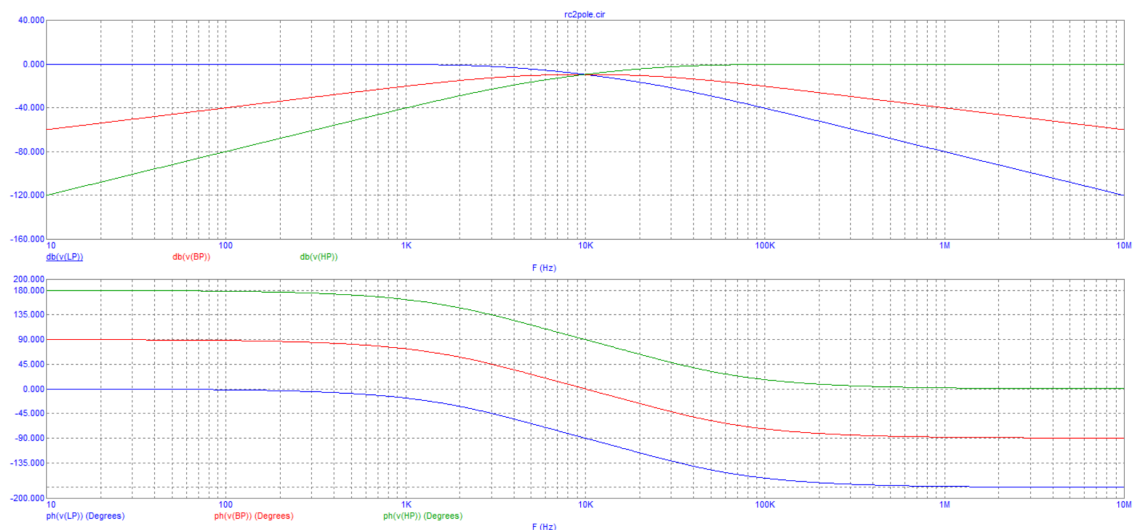
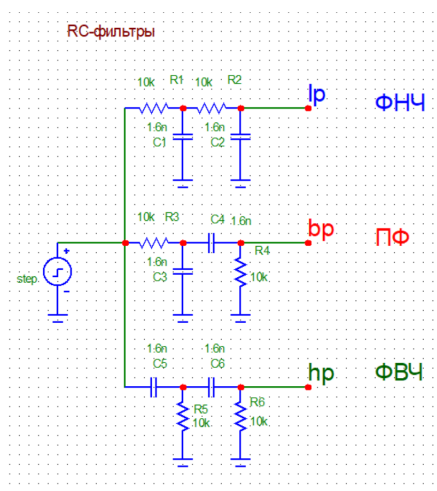


ЗАДАНИЕ 2

1. Откроем модель **rc2pole.cir**.



По графикам определим затухание на частоте $f_0 \simeq 10 \text{ кГц}$, оно равно $-9,6 \text{ dB}$ и скорость его нарастания в полосах задержания $-40,4 + 9,6 = -30,8 \text{ dB/декада}$. По графикам ФЧХ измерим значения фазовых сдвигов ФВЧ, ПФ и ФНЧ на частотах $0, f_0, \infty$.

	ФВЧ	ПФ	ФНЧ
0	180	90	0
f_0	90	0	-90
∞	0	-90	-180

Двухсторонняя полоса Δf пропускания ПФ $\approx 30 \text{ кГц}$, что в три раза больше f_0 . Это сходится с теорией.

2. Откроем графики переходных характеристик.

Оценим время спада τ_- первого выброса переходной характеристик ФВЧ до уровня $1/e \simeq 0,37$:

$$\tau_- = 5 \text{ мкс}$$

Оценим время нарастания t_+ фронта переходной характеристики ФНЧ до уровня $1 - 1/e \simeq 0,63$:

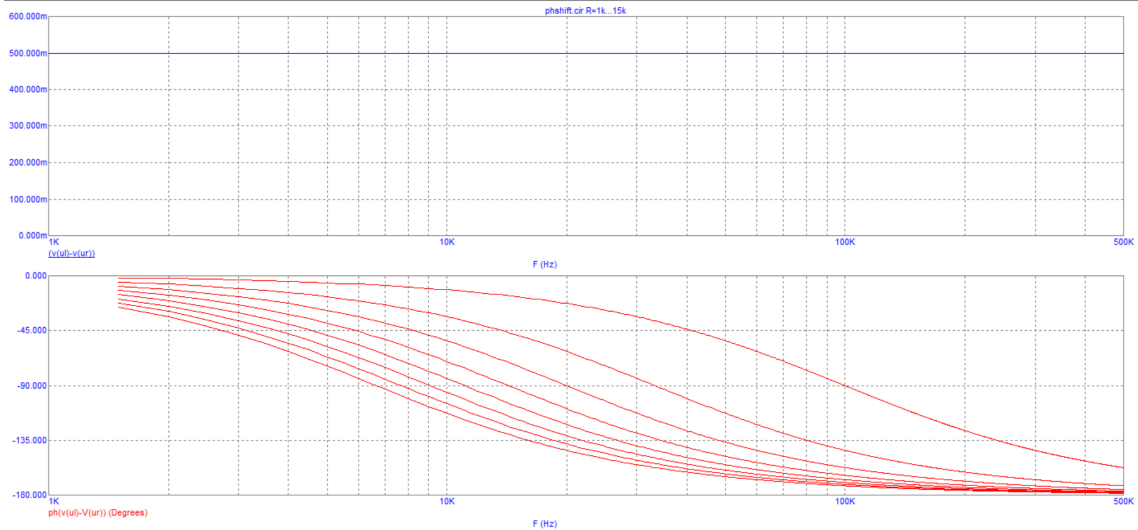
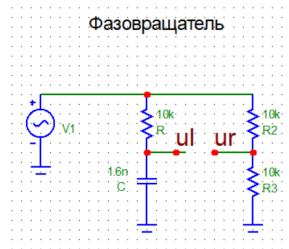
$$\tau_+ = 61 \text{ мкс}$$

Найдем их отношение:

$$\frac{\tau_+}{\tau_-} = 12,2$$

ЗАДАНИЕ 3

1. Откроем модель **phshift.cir**.

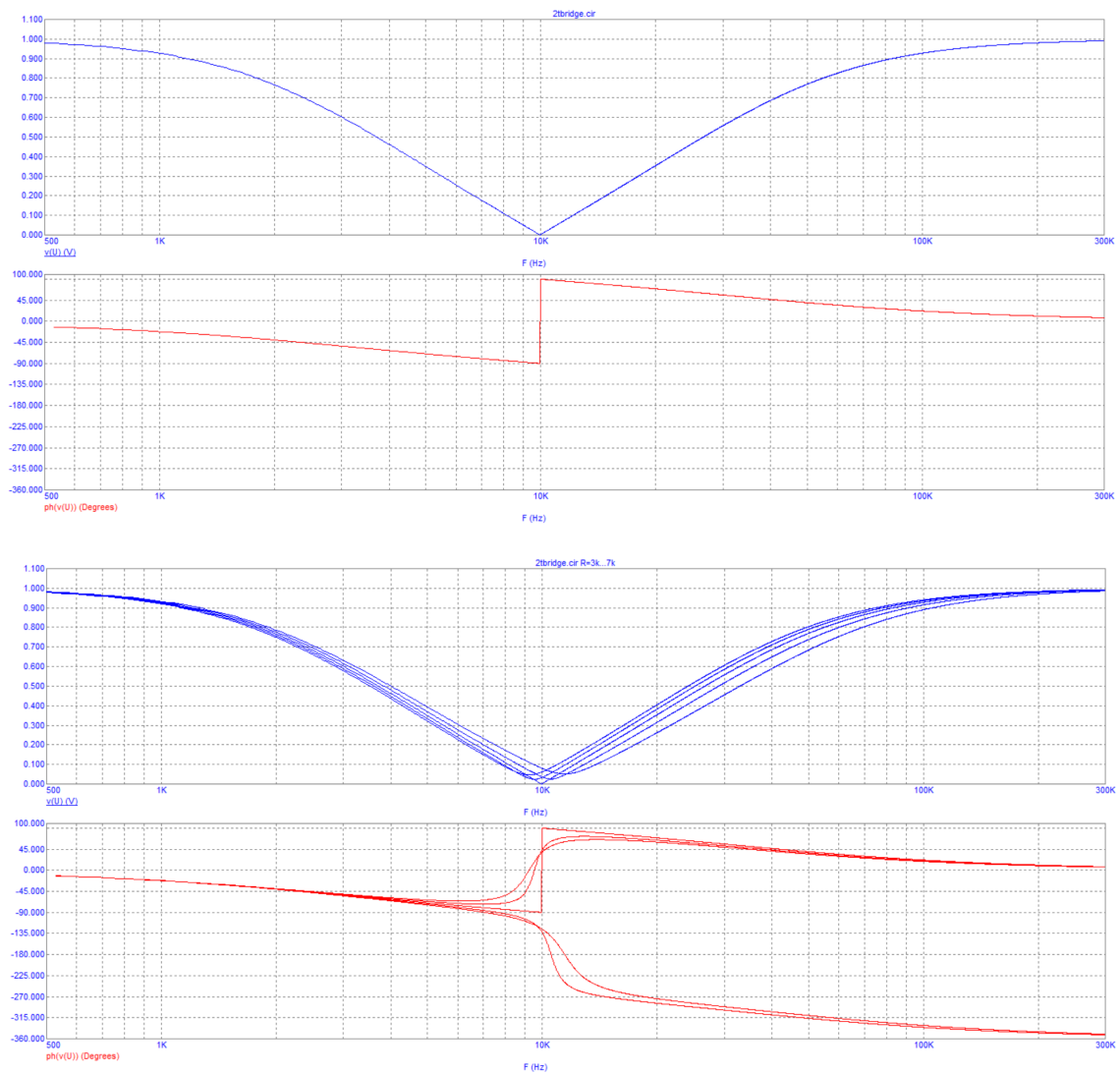
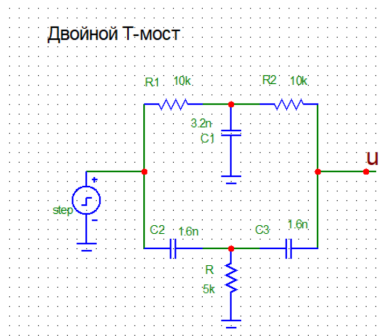


Наибольший диапазон перестройки реализуется на частоте $f = 20 \text{ кГц}$. Границы этого диапазона $[-143, 4; -22, 7]$.

2. Откроем модель двойного T -моста **2tbridge.cir**.

Измерим полосу режекции $\Delta f = 39 \text{ кГц}$. $f_0 = 10 \text{ кГц}$, следовательно выполняется $\Delta f = f_0$.

При росте R , f_0 падает. При $R = 5 \text{ кОм}$ наблюдается скачок на ФЧХ.

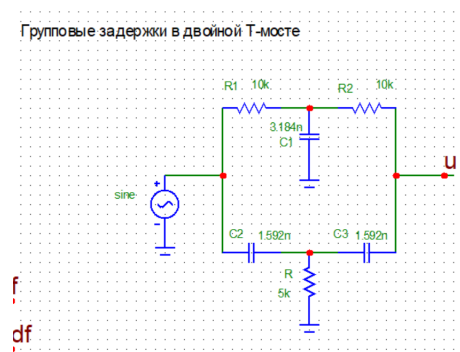
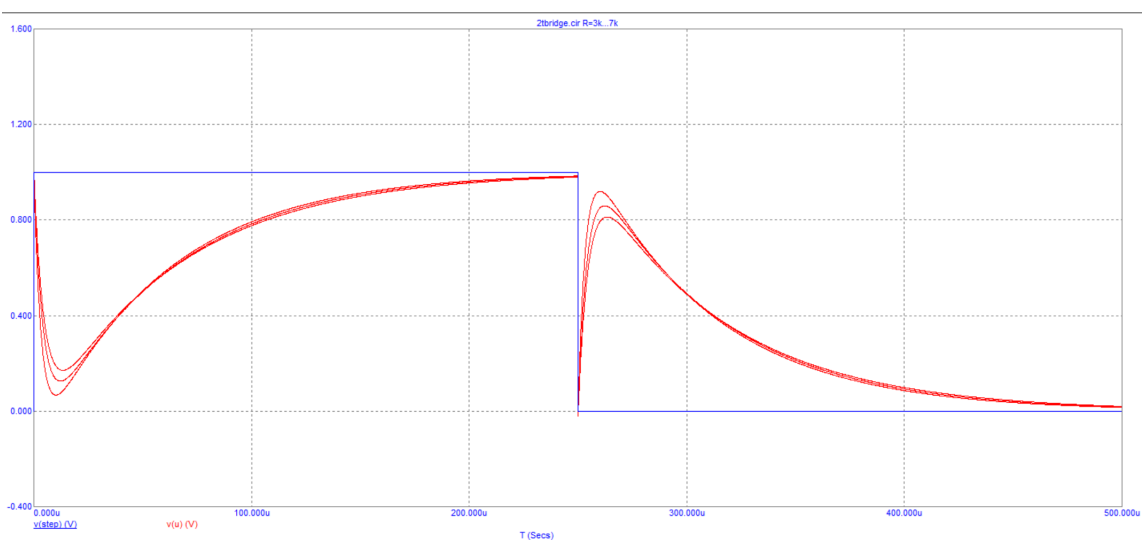
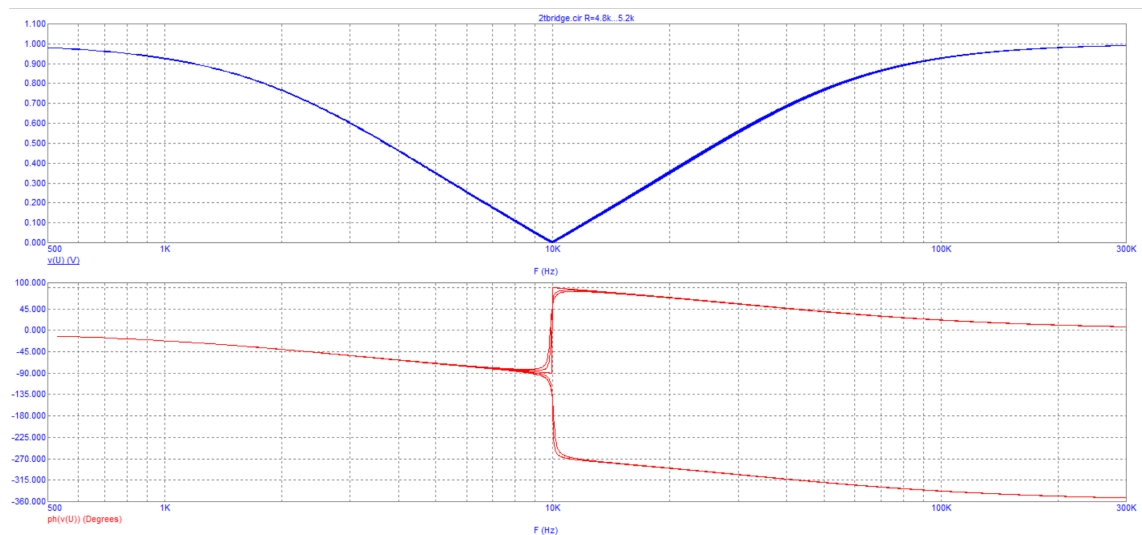


3. Подключив ко фходу источник прямоугольного импульса, проанализируем переходную характеристику. $\tau_+ = 4 \text{ мкс}$, $\tau_- = 58 \text{ мкс}$. Это сходится с теоретическими значениями.

Варьирование приводит к усреднению функции.

4. Откроем модель **2tdelay.cir**.

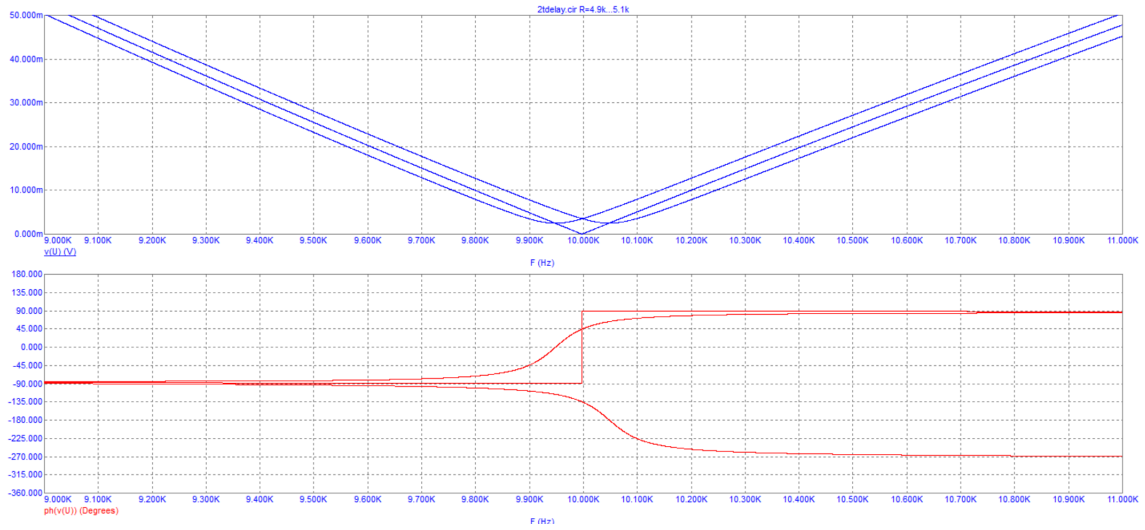
Оценим $Q = f_0 / \Delta f$.



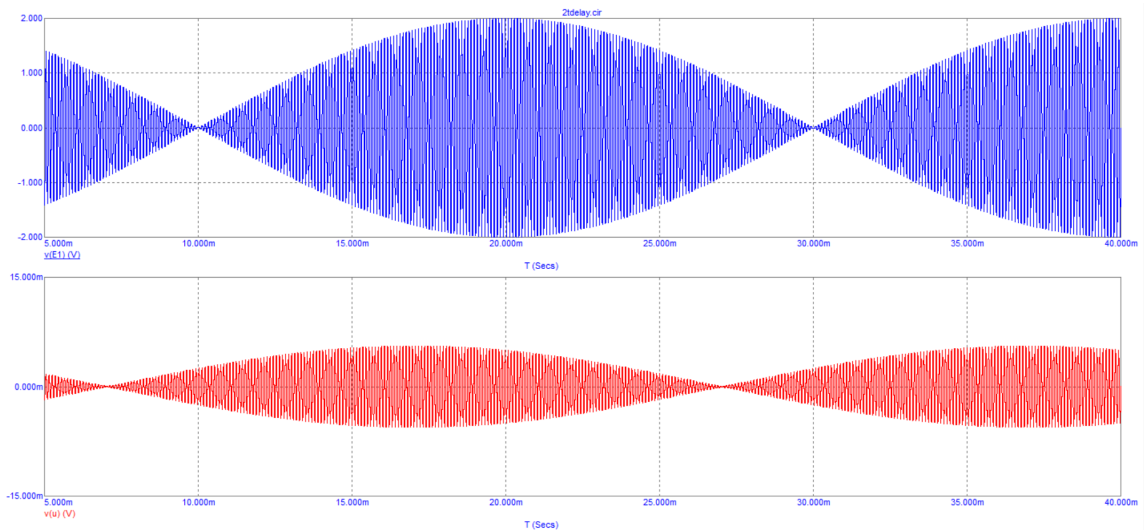
$R, \kappa\Omega$	4,9	5	5,1
$f_0, \kappa\Gamma\text{ц}$	10,05	10	9,95
$\Delta f, \kappa\Gamma\text{ц}$	0,05	$10^{-4} \cdot 2,5$	0,05
Q	100,5	40000	99,5

В режиме *Transient* измерим групповые задержки τ_g :

$$\tau_g = 3 \text{ мс},$$



значение для обоих случаев ($R = 4,9 \text{ кОм}$, $f = 10,05 \text{ кГц}$ и $R = 5,1 \text{ кОм}$, $f = 9,95 \text{ кОм}$).



ЗАДАНИЕ 5

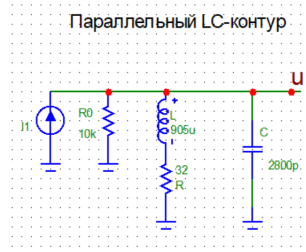
1. Откроем в MicroCap модель **parallel.cir** параллельного контура с $f_0 = 100 \text{ кГц}$, $Q = 570$. По схеме оценим параметры:

$$\alpha = \frac{\rho}{R_0}$$

$$\beta = \frac{R}{\rho}$$

$$Q = \frac{1}{\alpha + \beta}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = 568$$



$$\alpha = 0,0568 \quad \beta = 0,0563$$

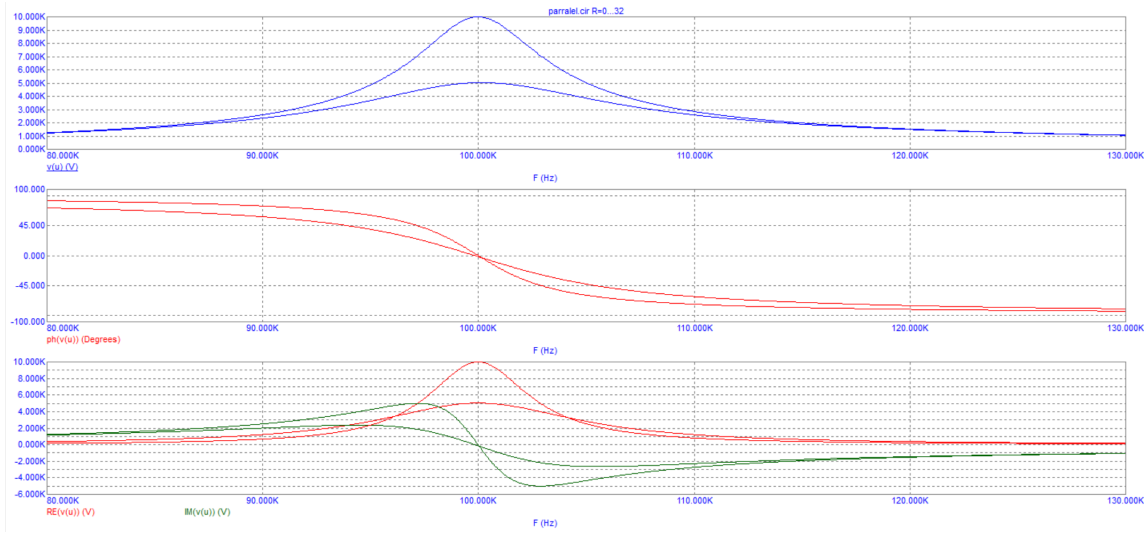
$$Q = 8,84$$

2. Найдем резонансную частоту $f_0 = 100 \text{ кГц}$, полосу пропускания $\Delta f = 11,6 \text{ кГц}$. Измерим сопротивление контура $R_0 = 5 \text{ кОм}$. Оценим добротность как:

$$Q = \frac{R_0}{\rho} = 8,8$$

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 8,6$$

3. Изучим влияние на добротность последовательных потерь R , установив варьирование $R = [0, 32 || 32]$.



Добротность при $R = 0$:

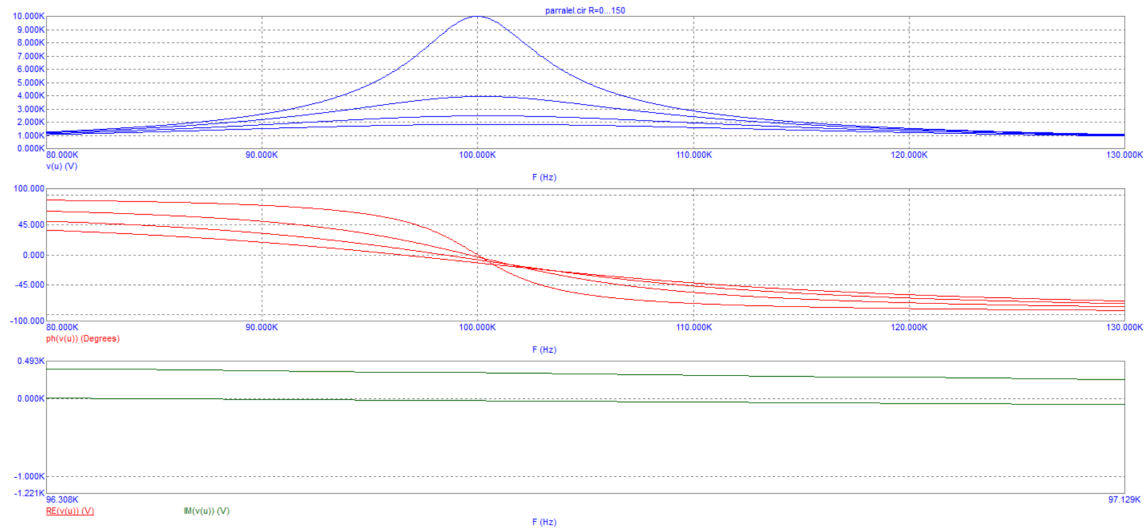
$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 17,3$$

Изучим влияние параллельных потерь R_0 , установив варьирование $R_0 = [10k, 1000k || 1000k]$. Измерим добротность при $R_0 = 1000 \text{ кОм}$:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 17,2$$

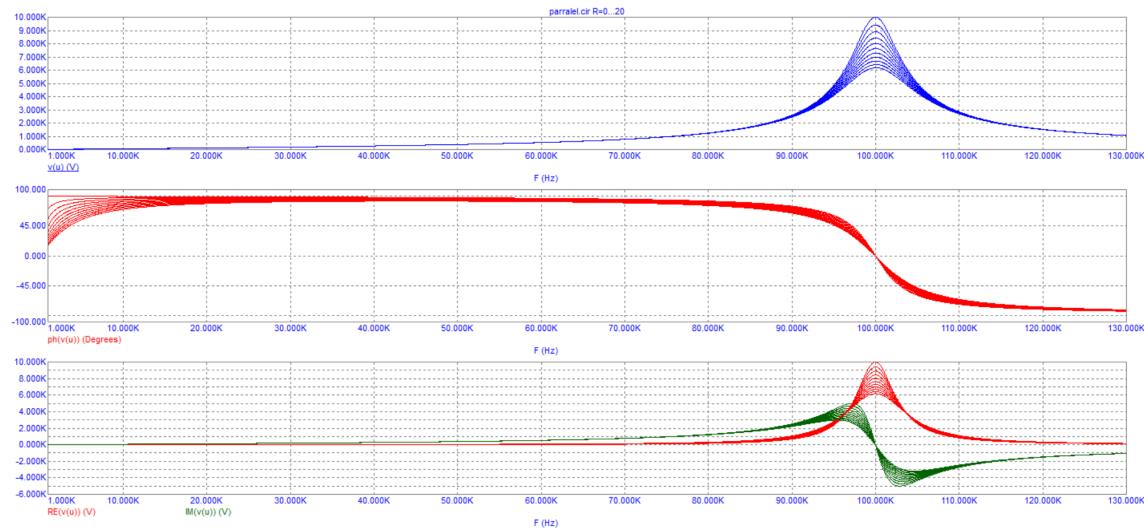
При увеличении R от 0 Ом до 32 Ом $1/Q$ меняется от 0,058 до 0,116. При увеличении R_0 от 10 $\kappa\text{Ом}$ до 1000 $\kappa\text{Ом}$ $1/Q$ меняется от 0,116 до 0,058.

4. Изучим зависимость частоты параллельного резонанса от $R = [0, 150 || 50]$.



$R, \text{Ом}$	0	50	100	150
$f_{\text{эсп}}, \kappa\text{Гц}$	100	99,6	98,42	96,4
β	0	0,088	0,176	0,264
$f_{\text{теор}}$	100	99,6	98,43	96,45

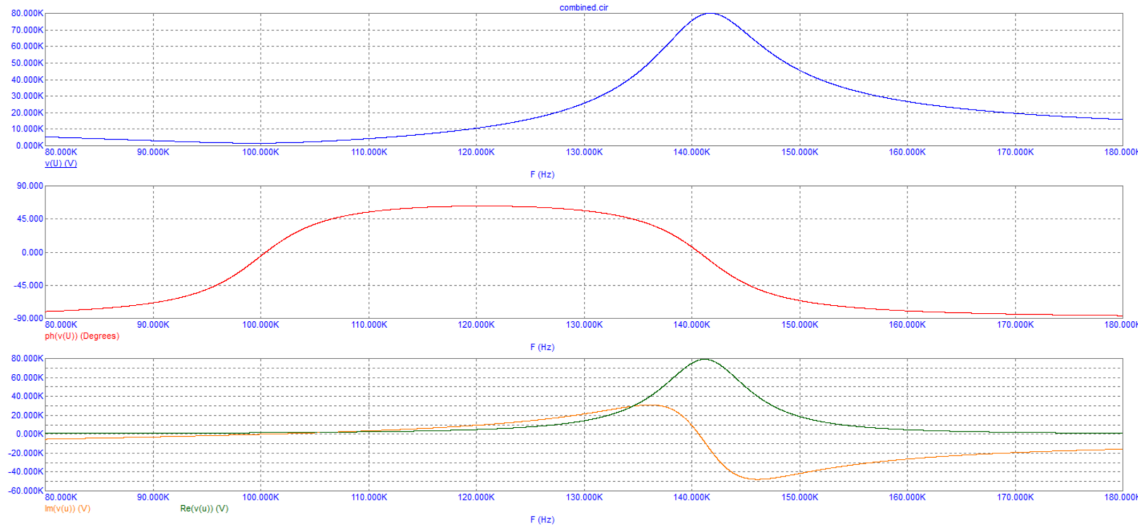
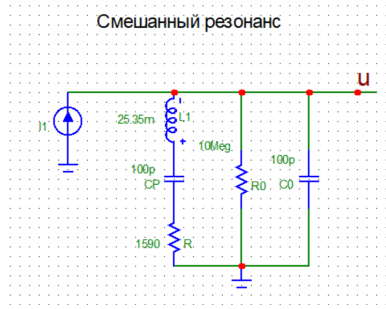
5. Исследуем влияние последовательных потерь в области низких частот. Установим частотный диапазон от 1 $\kappa\text{Гц}$ до 130 $\kappa\text{Гц}$ и будем варьировать $R = [0, 20 || 2]$.



Получаем, что при $R = 12 \text{ Ом}$ фазовый сдвиг на частоте $f = 2 \kappa\text{Гц}$ составляет $\pi/4$.

ЗАДАНИЕ 6

1. Откроем модель **combined.cir** с $f_0 = 100 \kappa\text{Гц}$, $\rho = 15,9 \kappa\text{Гц}$, $q \simeq 10$, $\alpha = 1$.



Изучим графики частотной и фазовой характеристик, а также графики частотных зависимостей вещественной и мнимой частей мпеданса.

- Измерим частоты f_p, f_0 последовательного и параллельного резонансов по точкам пересечения нуля фазовой характеристикой:

$$f_p = 100,5 \text{ кГц} \quad f_0 = 140,6 \text{ кГц}$$

Измерим полосы $\Delta f_p, \Delta f_0$, в которых фазовая характеристика изменяется в диапазоне $\pm 45^\circ$ в окрестностях резонансов.

$$\Delta f_p = 10,6 \text{ кГц}$$

$$\Delta f_0 = 10,8 \text{ кГц}$$

Оценим добротности Q_p, Q_0 и проверим, что $f_0 = f_p \sqrt{2}$, $Q_0 = Q_p \sqrt{2}$:

$$Q_p = \frac{f_p}{\Delta f_p} = 9,5$$

$$Q_0 = \frac{f_0}{\Delta f_0} = 13$$

$$Q_0 = 13 \simeq 13,43 = Q_p \sqrt{2}$$

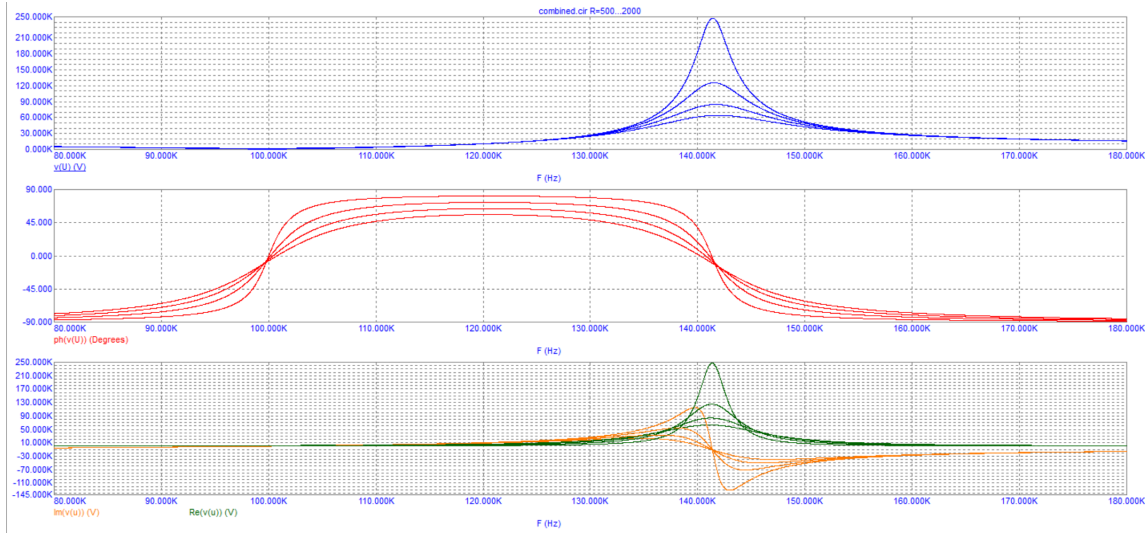
$$f_0 = 140,6 \simeq 142,1 = f_p \sqrt{2}$$

3. Измерим сопротивление контура на частотах последовательного и параллельного резонансов, сравним результаты с теоретическими значениями $(r, k^2 \rho_p, Q_p)$:

$$r_{эксн} = 1,565 \kappa O M \simeq 1,59 \kappa O M = r_{теор}$$

$$(k^2 \rho_p, Q_p)_{эксн} = 78,1 \kappa O M \simeq 79,1 \kappa O M = \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^2 \sqrt{\frac{L}{c}} (1 + \alpha) \frac{r}{\rho} = (k^2 \rho_p, Q_p)_{теор}$$

Снимем зависимость сопротивления на частоте параллельного резонанса от $R = [500, 2000 || 500]$ и емкости $C_0 = [100p, 300p || 100p]$. Сопоставим их с теорией. Осмыслим характер изменения графиков при варьировании R и C_0 .



$R, O M$	500	1000	1500	2000
$Z, \kappa O M$	247	124,4	83	61,9

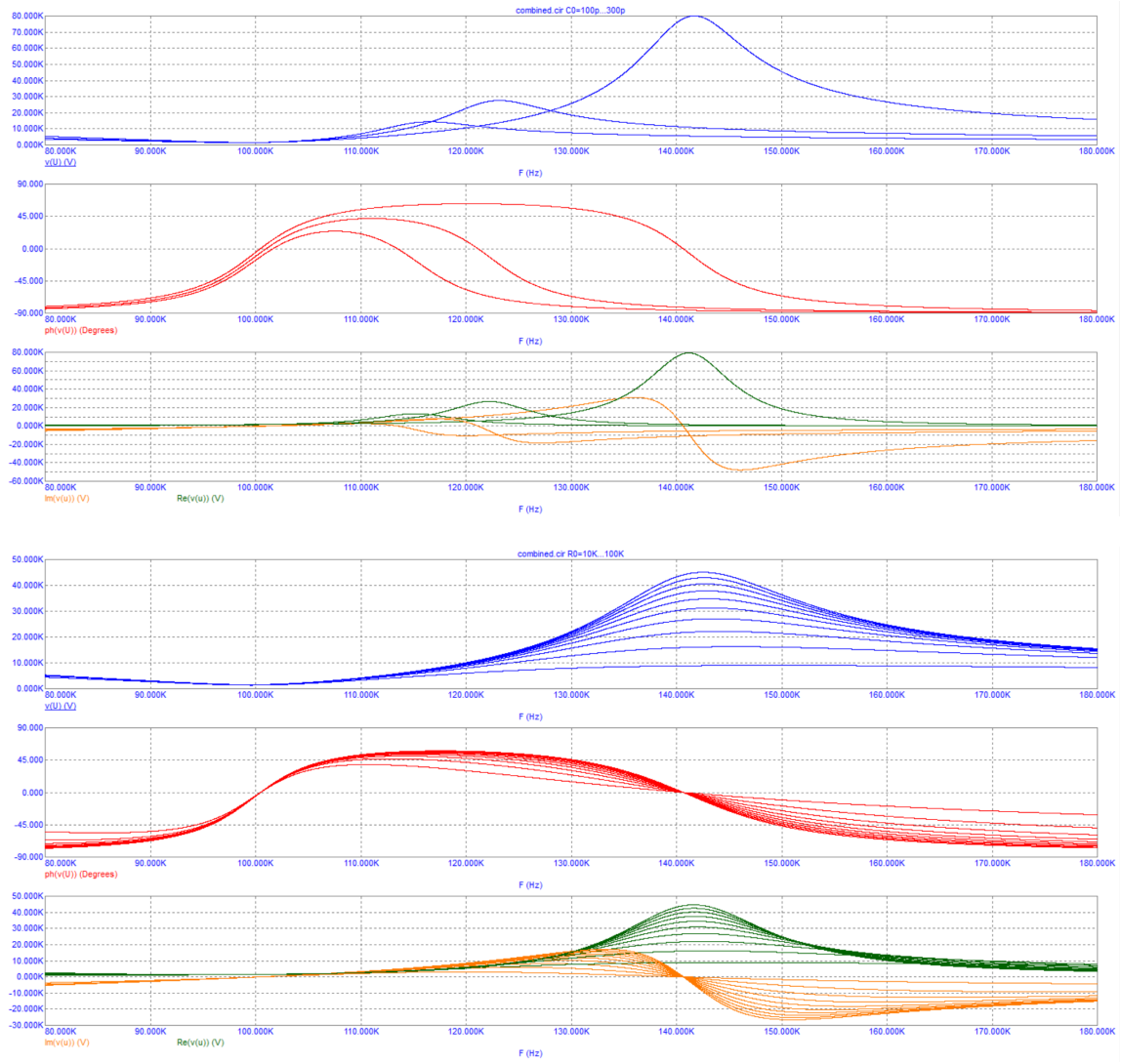
Получаем зависимость:

$$Z \sim \frac{1}{R}$$

$C_0, n \Phi$	100	200	300
$Z, \kappa O M$	78,3	25,4	11,9

Получаем зависимость:

$$Z \sim \frac{1}{C_0^2}$$



4. Обнулим последовательности потери r и варьированием $R_0 = [10k, 100k || 10k]$ подберем сопротивления параллельных потерь так, чтобы достичь того же резонансного сопротивления, что и при $r = 1590 \text{ Ом}$.

Получим $R_0 = 80 \text{ кОм}$. Проверим закон пересчета:

$$R_0 r = k^2 \rho_p^2$$

$$80000 \cdot 1590 \simeq \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot 2 \cdot 15900^2.$$

Соотношение выше выполняется.

5. Варьируя $R_0 = [80k, 10Meg || 10Meg]$ при $r = 1590 \text{ Ом}$, изучим влияние R_0 на поведения частотной и фазовой характеристик на низких частотах - в диапазоне $1k, 180k$. При увеличении R_0 частотная характеристика увеличивается, а фазовая уменьшается.

