

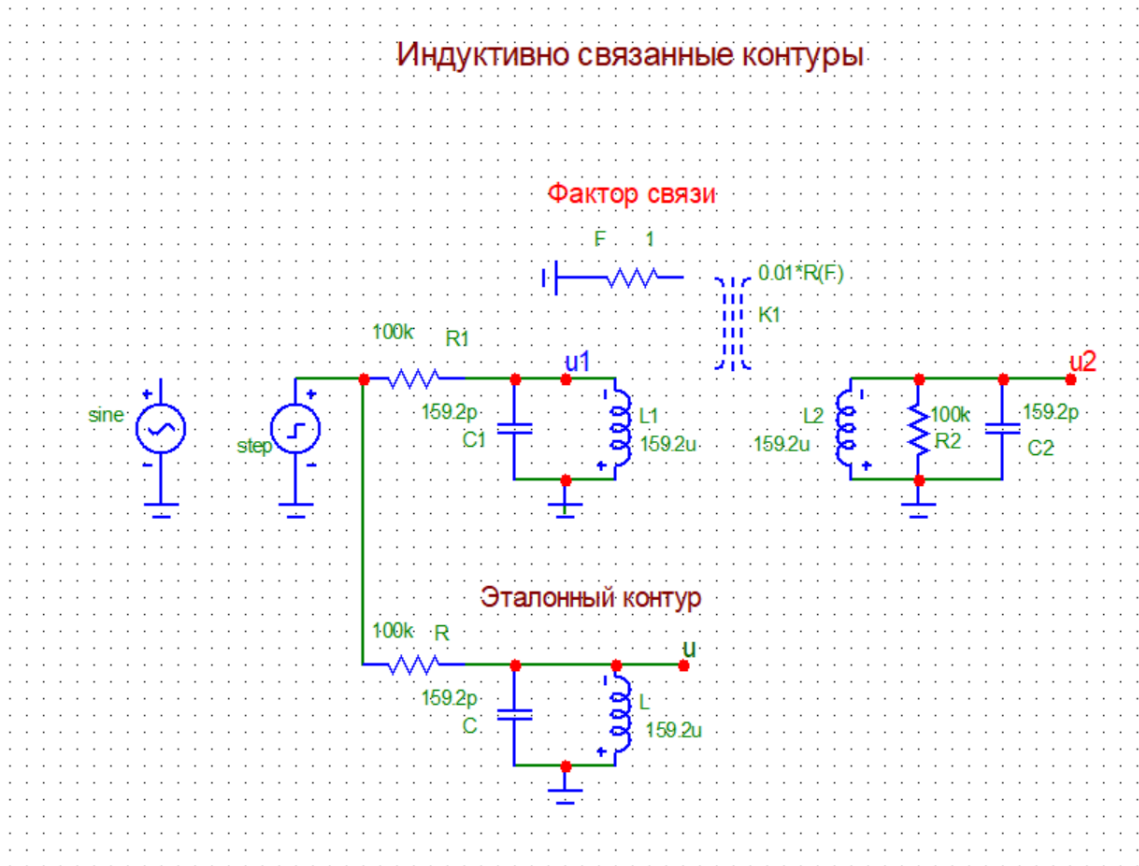
Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Работа 20

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

1 Система с индуктивной связью

1. Откроем файл 2LCM.CIR, изучим схему данной системы с индуктивной связью.



2. Оставим только **плот 2** - просто частотные характеристики схемы. Посмотрим на поведение схемы при варьировании параметров контуров при критической связи.
3. Изучим поведение резонансных кривых и фазовых характеристик при $F = [0.2, 1|0.2]$ и $F = [1, 5|1]$.

Измерим границы диапазонов изменения фаз на первом и втором контурах:

На первом контуре - от -84.161^{circ} до 84.415^{circ} , на втором контуре - от -258.322^{circ} до -78.322^{circ} ,

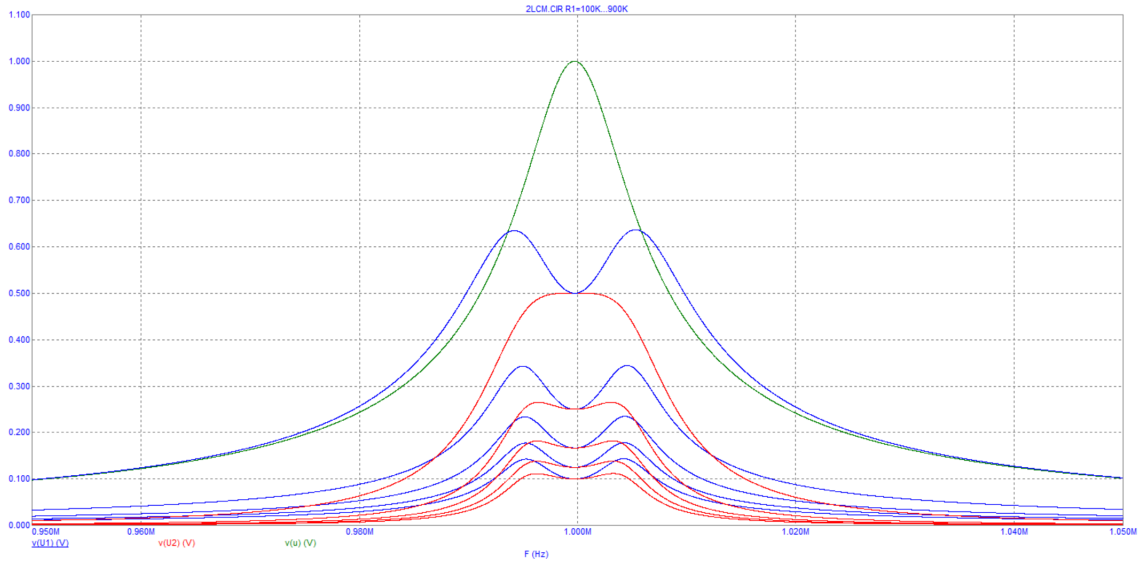


Рис. 1: $R_1 = [100k, 900k|200k]$, $R_2 = 100k$

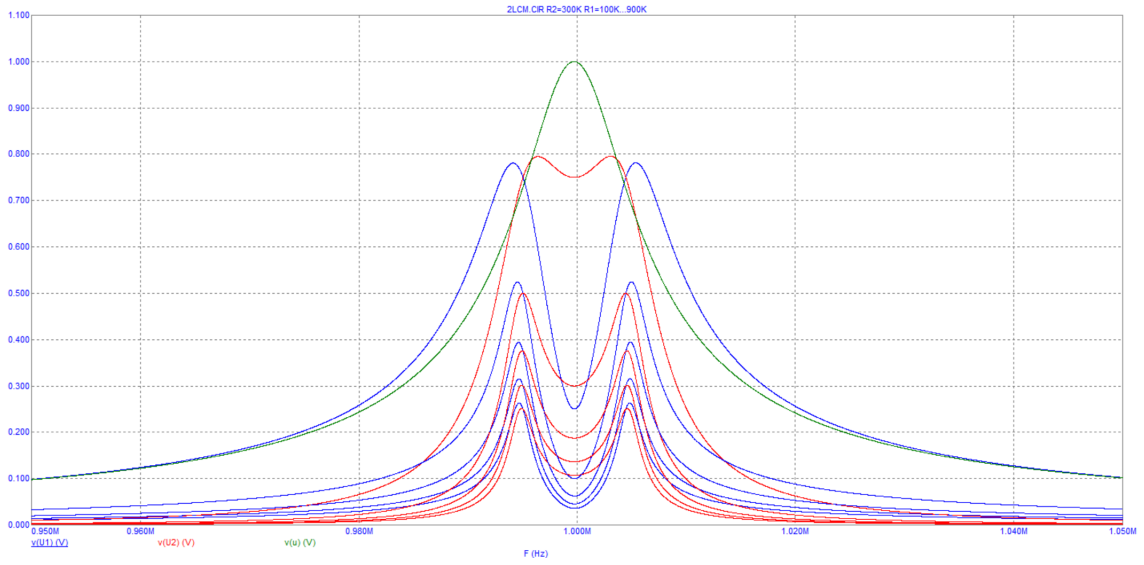


Рис. 2: $R_1 = [100k, 900k|200k]$, $R_2 = 300k$

А также разность фаз между напряжениями на контурах на частоте $f_0 : 89.238^{circ}$.

Измерив уровни $u_1(f_0)$, $u_2(f_0)$ при $F = 0.5; 1; 2$, проверим формулы:

$$u_1(f_0) = \frac{1}{1 + F^2}, u_2(f_0) = \frac{F}{1 + F^2} \quad (1)$$

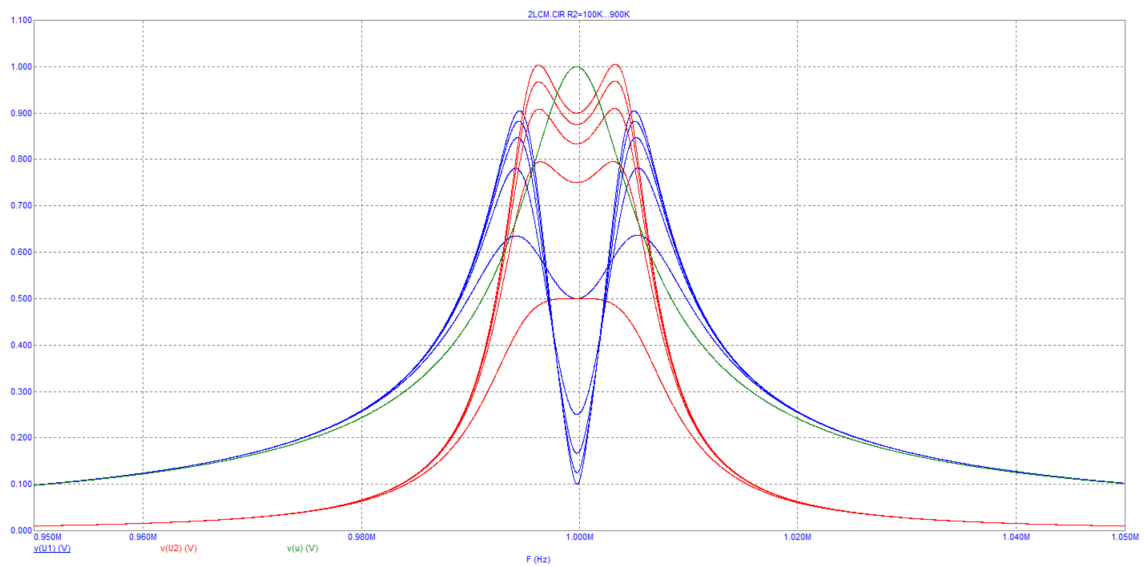


Рис. 3: $R_1 = 100k$, $R_2 = [100k, 900k|200k]$

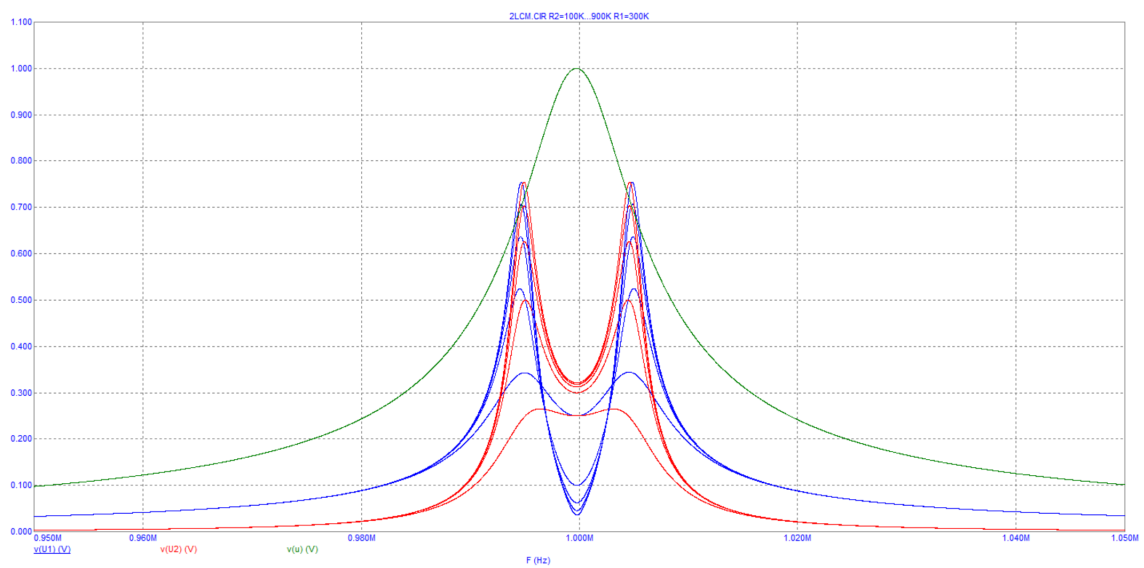


Рис. 4: $R_1 = 300k$, $R_2 = [100k, 900k|200k]$

F	1	0.5	2
$u_1(f_0)_{\text{эксп}}$	0.5	0.8	0.2
$u_1(f_0)_{\text{теор}}$	0.5	0.8	0.2
$u_2(f_0)_{\text{эксп}}$	0.5	0.4	0.2
$u_2(f_0)_{\text{теор}}$	0.5	0.4	0.4

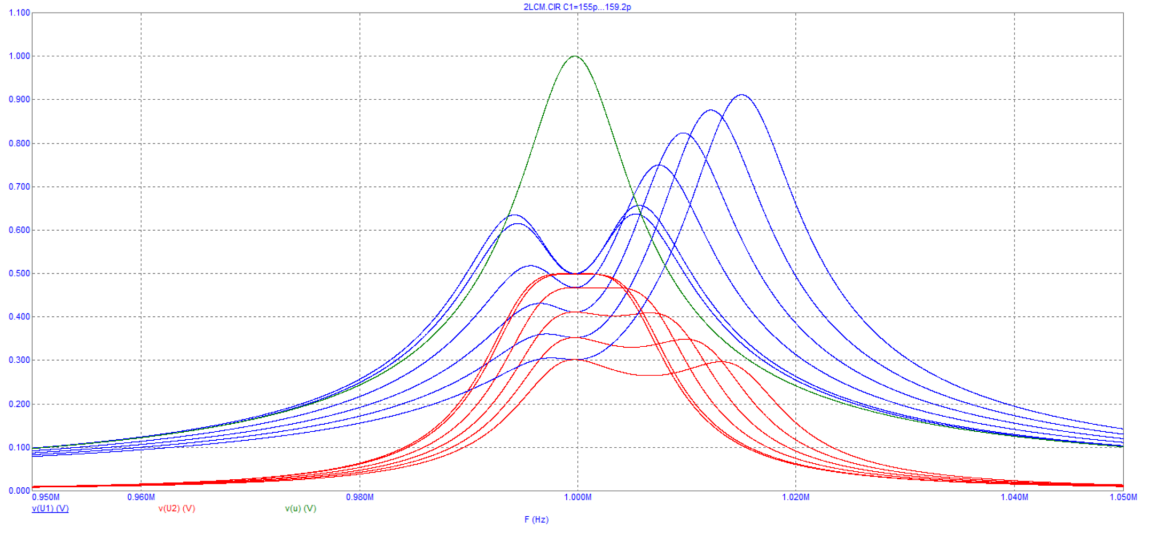


Рис. 5: $R_1 = 100k$, $R_2 = 100k$, $C_1 = [155p, 159, 2p|1p]$

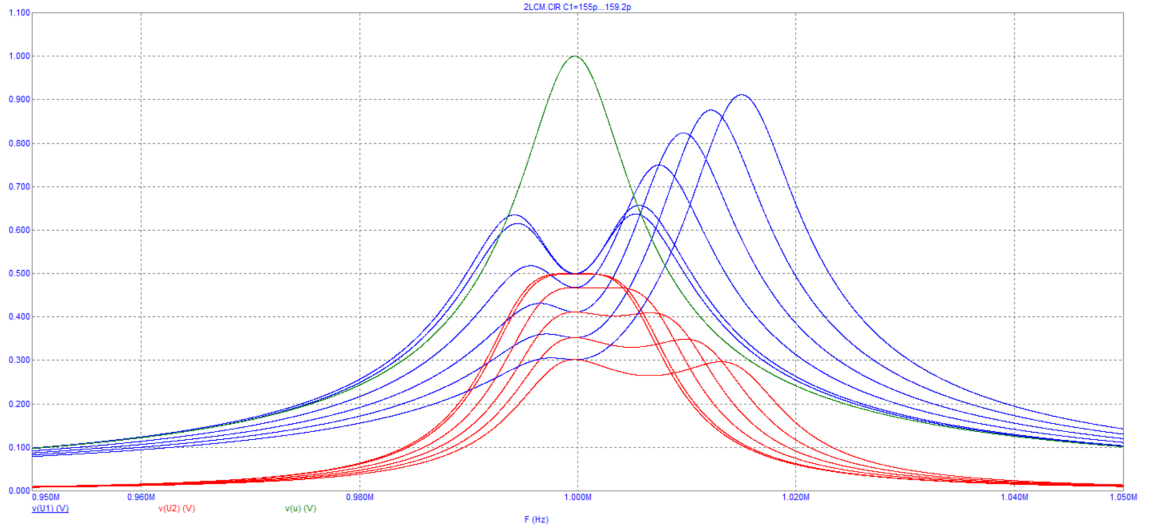


Рис. 6: $R_1 = 100k$, $R_2 = 100k$, $C_2 = [155p, 159, 2p|1p]$

Формула (1) выполняется.

4. Измерим значения F , при которых возникает: а) провал на первом контуре: $F \approx 0.55$, б) провал на втором контуре: $F > 1$, в) подъем на фазовой характеристике первого контура: $F > 1$.

Измерив частоты пересечения нуля фазовой характеристикой u_1 при $F = 5$ ($\nu = 976.121k, 1.001M, 1.025M$) и при $F = 10$ ($\nu =$

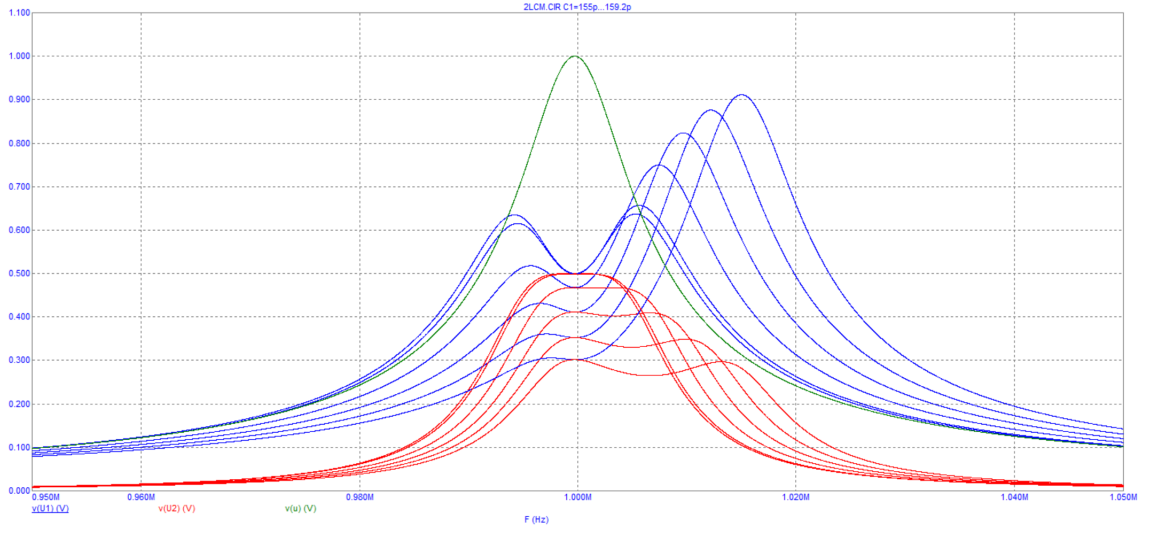


Рис. 7: $R_1 = 100k$, $R_2 = 100k$, $C_1 = [159, 2p, 165p|1p]$

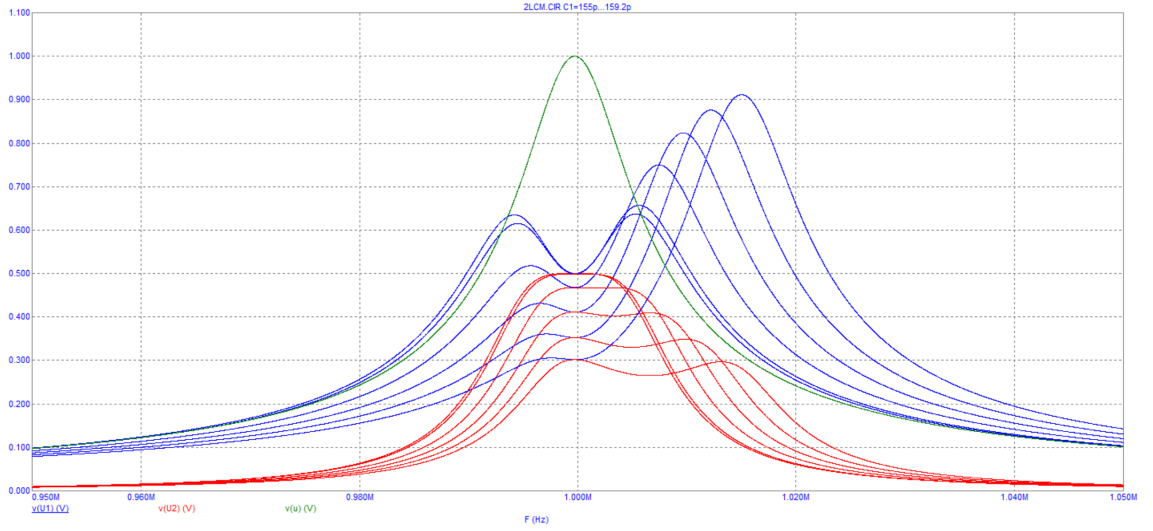


Рис. 8: $R_1 = 100k$, $R_2 = 100k$, $C_2 = [159, 2p, 165p|1p]$

953.430k, 1.005M, 1.054M), проверим приближённые $(f_0 \pm FF_0)$ и уточнённые $(f_0 \sqrt{1 \pm \frac{F}{Q}})$.

- Оставим только плот 1. При критической связи измерим ширину полосы по уровню -3dB эталонного контура ($\Delta f = 10.273k$) и ширину полосы по уровню -9dB резонансной кривой на втором контуре ($\Delta f = 14.279k$). Убедимся, что их отношение составляет $\sqrt{2}$.

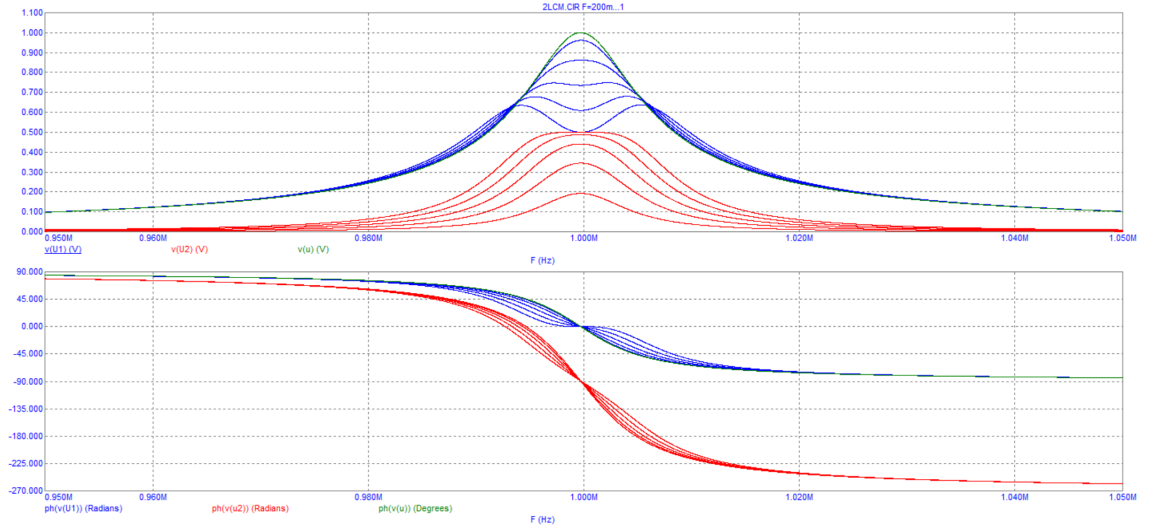


Рис. 9: $F = [0.2, 1|0.2]$

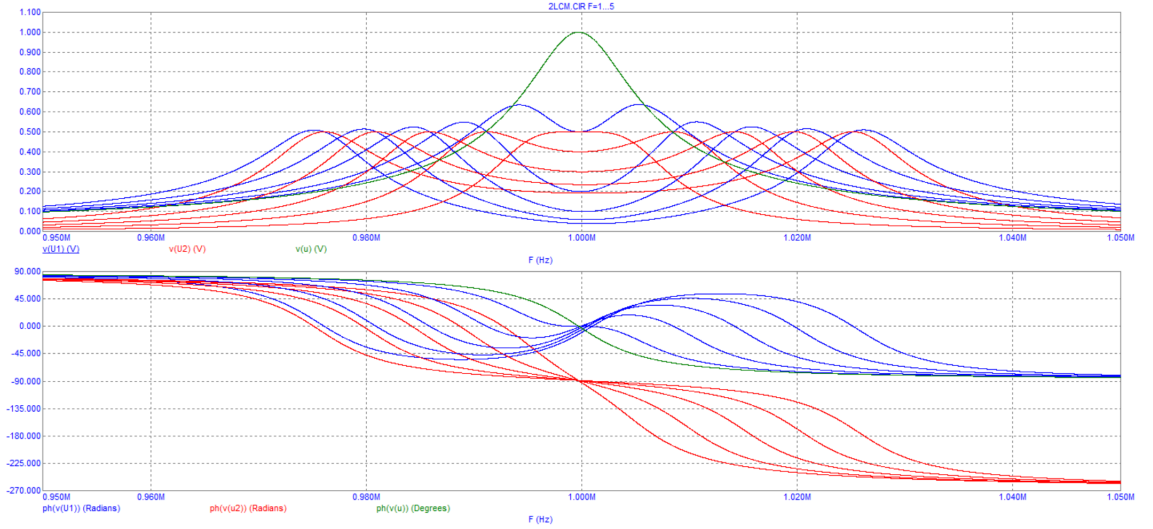


Рис. 10: $F = [1, 5|1]$

Измерим уровни затухания критической кривой при сдвигах по частоте на декаду F_0 , то есть на $\pm 10F_0 = \pm 50k$ (затухание - $-34 \frac{dB}{\text{дек}_{F_0}}$). Варьируя сопротивление потерь эталонного контура $R = [60k, 80k|5k]$, выясним, что при добротности $Q = 68.6$ ($R = 70k, \Delta f = 14.557k$) его полоса сравнивается с полосой двухконтурной системы. Измерим затухание, вносимое эталонным котуром с этой добротностью при расстройках на декаду F_0 (затухание - $-16.7 \frac{dB}{\text{дек}_{F_0}}$). Оценим

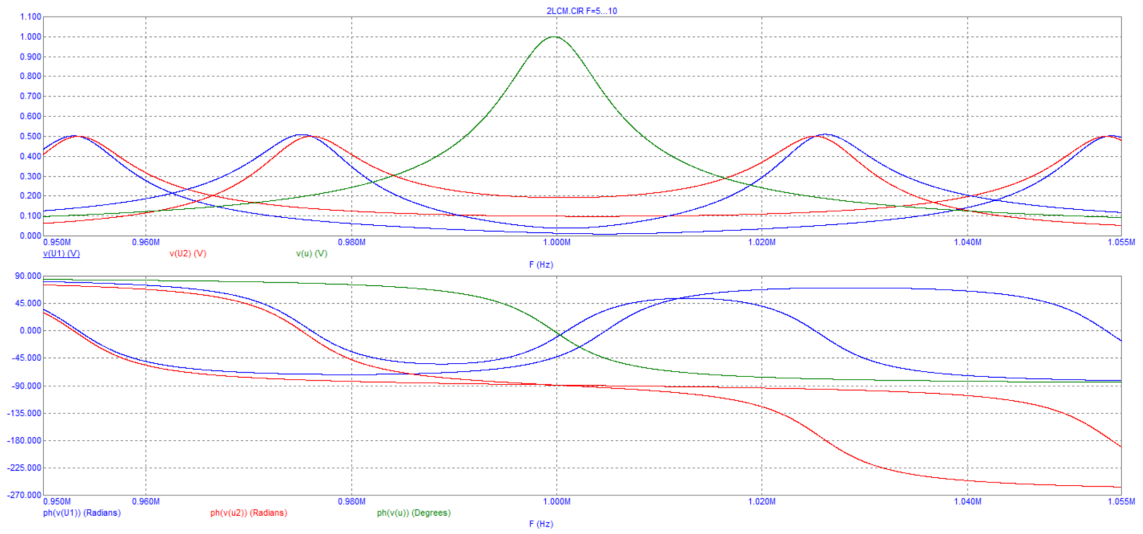


Рис. 11: $F = [5, 10|5]$

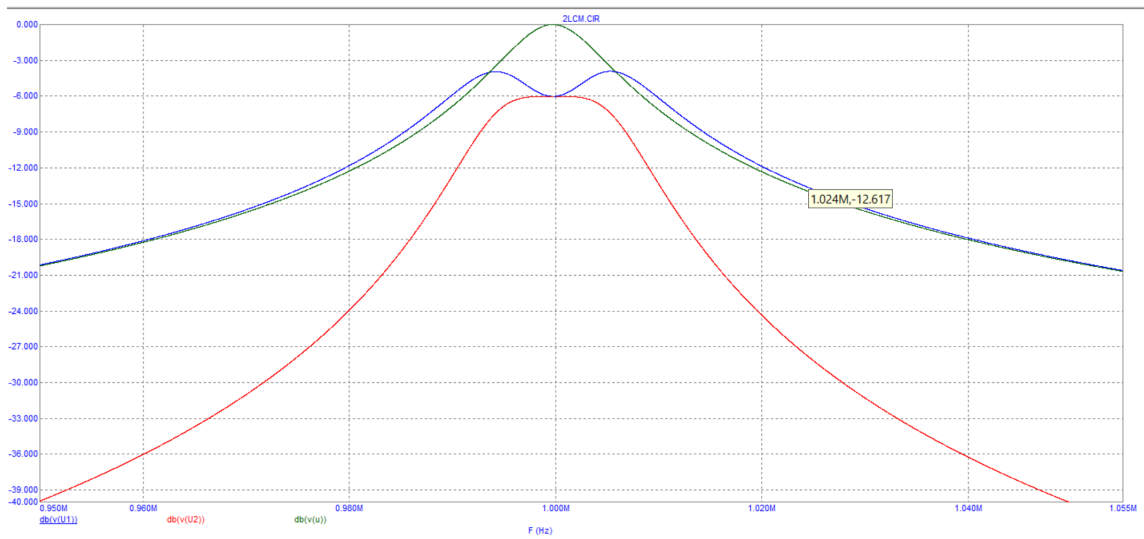


Рис. 12: Схема с начальными характеристиками

выигрыш двухконтурной системы по затуханию: выигрыш $\simeq 2$ раза.

6. Изучим поведение резонансных кривых при $F = [0.5, 1|0.1]$.

Найдём значение $F = [0.65, 0.75|0.05]$, при котором полоса двухконтурной системы по критическому уровню -9dB сравнивается с полосой $10k$ эталонного контура: $F = 0.75$. При этом значении F оценим

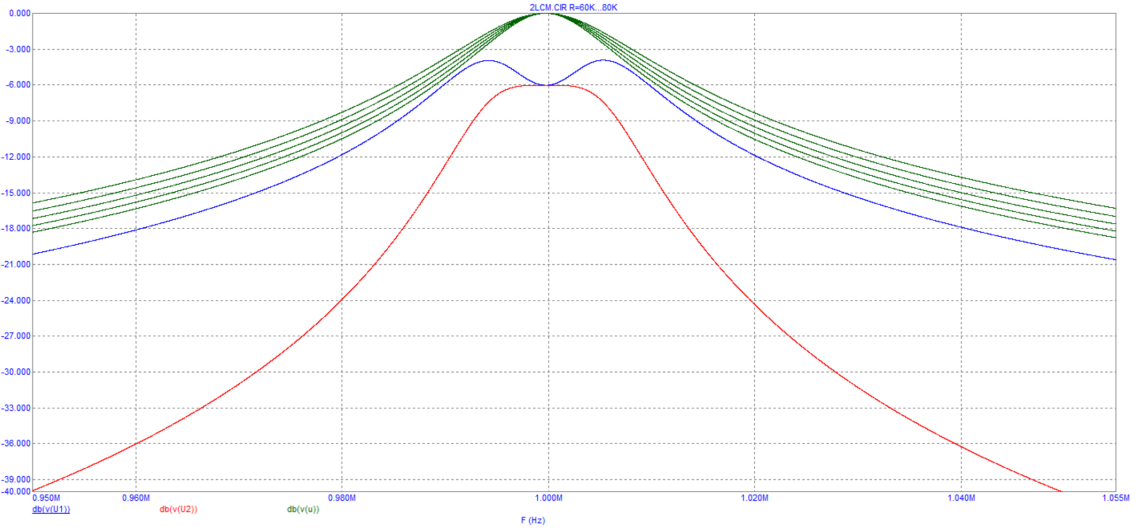


Рис. 13: $= [60k, 80k|5k]$

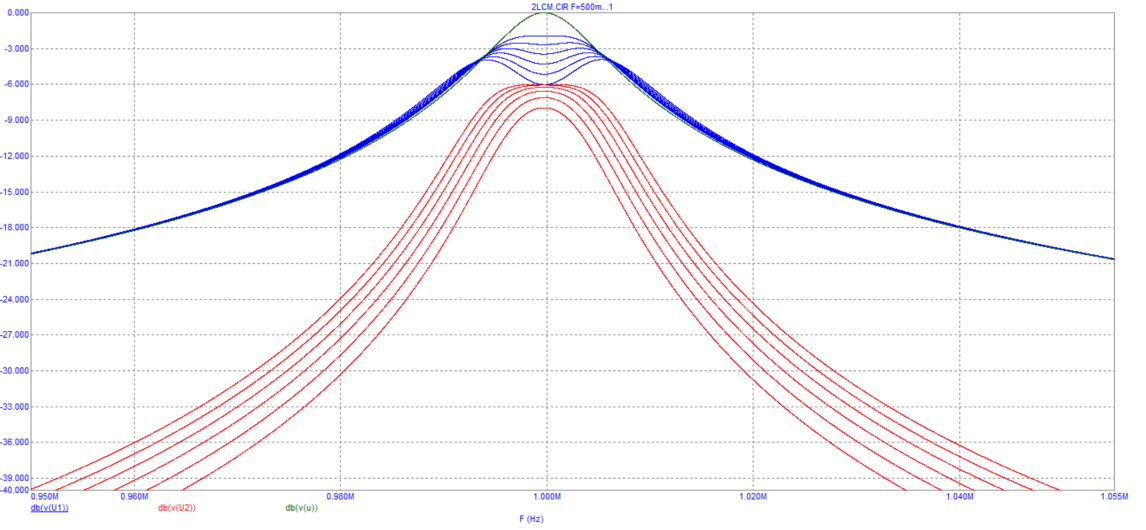


Рис. 14: $F = [0.5, 1|0.1k]$

выигрыш по затуханию при расстройке на декаду F_0 двухконтурной системы по сравнению с эталоном: у эталона - $-19.75 \frac{dB}{\text{дек}_{F_0}}$, у двухконтурной системы - $-36.45 \frac{dB}{\text{дек}_{F_0}} \implies$ выигрыш ≈ 2 раза.

- Измерим значение F из диапазона $F = [2.2, 2.6|0.1]$, при котором провал во втором контуре касается сверху критического уровня - 9dB. $F = 2.4$: при этом значении F измерим ширину полосы $\Delta\omega$

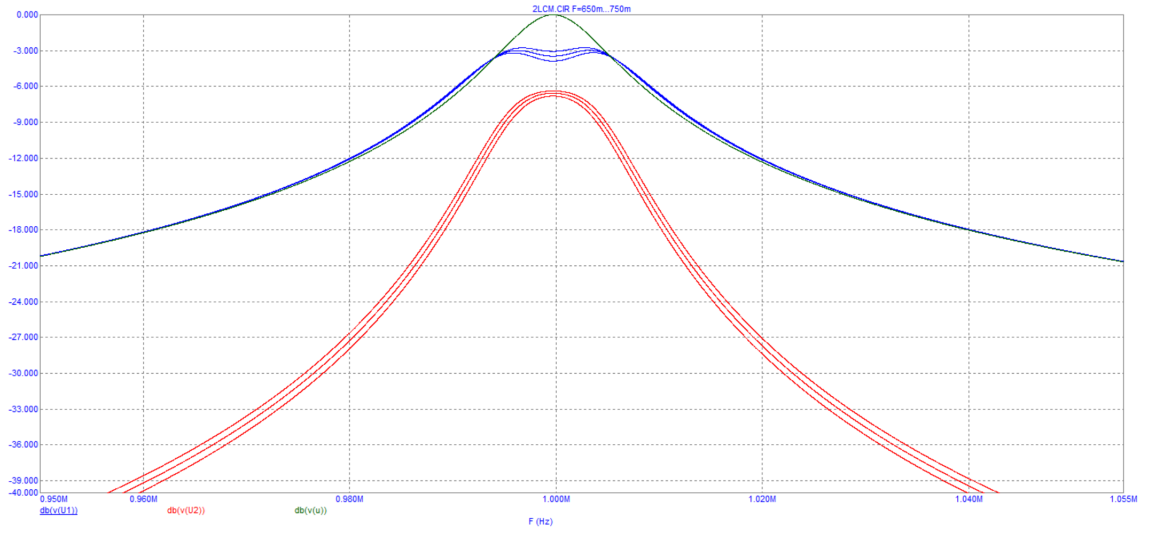


Рис. 15: $F = [0.65, 0.75|0.05]$

двухконтурной системы по уровню -9dB ($\Delta\omega$) и уровни затухания при расстройках на декаду F_0 (у эталона - $-20 \frac{dB}{дек}$, у двухконтурной системы - $-23 \frac{dB}{дек}$). Варьированием сопротивления эталонного контура R добьёмся совпадения его полосы с полосой двухконтурной системы и измерим уровни затухания, вносимого контуром ($-18.322 \frac{dB}{дек}$). ($R = 140k$).

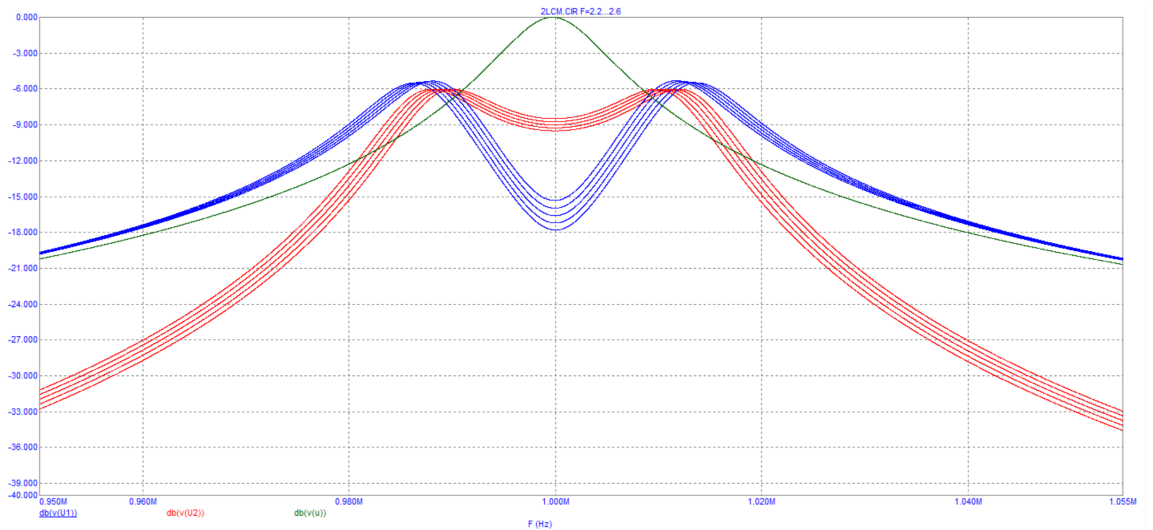


Рис. 16: $F = [2.2, 2.6|0.1]$

8. Изучим зависимость уровней затухания от $F = [1, 5.5|1.5]$. Занесём результаты в таблицу 2.

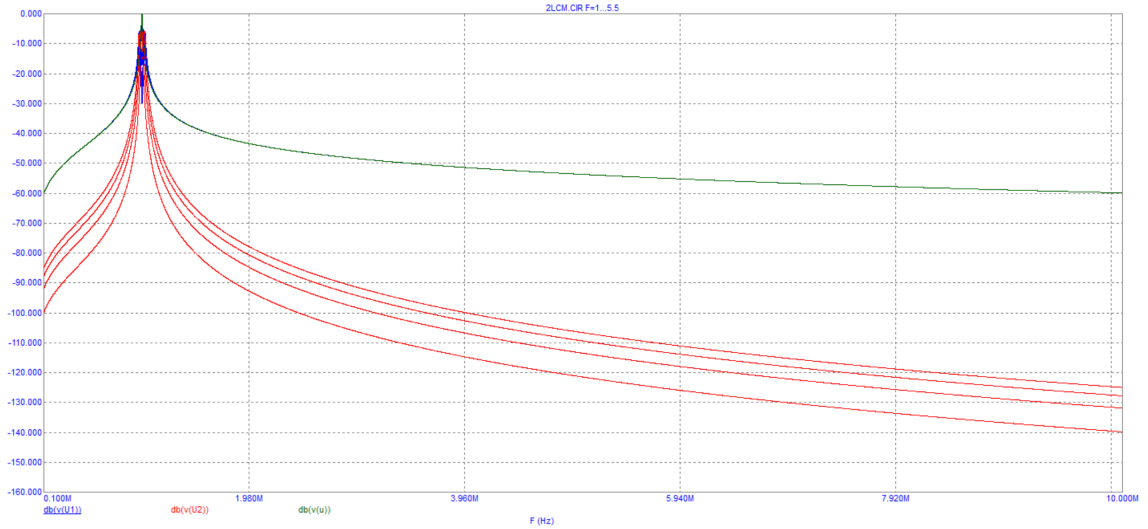


Рис. 17: $F = [1, 5.5|1.5]$

F	f = 100k	f = 10Meg
1	-94	-133
2.5	-85	-126
4	-82	-122
5.5	-79	-119

Установим добротность эталонного контура равной $\frac{Q}{\sqrt{2}}$ (сопротивление потерь $R = [70k, 70k|1k]$), оценим выигрыш в затухании двухконтурной системы с $F = 1$ по сравнению с эталонным контуром с той же шириной полосы. Он равен $f = 100k \Rightarrow 40 \frac{dB}{дек}$, $f = 10Meg \Rightarrow 80 \frac{dB}{дек}$.

9. Включим плотности 2 и 4 - частотные характеристики и графики вносимых проводимостей. Снимем зависимость пиковых значений вещественной и мнимой частей вносимой проводимости от $F = [0.5, 1|0.5]$ и $F = [1, 2|1]$. Проверим формулу $Re(Y) = \frac{F^2}{Q_\rho}$.

F	Im	Re
2	200k	400k
1	50k	100k
0.5	12,5k	25k

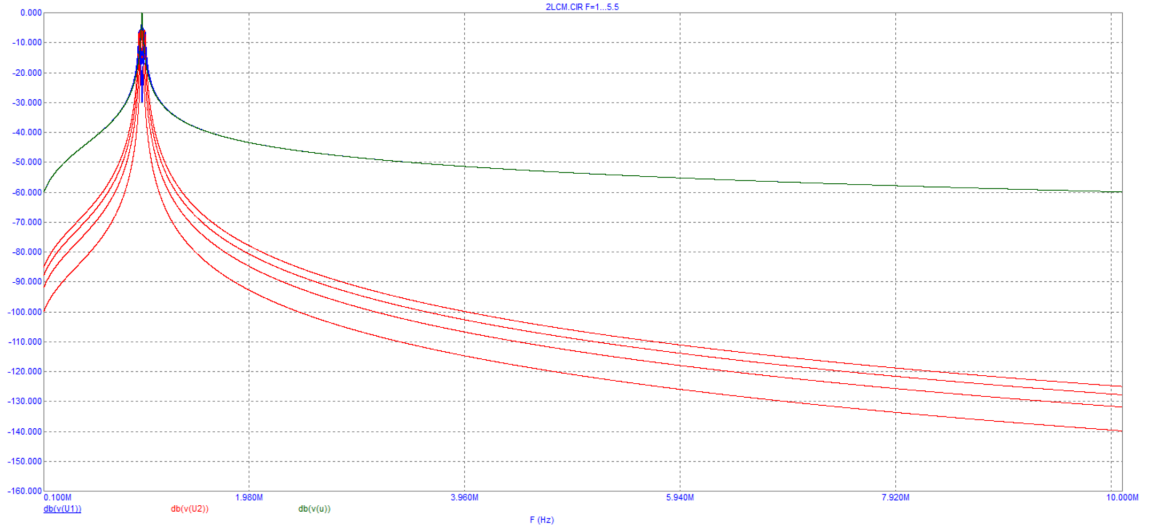


Рис. 18: $R = [70k, 70k|1k], Q = 70, F = 1$

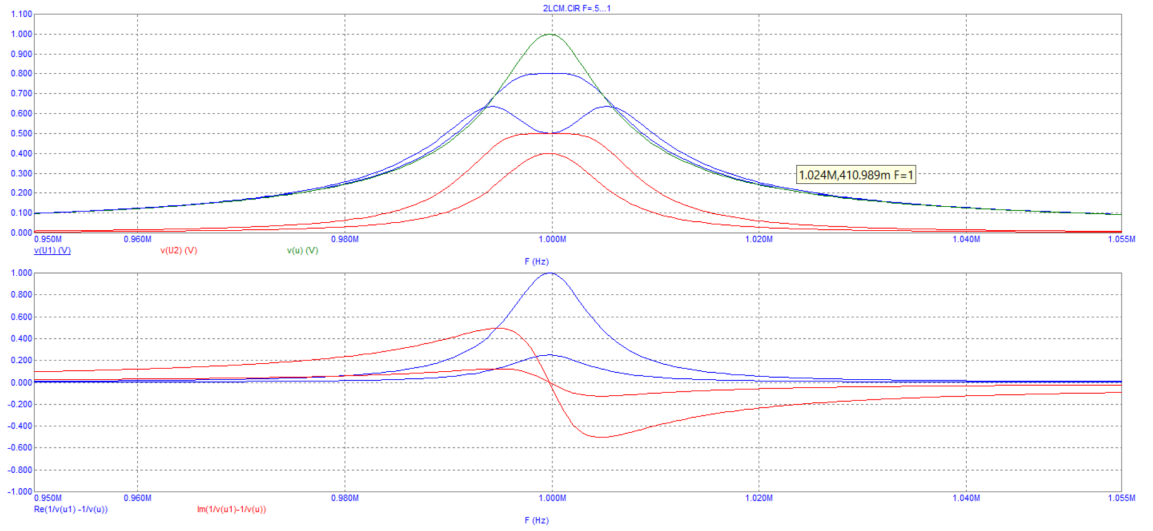


Рис. 19: $F = [0.5, 1|0.5]$

Оценим значения вносимых емкостей εC при $F = 0.5, 1, 2$, зная, что:

$$\omega \varepsilon C \simeq \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{\varepsilon}{1k}$$

,

а уровень на графике дает значение в 100ε .

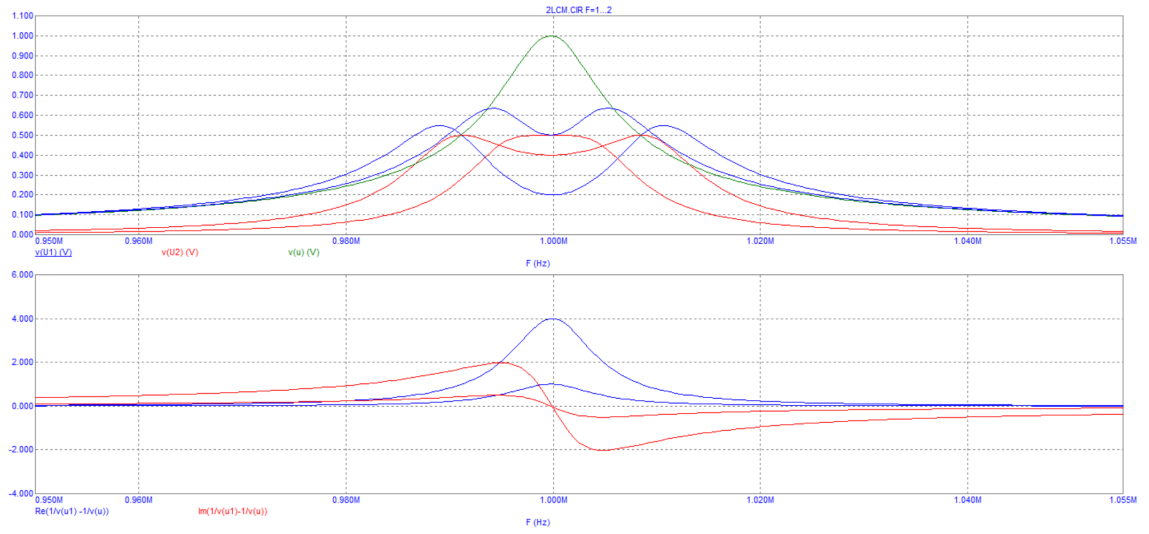


Рис. 20: $F = [1, 2|1]$

F	εC
0.5	12.5ε
1	50ε
2	200ε

10. В режиме *Transient* проанализируем переходные характеристики до напряжений на первом и втором контурах при $F = 1$.

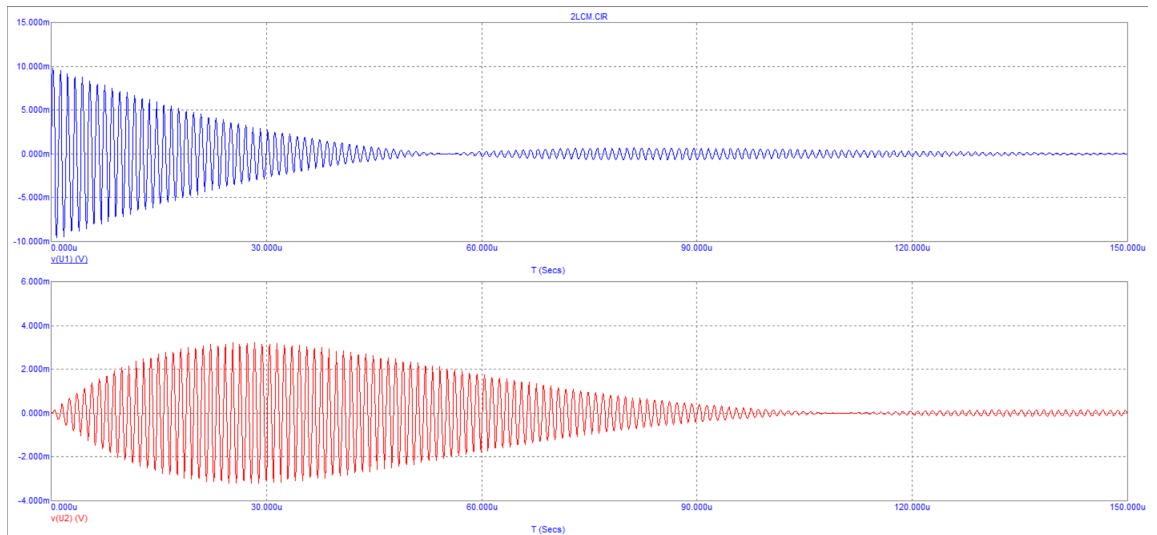


Рис. 21: $F = 1$

Установим $F = 0.1$. Измерим постоянную времени τ экспоненциального спада огибающей напряжения $u_1 \sim e^{-t/\tau}$ до уровня $\frac{1}{e} = 0.37$. $\tau \simeq 34$ мкс. Следовательно выполняется соотношение:

$$\tau \frac{\pi}{2\pi F_0} \simeq 32\mu$$

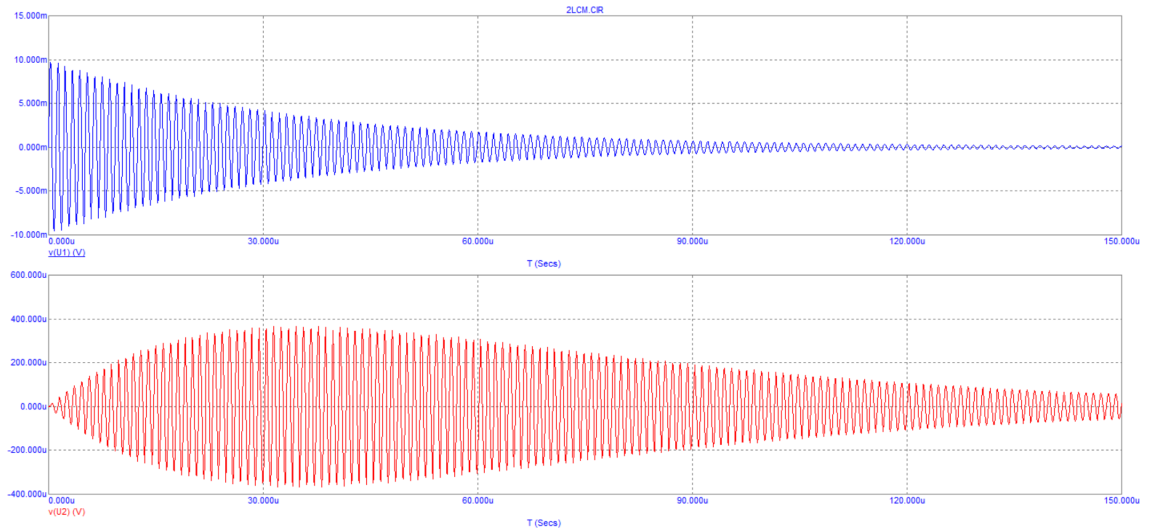


Рис. 22: $F = 0.1$

Задавая поочередно значения $F = 1; 2; 4; 8$, снимем зависимость от F частоты биений.

F	1	2	4	8
$\tau/2$, мкс	108	55	27.5	13.5
ν , кГц	4.6	9.1	18.2	37
FF_0 , кГц	5	10	20	40

- Установив диапазон моделирования $[2Meg, 600k]$, исследуем частотные и фазовые характеристики при сильной связи, варьируя $F = [10, 70|10]$.

Измерим частоты f_{\pm} пиков при $F = 50$. $f_+ = 1,414M$, $F_- = 816,378k$. Убедимся в правильности формулы:

$$f_{\pm} = \frac{f_0}{\sqrt{1 \pm k}}$$

Убедимся в том, что при $F \rightarrow 100$ частота одного пика стремится к $\frac{f_0}{\sqrt{2}}$, а второго уходит в бесконечность.

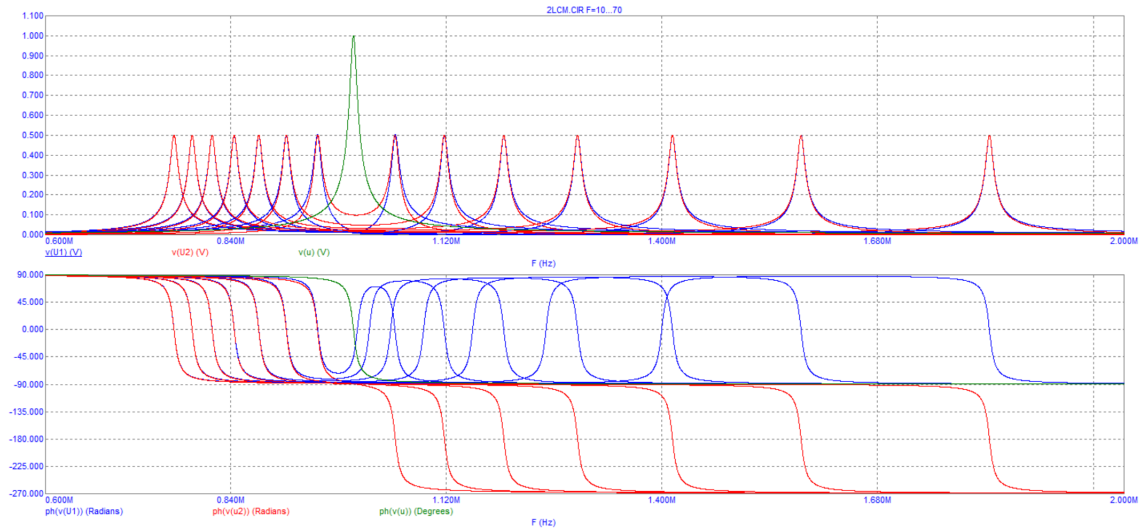


Рис. 23: $F = [10, 70|10]$

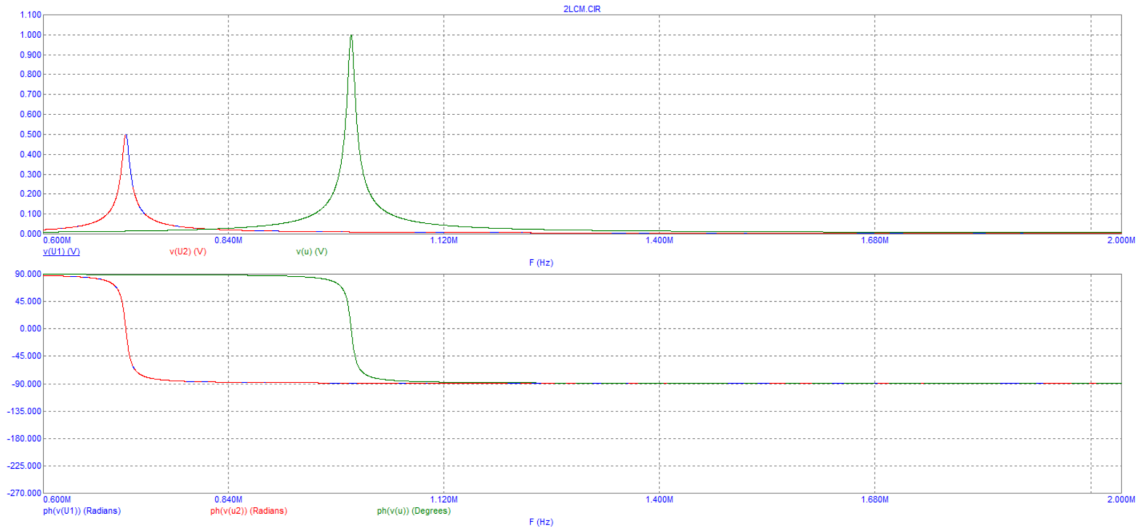
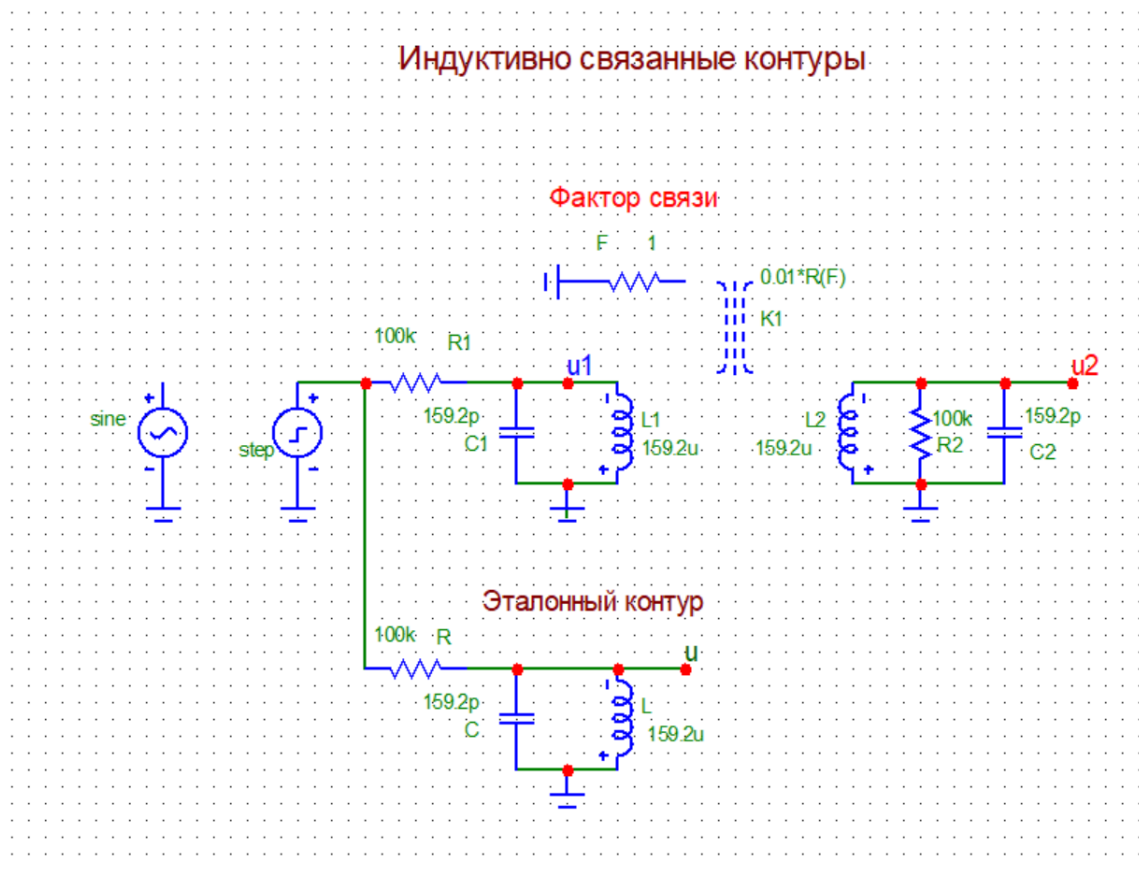


Рис. 24: $F \rightarrow 100$

2 Система с емкостной связью

1. Откроем модель 2LCC.CIR.

Проанализируем поведение частотных и фазовых характеристик при варьировании $F = [1, 4|1]$. Сопоставим результаты наблюдений с картой полюсов/нулей на рис.11 в методичке.



Измерим диапазоны изменения фазовых характеристик на первом и втором контурах.

На первом: от 90° до -90° .

На втором: от -90° до -450° .

Измерим значения F , при которых:

- а) возникает провал на первом контуре $F = 0.5$
- б) провал на втором контуре $F = 1$
- с) подъем на фазовой характеристике первого контура $F = 1$

Снимем зависимость частоты провала на втором контуре от $F = [2, 4]$:

F	2	3	4
$f_{\text{пров}}, \text{Гц}$	990k	985k	980k

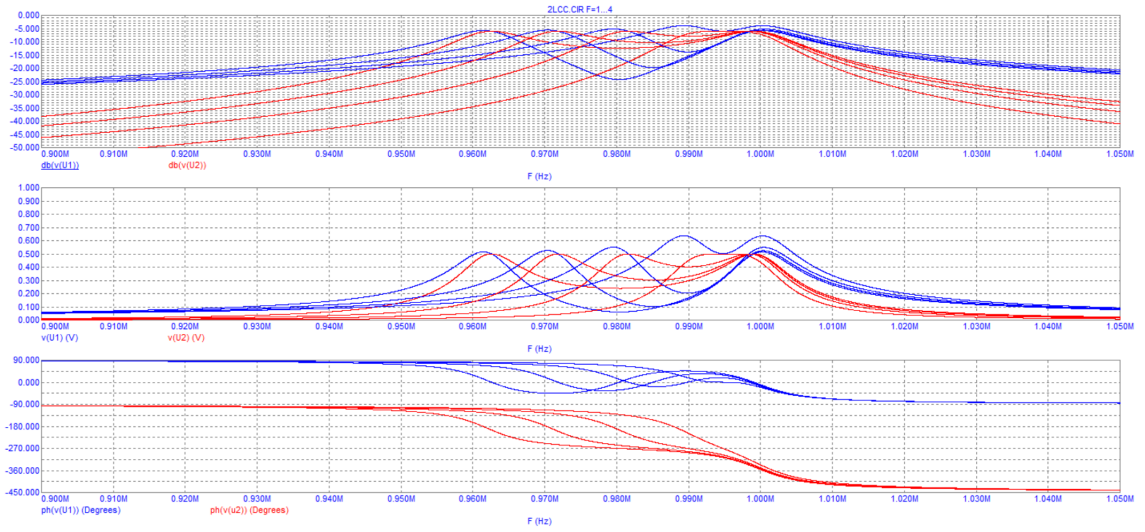


Рис. 25: $F = [1, 4|1]$

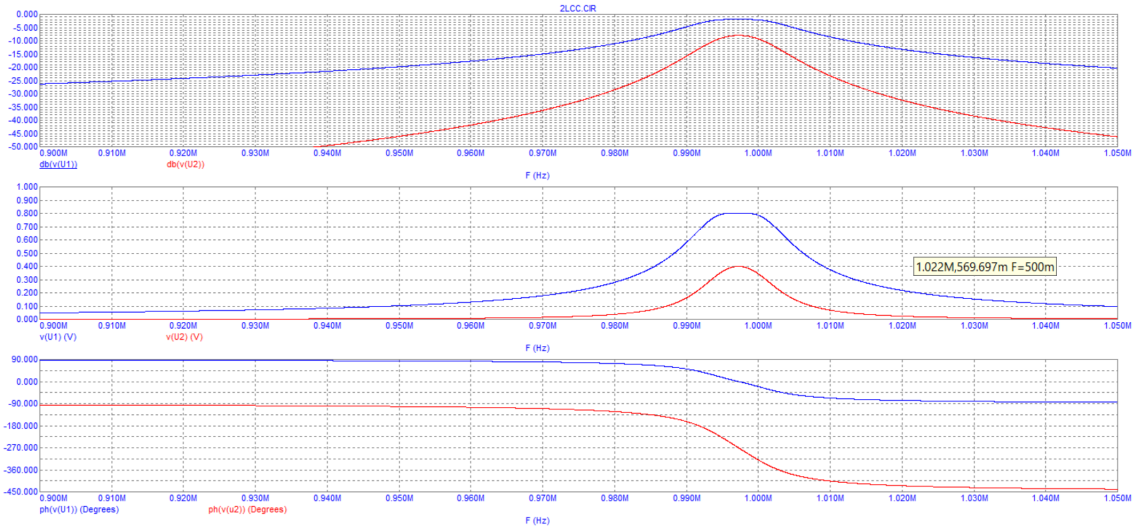


Рис. 26: $F = 0.5$

2. Откроем график частотных характеристик в децибелах. Исследуем их изменение при варьировании $F = [1, 4|1]$. Измерим уровни затухания при расстройках $\pm 50k$ (на декаду полосы контура).

F	1 контур, $\frac{dB}{дек}$	2 контур, $\frac{dB}{дек}$
1	-20	-39.6
2	-19.5	-34.2
3	-19	-27.9
4	-18	-26

Перейдем на частотный диапазон $[10\text{Meg}, 100k]$ и измерим уровни затухания при расстройках на декаду f_0 :

F	1 контур, $\frac{dB}{дек}$	2 контур (100k), $\frac{dB}{дек}$	2 контур (10Meg), $\frac{dB}{дек}$
1	-60	-140	-101
2	-60	-133	-95
3	-60	-129	-91
4	-60	-127	-89

3. Изучим переходные характеристики при значениях $F = 0.1; 2; 3; 4$. Убедимся в их сходстве с характеристиками системы с индуктивной связью.

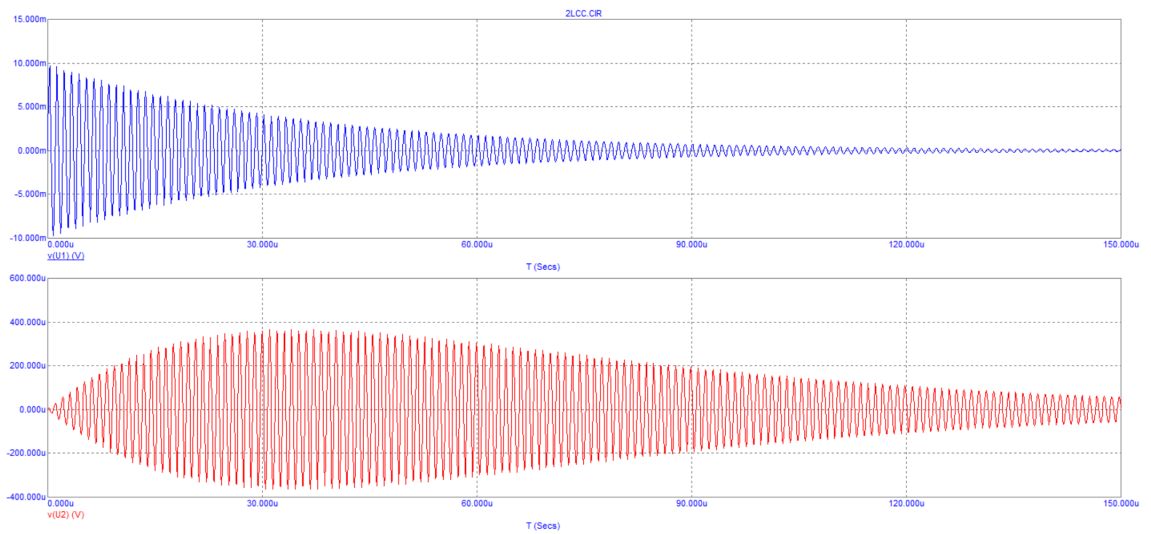


Рис. 27: $F = 0.1$

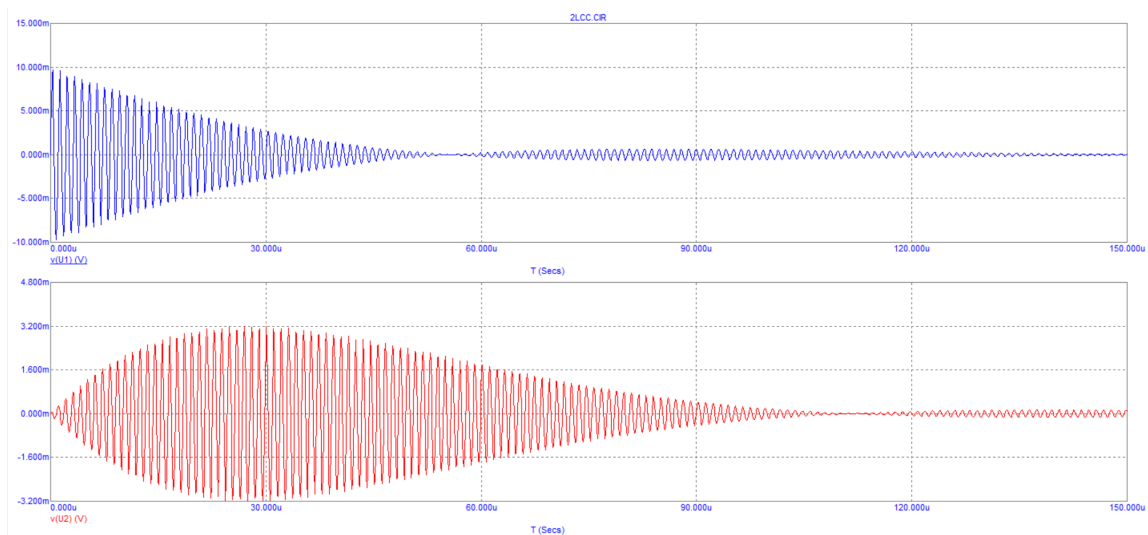


Рис. 28: $F = 1$

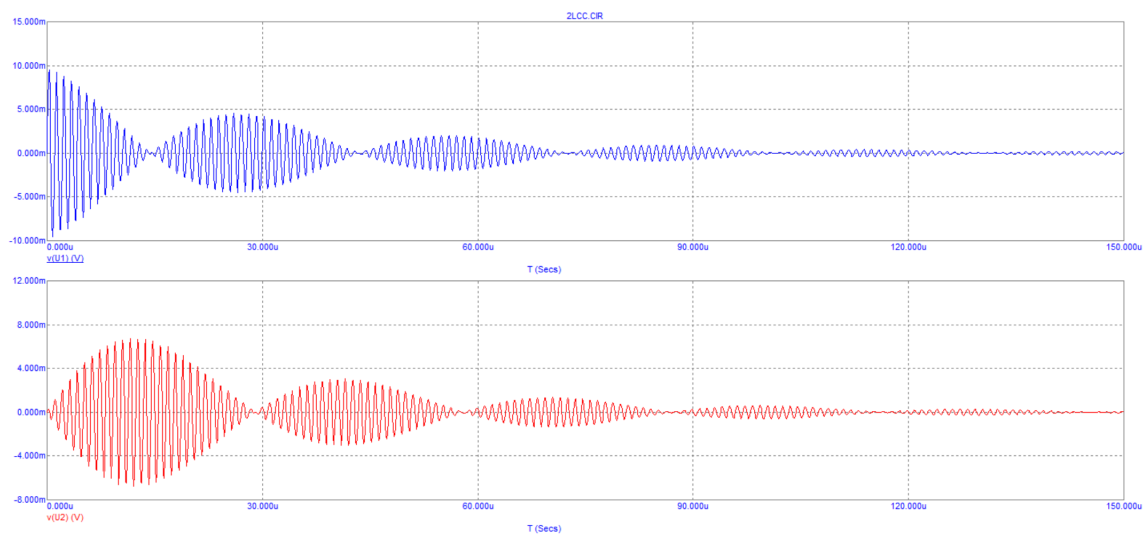


Рис. 29: $F = 4$