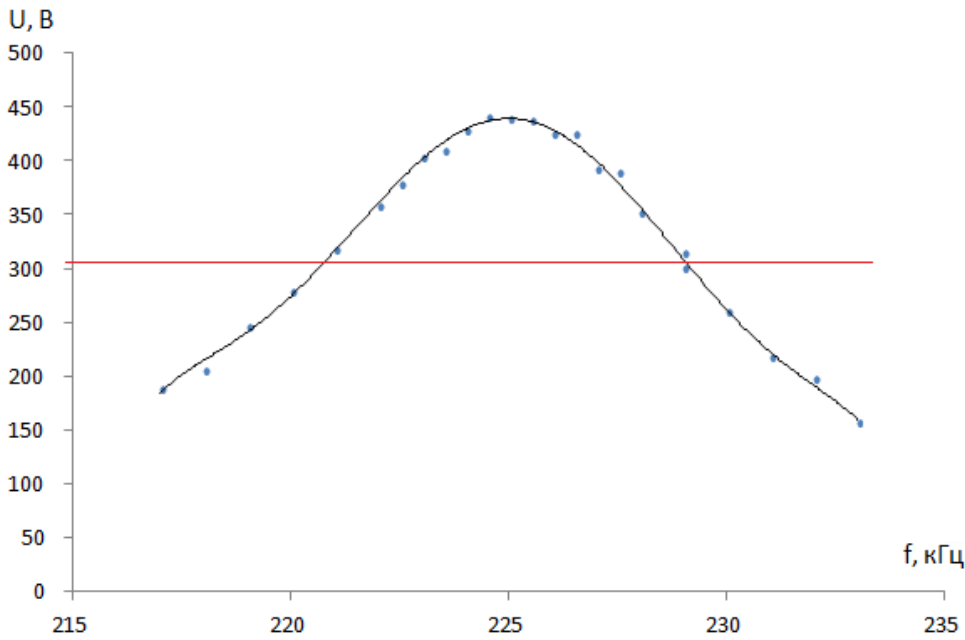
$$\beta \sim 10^{-12} \div 10^{-13} \frac{\Phi}{\text{В}^2}$$

A3^{1.00} Снимите резонансную кривую для $V_0 = 0,3 \text{ В}$. По полученной зависимости определите добротность контура Q .

Устанавливаем напряжение на источнике постоянного напряжения $V_0 = 0,3 \text{ В}$. Снимаем с осциллографа зависимость $U_{\sim}(f)$.

f , кГц	U , мВ
224,5	441
225	439
225,5	438
224	429
226	425
226,5	425
223,5	410
223	404
227	393
227,5	389
222,5	378
222	359
228	352
221	318
229	315
229	301

220	279
230	260
219	246
231	218
218	205
232	198
217	188
233	157



Из полученного графика находим ширину контура по напряжению $U_{\sim} = \frac{U_{\sim,max}}{\sqrt{2}}$:

$$\delta f = 8 \text{ кГц}$$

$$Q = \frac{f_0}{\delta f} = 28$$

A4^{0.40} Теоретически вычислите добротность контура через его параметры (не используя резонансную кривую).

Из графика пункта A2 находим $C_k(0,3) = 151,7 \text{ пФ}$.
Измеряем мультиметром $r + r_L = 33 \text{ Ом}$

$$Q = \frac{1}{r + r_L} \sqrt{\frac{L}{C_k(0,3)}} = 140$$

B1^{0.60} Выразите γ и ω_0 через r, r_L, C_k, L .

$$\gamma = \frac{r + r_L}{2L}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC_k}}$$

B2^{0.90} Пусть частота колебаний внешнего напряжения $\omega = \frac{\omega_0}{2}$. Найдите решение уравнения колебаний переменной составляющей напряжения на варикапе U_1 в первом(линейном) приближении при слабом затухании ($\gamma \ll \omega_0$).

В первом(линейном) приближении при слабом затухании ($\gamma \ll \omega_0$) пренебрегаем членами $\alpha'U^2$ и $2\gamma\dot{U}$. Получаем уравнение:

$$\ddot{U} + \omega_0^2 U = -\omega_0^2 U_0 sin(\frac{\omega_0}{2}t)$$

Решаем полученное уравнение:

$$U_1 = -\frac{4}{3}U_0sin\left(\frac{\omega_0t}{2}\right)$$

В3 0.60

При учете нелинейных членов(во втором приближение) решение уравнения колебаний переменной составляющей напряжения на варикапе представляет суперпозицию $U = U_1 + U_2$. Получите уравнение колебаний для U_2 в терминах $\alpha', \gamma, \omega_o, U_0$.

Подставляем в исходное уравнение $U = U_1 + U_2$:

$$\ddot{U}_2 + 2\gamma\dot{U}_2 + \omega_0^2U_2 + \omega_0^2U_0sin(\omega t) - \alpha'U_2^2 = \alpha'U_1^2 + 2\alpha'U_1U_2$$

Подставляем найденное первое приближение $U_1 = -\frac{4}{3}U_0sin\left(\frac{\omega_0t}{2}\right)$:

$$\ddot{U}_2 + 2\gamma\dot{U}_2 + \omega_0^2U_2 - \alpha'U_2^2 = \frac{8\alpha'}{9}U_0^2 - \frac{8\alpha'}{9}U_0^2cos(\omega_0t) - \frac{8\alpha'}{3}U_0U_2sin\left(\frac{\omega_0t}{2}\right)$$

В4 0.90

Считая, что $U_1 \gg U_2$ найдите из полученного в пункте В3 уравнения поправку U_2 к напряжению на варикапе.

Пренебрегаем $2\alpha'U_1U_2$ по сравнению с $\alpha'U_1^2$ получаем:

$$\ddot{U}_2 + 2\gamma\dot{U}_2 + \omega_0^2U_2 - \alpha'U_2^2 = \frac{8\alpha'}{9}U_0^2 - \frac{8\alpha'}{9}U_0^2cos(\omega_0t)$$

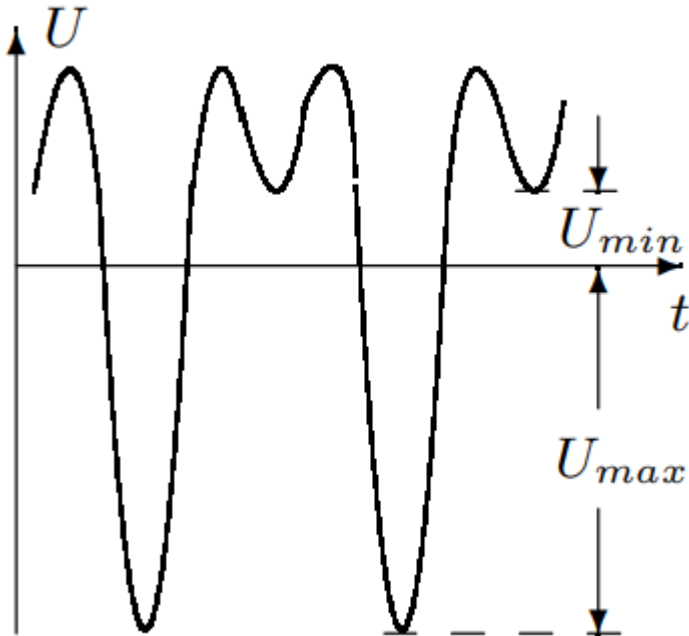
Ищем решение в виде $U_2 = A + Bsin(\omega_0t)$. Получаем конечное выражение для поправки $U_2 = -\frac{8\alpha'}{9\omega_0^2}U_0^2 - \frac{4\alpha'}{9\gamma\omega_0}U_0^2sin(\omega_0t)$.

В5 1.00

Установите частоту генератора $\omega = \frac{\omega_0}{2}$. Снимите экспериментальную зависимость амплитуды A_2 колебаний с частотой ω_0 от индуктивности в цепи.

Собираем схему (рис. 3). Находим резонансную частоту ω_0 контура по максимуму колебаний напряжения на варикапе. Устанавливаем частоту генератора $\omega = \frac{\omega_0}{2}$. Снимаем зависимость амплитуды A_2 колебаний с частотой ω_0 от индуктивности в цепи.

$$A_2 = \frac{U_{max} - U_{min}}{2}$$



<i>L</i> , мГн	<i>A</i> ₂ , мВ
15	276
30	310
45	334
7,5	210
5	170
10	238
22,5	300

В6^{0.60} Пусть $A_2 \propto L^\xi$. Из теоретической формулы для A_2 получите значение ξ .

Из пункта В4:

$$U_2 = -\frac{8\alpha'}{9\omega_0^2}U_0^2 - \frac{4\alpha'}{9\gamma\omega_0}U_0^2\sin(\omega_0t)$$

$$\alpha' \sim \frac{1}{L}$$

$$U_0^2 \sim L$$

$$\omega_0 \sim \frac{1}{\sqrt{L}}$$

$$\gamma \sim \frac{r+r_L}{L}$$

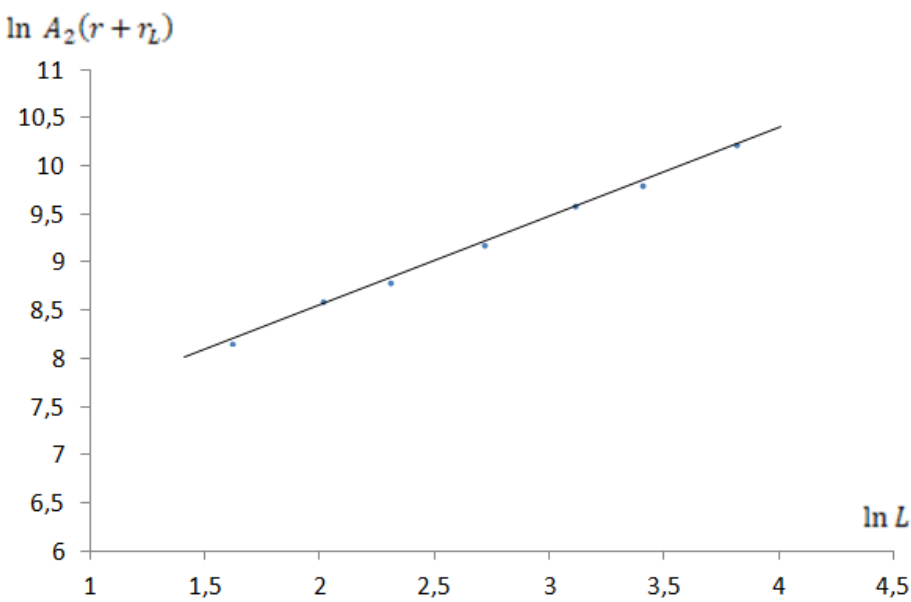
$$U_2 \sim L^{\left(\frac{3}{2}\right)}$$

$$\xi = \frac{3}{2}$$

В7^{1.00} Найдите значение ξ по измеренной зависимости $A_2(L)$

Из пункта В6 видно, что амплитуда колебаний A_2 зависит от L и r_L параметров катушки включенной в цепь. Измеряем мультиметром $r + r_L$ для различных значений L . Строим график $\ln (A_2(r + r_L))$ от $\ln L$.

$L, \text{ мГн}$	$A_2, \text{ мВ}$	$r + r_L, \text{ Ом}$	$\ln A_2(r + r_L)$	$\ln L$
15	276	36	9,2	2,71
30	310	59	9,81	3,4
45	334	83	10,23	3,81
7,5	210	26	8,61	2,01
5	170	21	8,18	1,61
10	238	28	8,8	2,3
22,5	300	49	9,6	3,11



Из коэффициента наклона графика получаем $\xi = 0,9$.

B8^{0.90}

Установите на варикапе $V_0 = 0,3$ В, амплитуду генератора $\mathcal{E}_0 = 12$ В. Зарисуйте зависимости переменного напряжения на варикапе от времени для $\omega = \frac{\omega_0}{n}$ для $n = 3, 4, 5$.

