

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
Институт радиотехники и информационных технологий (ИРИТ-РТФ)

**Отчет по лабораторной работе 5**  
**по дисциплине «Теоретические основы электротехники»**  
**Тема: «ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**  
**ПРОСТЕЙШИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»**  
**Стенд 5**

Студентка  
Группа  
Преподаватель

РИ-201222  
Вострецова Е.В.

Фадеева А.А.

## **1. Цель работы:**

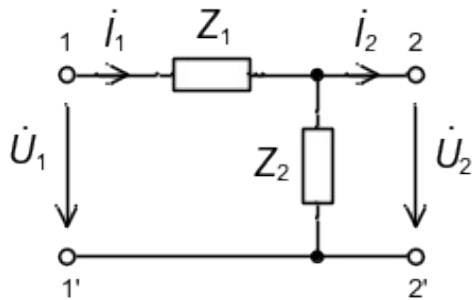
Расчет и экспериментальная проверка амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик линейных электрических цепей первого и второго порядка.

## 2. Расчетная часть

Исходные данные:

$$R_3 = 470 \text{ Ом}, C_2 = 0,068 \text{ мкФ}, L_3 = 0,55 \text{ мГн}, R_{L3} = 2 \text{ Ом}.$$

- 2.1. Выведем формулы для комплексного коэффициента передачи по напряжению для цепей первого порядка, пренебрегая сопротивлением потерь катушки RL1; выведем формулы, рассчитаем и построим графики АЧХ и ФЧХ указанных цепей.



В данной цепи  $\dot{I}_2 = 0$ .

Тогда:

$$K_U(j\omega) = K_{21}(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{I}_1 \dot{Z}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \cdot \dot{Z}_2 = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \quad \text{— комплексный коэффициент}$$

передачи по напряжению

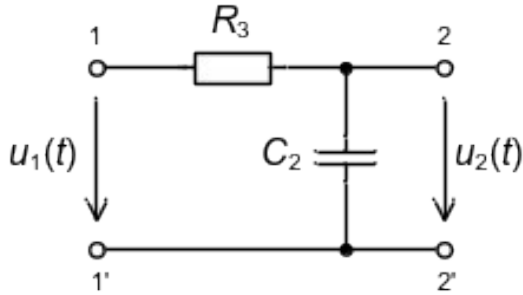
$$K_U(\omega) = |K_U(j\omega)| \quad \text{— амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)}$$

$$\varphi_U(\omega) = \arg(K_U(j\omega)) \quad \text{— фазочастотная характеристика (ФЧХ)},$$

где угловая частота:  $\omega = 2\pi f$ .

$$K(f_{cp}) = \frac{K_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{— частота среза}$$

а) RC -цепь:



$$\dot{Z}_1 = R_3, \dot{Z}_2 = \frac{1}{j\omega C_2},$$

$$K_U(j\omega) = K_{21}(j\omega) = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{1}{1 + j\omega C_2 R_3} \text{ — комплексный коэффициент}$$

передачи по напряжению

Подставим числовые значения:

$$K_U(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f C_2 R_3)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot f \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 470)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 4,0325 \cdot 10^{-8} f^2}},$$

$$K_U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega C_2 R_3)^2}} \text{ — АЧХ}$$

$$K_{max} = K(0) = 1; 1 + (\omega_{cp} C_2 R_3)^2 = 2$$

Тогда:

$$K(\omega_{cp}) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_{cp} C_2 R_3)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg(\omega C_2 R_3) = -\arctg(2\pi f C_2 R_3) = -\arctg(2\pi \cdot f \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 470) = -\arctg(2,008 \cdot 10^{-4} f)$$

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi C_2 R_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 470} = 4980 \text{ Гц — частота среза}$$

Построим графики в диапазоне частот от  $f_{min}$  до  $f_{max}$ , соответствующем изменению АЧХ от максимального значения  $K_{max}$  до значения примерно  $0,1 K_{max}$ :

$$\text{Условие: } K(f_{min}) = 0,1 K_{max}$$

Соответственно, найдем  $K(f_{min})$   $f_{min}$  и построим график АЧХ и ФЧХ:

$$K(f_{min}) = \frac{1}{\sqrt{1 + 4,0325 \cdot 10^{-8} f_{min}^2}} = 0,1,$$

$$f_{min} = 49549 \text{ Гц.}$$

Таблица 1 – данные для построения АЧХ и ФЧХ RC-цепи

$f$ , Гц	0	2000	4980	7000	10000	20000	30000	40000	50000
$K_U$	1	0,928	0,707	0,580	0,446	0,242	0,164	0,124	0,099
$\varphi$ , °	0	-21,9	-45,0	-54,6	-63,5	-76,0	-80,6	-82,9	-84,3

Рисунок 1 – график АЧХ RC-цепи

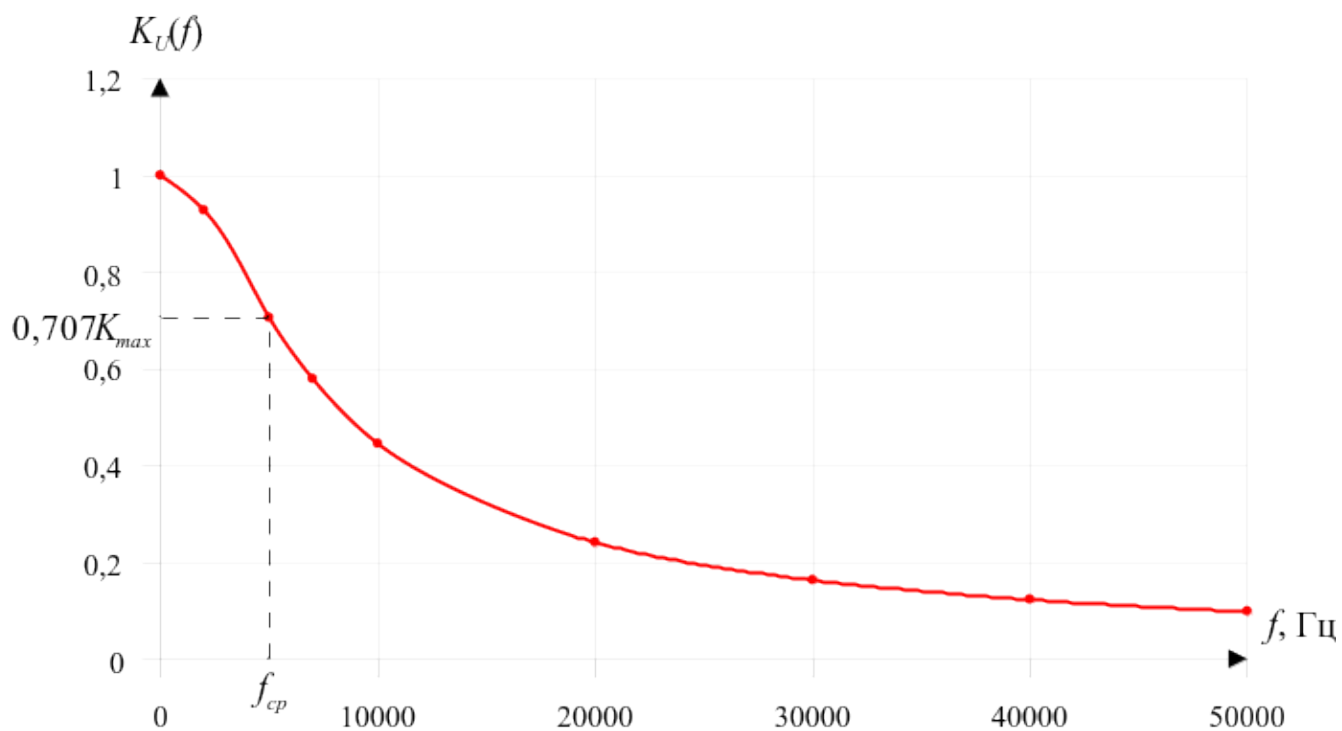
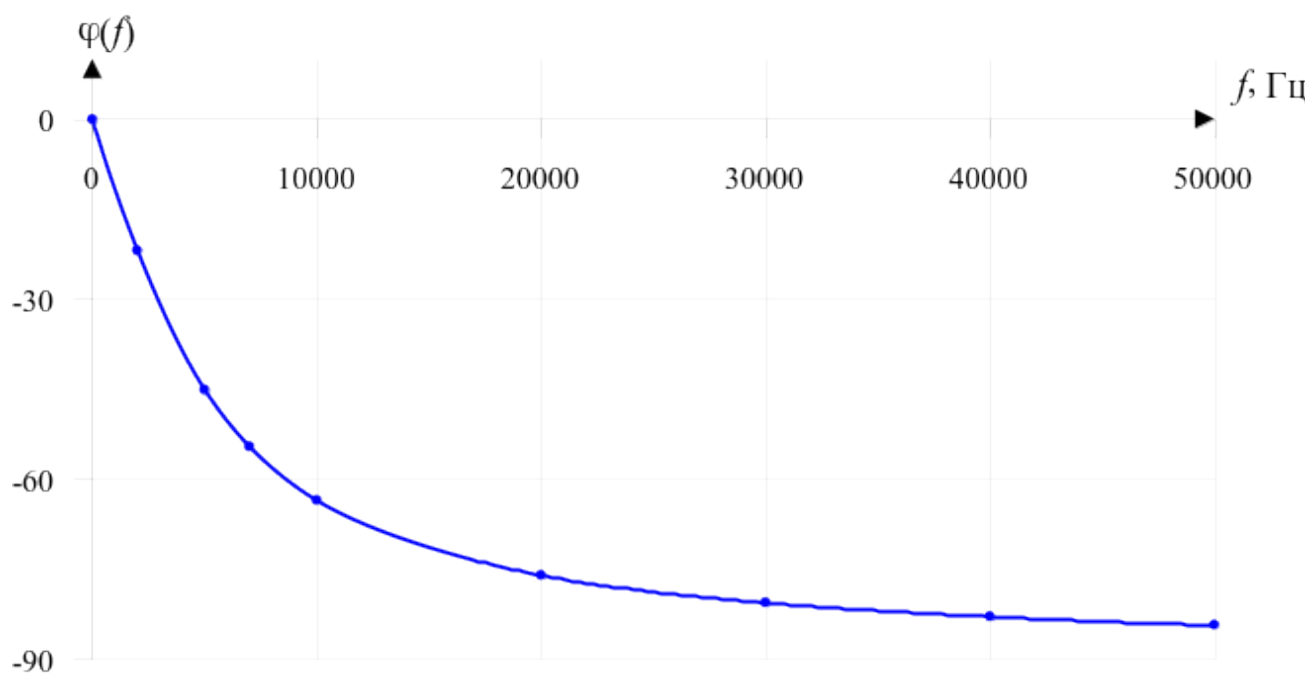
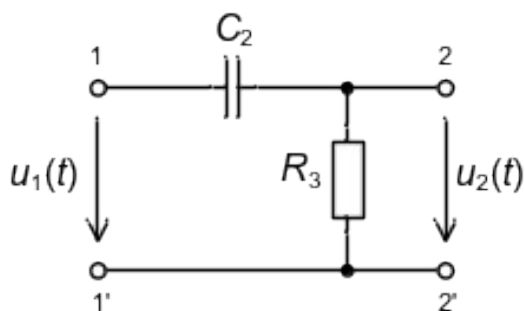


Рисунок 2 – график ФЧХ RC-цепи



б) CR -цепь:



$$\dot{Z}_1 = \frac{1}{j\omega C_2}, \dot{Z}_2 = R_3$$

$$K_U(j\omega) = K_{21}(j\omega) = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{R_3}{\frac{1}{j\omega C_2} + R_3} = \frac{j\omega C_2 R_3}{1 + j\omega C_2 R_3} = \frac{2\pi f C_2 R_3}{\sqrt{1 + (2\pi f C_2 R_3)^2}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 470}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot f \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 470)^2}}$$

– комплексный коэффициент передачи по напряжению

$$K_{max} = K(\infty) = 1; \frac{(\omega_{cp} C_2 R_3)^2}{1 + (\omega_{cp} C_2 R_3)^2} = \frac{1}{2}. \text{ Тогда:}$$

$$K_U(\omega) = \frac{\omega C_2 R_3}{\sqrt{1 + (\omega C_2 R_3)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 1 - \text{АЧХ}$$

$$\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg(\omega C_2 R_3) = 90^\circ - \arctg(2\pi f C_2 R_3) = 90^\circ - \arctg(2\pi \cdot f \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 470) = 90^\circ - \arctg(\dots)$$

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi C_2 R_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 470} = 4980 \text{ Гц-частота среза}$$

Построим графики в диапазоне частот от  $f_{min}$  до  $f_{max}$ :

$$f_{max} \text{ найдем из условия } K(f_{max}) = 0,9 K_{max} :$$

$$K(f_{max}) = \frac{2,008 \cdot 10^{-4} f_{max}}{\sqrt{1 + 4,0325 \cdot 10^{-8} f_{max}^2}} = 0,9,$$

$$f_{max} = 10282 \text{ Гц.}$$

Таблица 2 – данные для построения АЧХ и ФЧХ CR-цепи

$f, \text{ Гц}$	0	1000	2000	3000	4000	4980	6000	8000	10000
$K_U$	0	0,197	0,373	0,516	0,626	0,707	0,769	0,849	0,895
$\varphi, ^\circ$	90,0	78,6	68,1	58,9	51,2	45,0	39,7	31,9	26,5

Рисунок 3 – график АЧХ CR-цепи

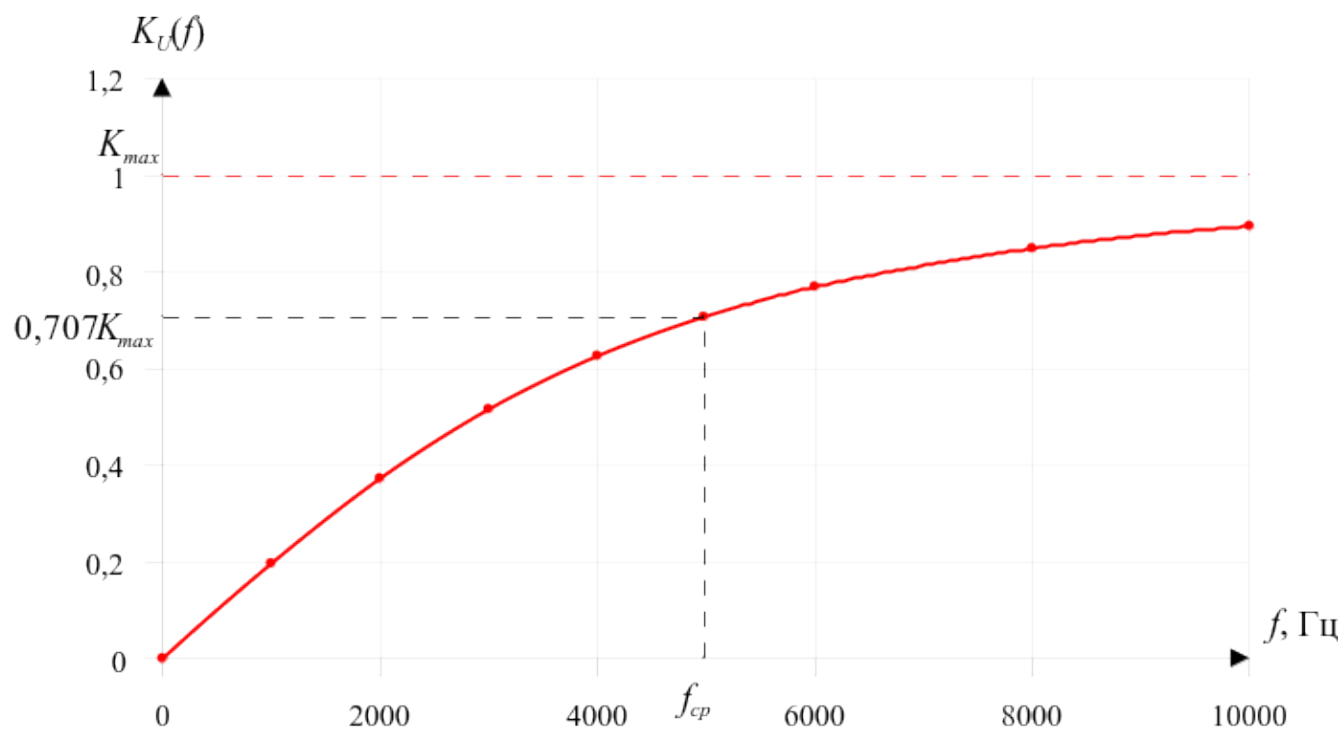
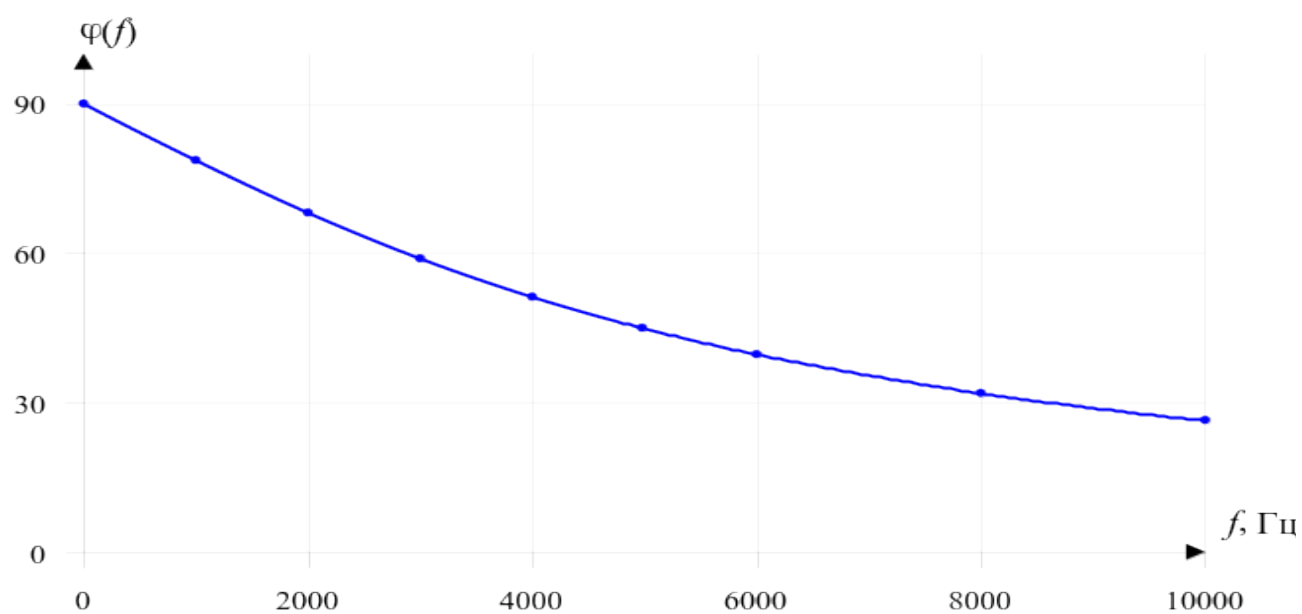
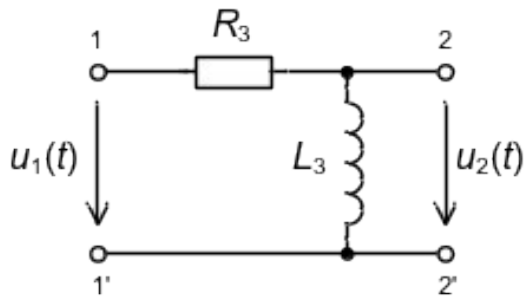


Рисунок 4 – график ФЧХ CR-цепи



в)  $RL$  -цепь.



$$\dot{Z}_1 = R_3, \dot{Z}_2 = j\omega L_3,$$

$$K_U(j\omega) = K_{21}(j\omega) = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{j\omega L_3}{R_3 + j\omega L_3} = \frac{2\pi f L_3}{\sqrt{R_3^2 + (2\pi f L_3)^2}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot 0,55 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{470^2 + (2\pi \cdot f \cdot 0,55 \cdot 10^{-3})^2}} = i$$

$$i \frac{3,456 \cdot 10^{-3} f}{\sqrt{2,209 \cdot 10^5 + 1,194 \cdot 10^{-5} f^2}} - \text{комплексный коэффициент передачи по напряжению}$$

$$K_{max} = K(\infty) = 1; \frac{(\omega_{cp} L_3)^2}{R_3^2 + (\omega_{cp} L_3)^2} = \frac{1}{2}$$

$$K(\omega_{cp}) = \frac{\omega_{cp} L_3}{\sqrt{R_3^2 + (\omega_{cp} L_3)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} - \text{АЧХ}$$

$$f_{cp} = \frac{R_3}{2\pi L_3} = \frac{470}{2\pi \cdot 0,55 \cdot 10^{-3}} = 136005 \text{ Гц} = 136,005 \text{ кГц} - \text{частота среза}$$

$$\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{\omega L_3}{R_3}\right) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{2\pi f L_3}{R_3}\right) = 90^\circ - \arctg\left(\frac{2\pi \cdot f \cdot 0,55 \cdot 10^{-3}}{470}\right) = i$$

$$i 90^\circ - \arctg(7,353 \cdot 10^{-6} f) - \text{ФЧХ}$$

Построим графики  $K_U(f), \varphi(f)$  в диапазоне от  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$ .

$$f_{\min} = 0, K(0) = 0,$$

$$f_{\max} \text{ найдем из условия } K(f_{\max}) = 0,9 K_{\max}:$$

$$K(f_{\max}) = \frac{3,456 \cdot 10^{-3} f_{\max}}{\sqrt{2,209 \cdot 10^5 + 1,194 \cdot 10^{-5} f_{\max}^2}} = 0,9,$$

$$f_{\max} = 280598 \text{ Гц} = 280,598 \text{ кГц}.$$

Таблица 3 – данные для построения графиков АЧХ и ФЧХ RL-цепи

$f$ , кГц	0	10	20	50	100	136	180	230	280
$K_U$	0	0,073	0,145	0,345	0,592	0,707	0,798	0,861	0,900
$\varphi$ , °	90,0	85,8	81,6	69,8	53,7	45,0	37,1	30,6	25,9



Рисунок 5 – график АЧХ RL-цепи

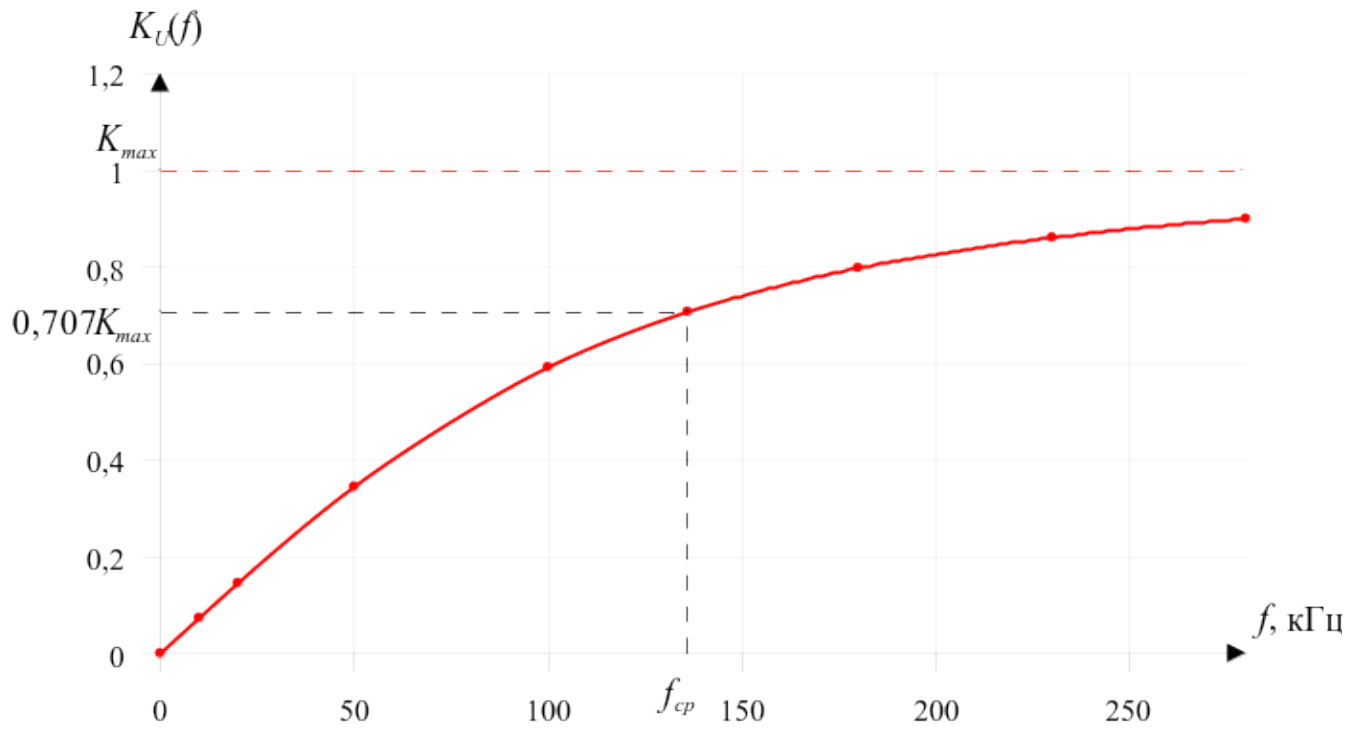
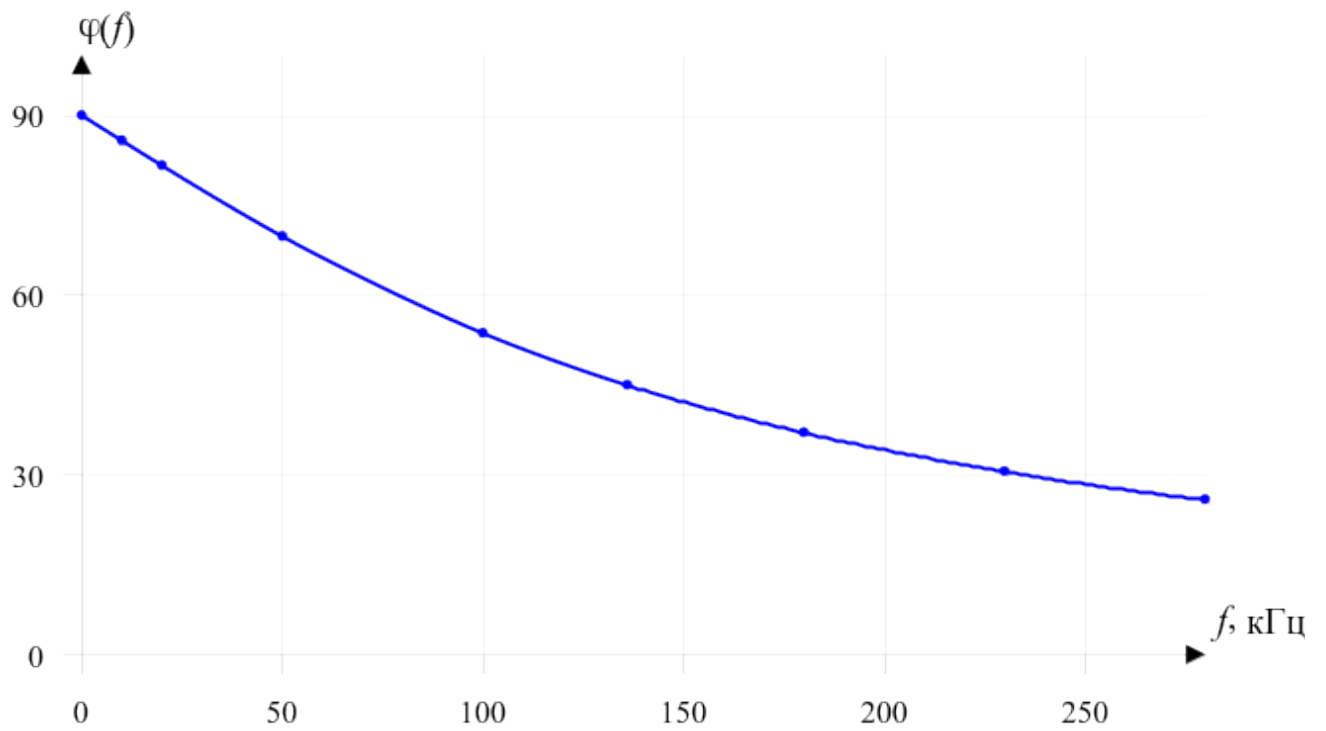
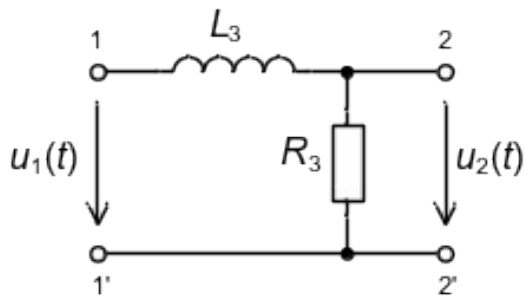


Рисунок 6 – график ФЧХ RL-цепи



г) LR -цепь.



$$\dot{Z}_1 = j\omega L_3, \dot{Z}_2 = R_3,$$

$$K_U(j\omega) = K_{21}(j\omega) = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{R_3}{j\omega L_3 + R_3} = \frac{R_3}{R_3 + j\omega L_3} = \frac{R_3}{\sqrt{R_3^2 + (2\pi f L_3)^2}} = \frac{470}{\sqrt{470^2 + (2\pi \cdot f \cdot 0,55 \cdot 10^{-3})^2}}$$

$$K_{max} = K(0) = 1; \frac{R_3^2}{R_3^2 + (\omega_{cp} L_3)^2} = \frac{1}{2}. \text{ Тогда:}$$

$$K(\omega_{cp}) = \frac{R_3}{\sqrt{R_3^2 + (\omega_{cp} L_3)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ - АЧХ}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg\left(\frac{\omega L_3}{R_3}\right) = -\arctg\left(\frac{2\pi f L_3}{R_3}\right) = -\arctg\left(\frac{2\pi \cdot f \cdot 0,55 \cdot 10^{-3}}{470}\right) = -\arctg(7,353 \cdot 10^{-6} f) \text{ - ФЧХ}$$

$$f_{cp} = \frac{R_3}{2\pi L_3} = \frac{470}{2\pi \cdot 0,55 \cdot 10^{-3}} = 136005 \text{ Гц} = 136,005 \text{ кГц} \text{ - частота среза}$$

Построим графики  $K_U(f), \varphi(f)$  в диапазоне от  $f_{min}$  до  $f_{max}$ :

$$f_{max} = 0, K(0) = 1,$$

$$f_{min} \text{ найдем из условия } K(f_{min}) = 0,1 K_{max}:$$

$$K(f_{min}) = \frac{470}{\sqrt{2,209 \cdot 10^5 + 1,194 \cdot 10^{-5} f_{min}^2}} = 0,1,$$

$$f_{min} = 1,35336 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 1,35336 \text{ МГц}.$$

Таблица 4 – данные для построения графиков АЧХ и ФЧХ LR-цепи

$f, \text{ кГц}$	0	50	136	200	400	600	800	1100	1400
$K_U$	1	0,939	0,707	0,562	0,322	0,221	0,168	0,123	0,097
$\varphi, ^\circ$	0,0	-20,2	-45,0	-55,8	-71,2	-77,2	-80,4	-83,0	-84,5

Рисунок 7 – график АЧХ LR-цепи

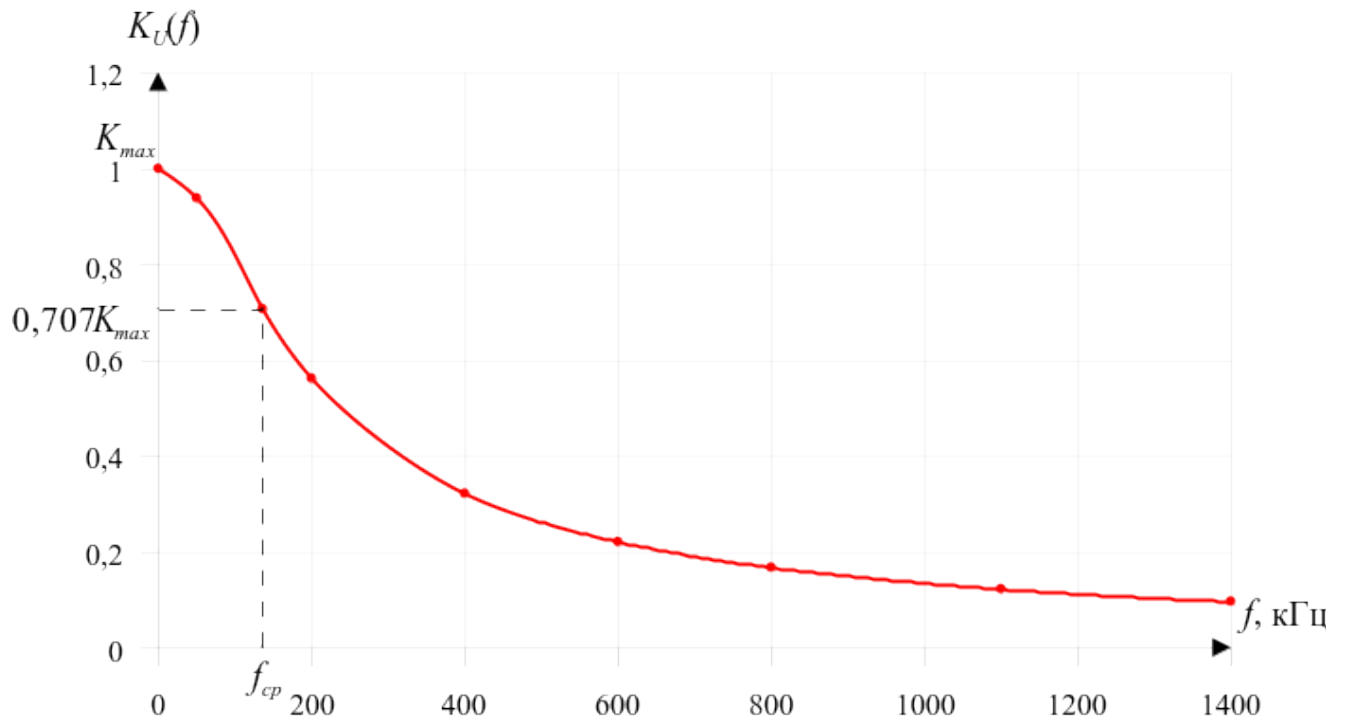
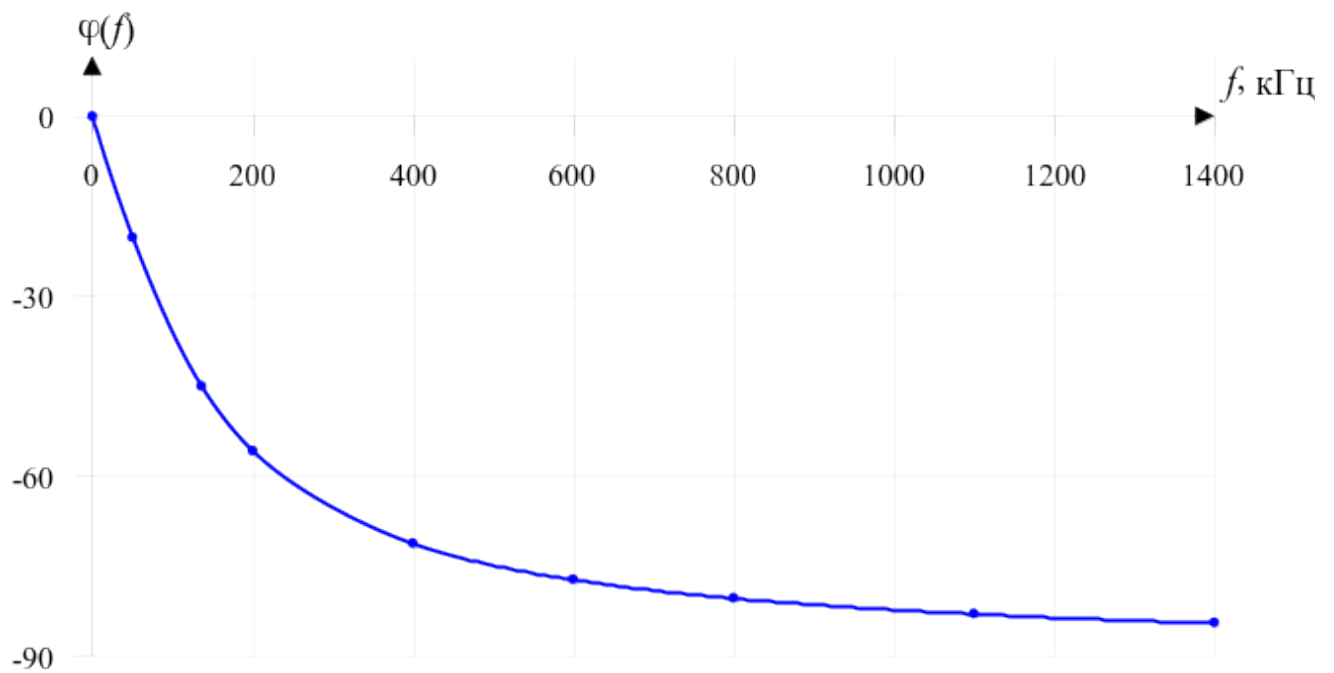
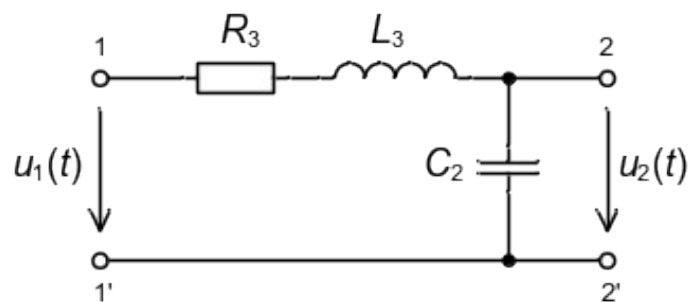


Рисунок 8 – график ФЧХ LR-цепи



## 2.2. Цепь второго порядка.



$$K_U(j\omega) = K_{21}(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{I}_1 \cdot \frac{1}{j\omega C_2}}{\dot{U}_1} = \frac{R_3 + j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C_2}}{\dot{U}_1} \cdot \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{1}{j\omega C_2 R_3 - \omega^2 L_3 C_2 + 1} \text{ — комплексный}$$

$$K_U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 L_3 C_2)^2 + (\omega C_2 R_3)^2}} \text{ — АЧХ}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg\left(\frac{\omega C_2 R_3}{1 - \omega^2 L_3 C_2}\right) \text{ — ФЧХ}$$

Рассчитаем и построим графики АЧХ и ФЧХ для трех значений сопротивления:

$$R_3 = 2 R_{кр}, R_3 = R_{кр}, R_3 = 0,5 R_{кр}, \text{ где } R_{кр} = 2 \sqrt{\frac{L_3}{C_2}} = 2 \sqrt{\frac{0,55 \cdot 10^{-3}}{0,068 \cdot 10^{-6}}} \approx 180 \text{ Ом.}$$

Графики необходимо построить в диапазоне частот от 0 до  $f_{max}$ , где  $f_{max}$  - частота, соответствующая значению АЧХ на уровне 0,1  $K_U(0)$ , где  $K_U(0)$  - значение АЧХ при

$$f = 0:$$

$$K_U(0) = 1.$$

- При  $R_3 = 2 R_{кр} = 2 \cdot 180 = 360$  Ом

$$K_U(f) = \frac{1}{\sqrt{(1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2)^2 + (2\pi f C_2 R_3)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2)^2 + 2,362 \cdot 10^{-8} f^2}} = \frac{1}{\sqrt{2,18 \cdot 10^{-18} f^4 + 2,362 \cdot 10^{-8} f^2 + 1}}$$

$$\varphi(f) = -\arctg \frac{2\pi f C_2 R_3}{1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2} \text{ — ФЧХ}$$

Подставив численные значения, найдем:

$$\text{при } 1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2 > 0, f < \frac{1}{2\pi \sqrt{L_3 C_2}} = 26025 \text{ Гц} = 26,025 \text{ кГц:}$$

$$\varphi(f) = -\arctg \frac{1,537 \cdot 10^{-4} f}{1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2},$$

$$\text{при } 1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2 < 0, f > \frac{1}{2\pi \sqrt{L_3 C_2}} = 26,025 \text{ кГц:}$$

$$\varphi(f) = -\arctg \frac{1,537 \cdot 10^{-4} f}{1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2} - 180^\circ.$$

- При  $R_3 = R_{кр} = 180$  Ом:

$$K_U(f) = \frac{1}{\sqrt{(1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2)^2 + 5,906 \cdot 10^{-9} f^2}} = \frac{1}{\sqrt{2,18 \cdot 10^{-18} f^4 + 2,953 \cdot 10^{-9} f^2 + 1}} \text{ — АЧХ}$$

$$\text{при } 1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2 > 0, f < \frac{1}{2\pi \sqrt{L_3 C_2}} = 26025 \text{ Гц} = 26,025 \text{ кГц:}$$

$$\varphi(f) = -\operatorname{arctg} \frac{7,685 \cdot 10^{-5} f}{1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2} - \Phi_{\text{ЧХ}}$$

при  $1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2 < 0$ ,  $f > \frac{1}{2\pi \sqrt{L_3 C_2}} = 26,025 \text{ кГц}$ :

$$\varphi(f) = -\operatorname{arctg} \frac{7,685 \cdot 10^{-5} f}{1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2} - 180^\circ.$$

- При  $R_3 = 0,5 R_{\text{кр}} = 90 \text{ Ом}$ :

$$K_U(f) = i \frac{1}{\sqrt{(1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2)^2 + 1,476 \cdot 10^{-9} f^2}} = i$$

$$i \frac{1}{\sqrt{2,18 \cdot 10^{-18} f^4 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2 + 1}} - \text{АЧХ}$$

при  $1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2 > 0$ ,  $f < \frac{1}{2\pi \sqrt{L_3 C_2}} = 26025 \text{ Гц} = 26,025 \text{ кГц}$ :

$$\varphi(f) = -\operatorname{arctg} \frac{3,843 \cdot 10^{-5} f}{1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2} - \Phi_{\text{ЧХ}}$$

при  $1 - (2\pi f)^2 L_3 C_2 < 0$ ,  $f > \frac{1}{2\pi \sqrt{L_3 C_2}} = 26,025 \text{ кГц}$ :

$$\varphi(f) = -\operatorname{arctg} \frac{3,843 \cdot 10^{-5} f}{1 - 1,476 \cdot 10^{-9} f^2} - 180^\circ - \Phi_{\text{ЧХ}}$$

$$R_3 = 2 R_{\text{кр}}$$

Таблица 5 – расчет АЧХ и ФЧХ при  $R_3 = 2 R_{\text{кр}}$

$f$ , кГц	0	5	10	15	20	30	40	50	60	80
$K_U$	1	0,812	0,569	0,417	0,322	0,216	0,159	0,123	0,098	0,067
$\varphi$ , °	0,0	-38,6	-61,0	-73,8	-82,4	-94,1	-102,5	-109,3	-115,1	-124,5

$$R_3 = R_{\text{кр}}$$

Таблица 6 – расчет АЧХ и ФЧХ при  $R_3 = R_{\text{кр}}$

$f$ , кГц	0	5	10	15	20	30	40	50	60	80
$K_U$	1	0,964	0,871	0,751	0,629	0,429	0,297	0,213	0,158	0,096
$\varphi$ , °	0,0	-21,8	-42,0	-59,9	-75,1	-98,1	-113,9	-125,0	-133,1	-143,9

$$R_3 = 0,5 R_{\text{кр}}$$

Таблица 7 – расчет АЧХ и ФЧХ при  $R_3 = 0,5 R_{\text{кр}}$

$f$ , кГц	0	5	10	15	20	30	40	50	60	80
$K_U$	1	1,018	1,070	1,134	1,148	0,834	0,487	0,302	0,204	0,111
$\varphi$ , °	0,0	-11,3	-24,3	-40,8	-61,9	-105,9	-131,5	-144,5	-151,9	-160,0

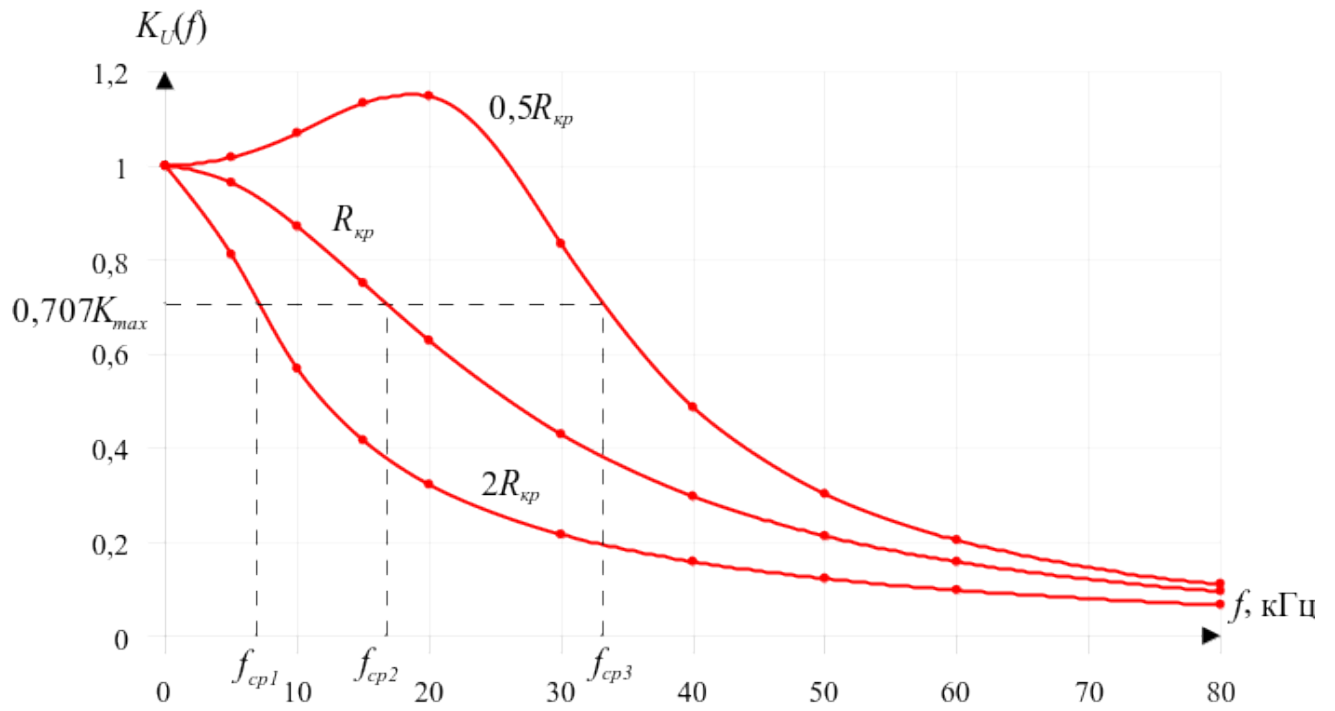


Рисунок 9 – АЧХ RLC-цепи при разных  $R_{кр}$

Найдем частоты среза по графику:

- $R_3 = 2 R_{кр}$ :  
 $f_{кр1} = 6,94$  кГц,
- $R_3 = R_{кр}$ :  
 $f_{кр2} = 16,75$  кГц,
- $R_3 = 0,5 R_{кр}$ :  
 $f_{кр3} = 33,1$  кГц.

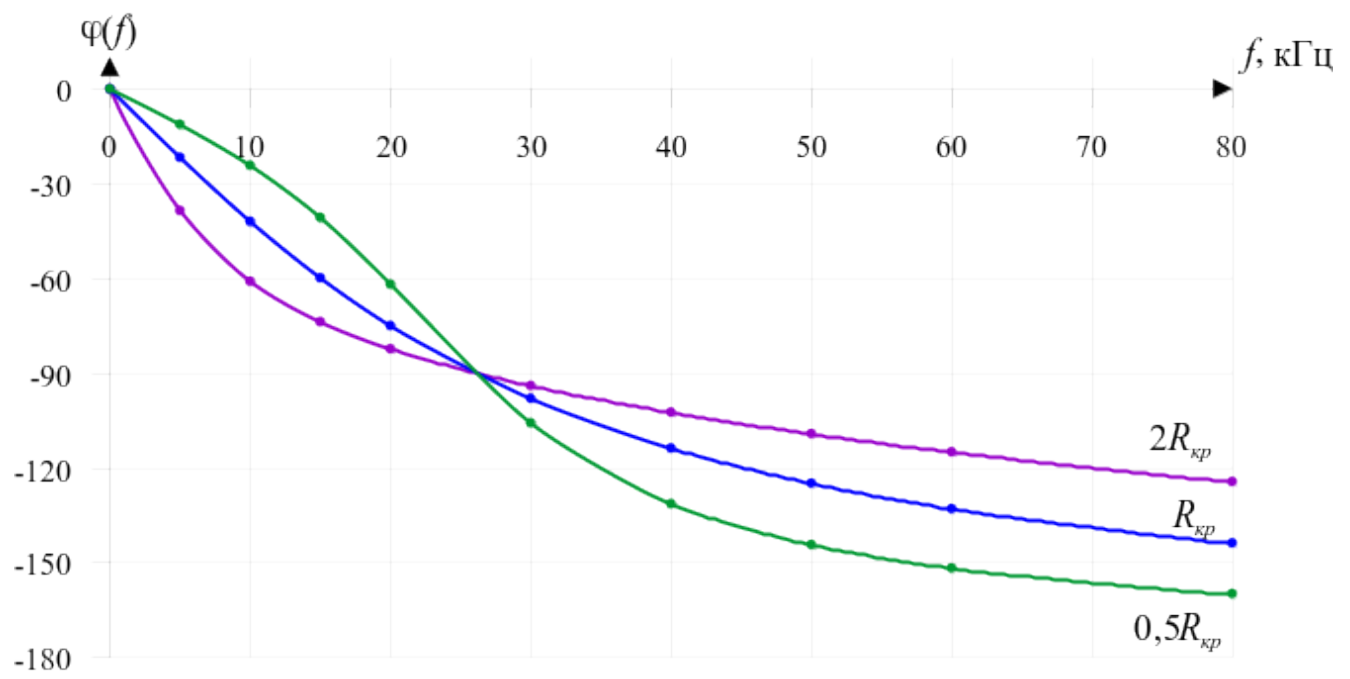


Рисунок 10 – ФЧХ RLC-цепи при разных  $R_{кр}$

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Исследование цепей первого порядка:

##### RC-цепь

Таблица 8 – параметры RC-цепи.

$f$ , Гц	0	2000	4980	7000	10000	20000	30000	40000	50000
$U_{m1}$ , В	0	1,5	1,4	1,35	1,3	1,1	1,05	1,02	1
$U_{m2}$ , В	0	0,7	0,6	0,6	0,55	0,4	0,33	0,25	0,2
$t_3$ , мкс	0	10	11	10	11	12	13	13	9
$K_U(f)$	1	0,93	0,72	0,6	0,43	0,25	0,16	0,1	0,1
$\phi_U(f)$ ,град	0	-22	-45	-55	-64	-76	-81	-84	-85

##### CR-цепь

Таблица 9 – параметры CR-цепи

$f$ , Гц	0	1000	2000	3000	4000	4980	6000	8000	10000
$U_{m1}$ , В	0	1,6	1,55	1,50	1,55	1,57	1,55	1,45	1,45
$U_{m2}$ , В	0	0,6	0,55	0,5	0,6	0,58	0,6	0,6	0,62
$t_3$ , мкс	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_U(f)$	0	0,2	0,38	0,5	0,63	0,7	0,75	0,85	0,9
$\phi_U(f)$ ,град	90	79	67	59	51	45	40	32	26

##### RL-цепи

Таблица 10 – параметры RL цепи

$f$ , Гц	0	10	20	50	100	136	180	230	280
$U_{m1}$ , В	0	1	1,05	1,2	1,3	1,25	1,35	1,4	1,4
$U_{m2}$ , В	0	1,2	1,18	2,1	2,8	2,9	3,1	3,2	3,2
$t_3$ , мкс	0	-20	-10	-2	-1	-0,03	-0,01	0	0
$K_U(f)$	0	0,1	0,15	0,3	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9
$\phi_U(f)$ ,град	90	86	82	70	54	45	37	30	25

##### LR-цепь

Таблица 11 – параметры LR цепи

$f$ , Гц	0	50	136	200	400	600	800	1100	1400
$U_{m1}$ , В	0	1,25	1,4	1,4	1,4	1,35	1,4	1,4	1,4
$U_{m2}$ , В	0	0,1	0,1	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1



$t_3$ , мкс	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_U(f)$	1	0,939	0,707	0,562	0,322	0,221	0,168	0,123	0,097	0,097
$\phi_U(f)$ , град	0	-20	-45	-56	-71	-77	-80	-83	-83	-83

### 3.2. Исследование цепи второго порядка

**R3=2Rкр**

$f$ , кГц	0	5	10	15	20	30	40	50	60	80
$U_{m1}$ , В	0	2	2,9	3,2	3,3	3,4	3,5	3,55	3,58	3,62
$U_{m2}$ , В	0	0,01	0,02	0,01	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
$t_3$ , мкс	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_U(f)$	1	0,8	0,55	0,4	0,3	0,2	0,16	0,12	0,09	0,06
$\phi_U(f)$ , град	0	-39	-62	-75	-83	-94	-103	-110	-115	-125

**R3 = 0,5 Rкр.**

$f$ , кГц	0	5	10	15	20	30	40	50	60	80
$U_{m1}$ , В	0	2,6	2,5	2,4	2,3	2,1	2,05	2	2	1,96
$U_{m2}$ , В	0	5,8	5,8	5,7	5,6	5,1	4,85	4,83	4,8	4,77
$t_3$ , мкс	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$K_U(f)$	1	1,05	1,1	1,13	1,15	0,8	0,5	0,3	0,2	0,1
$\phi_U(f)$ , град	0	-12	-25	-42	-58	-108	-130	-147	-150	-161

## 4. Обработка результатов:

### 4.1. Графики исследуемых цепей

#### а) Исследование цепей первого порядка:

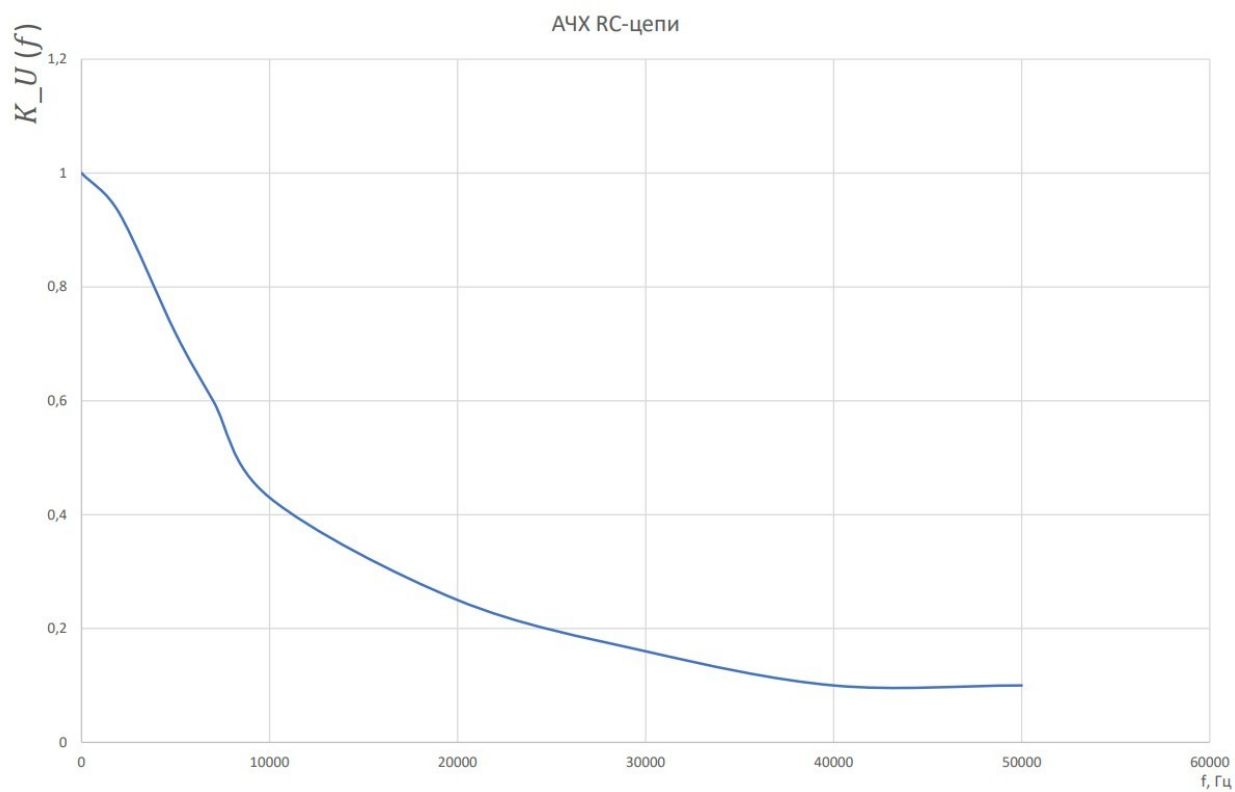


Рисунок 11 – АЧХ RC цепи

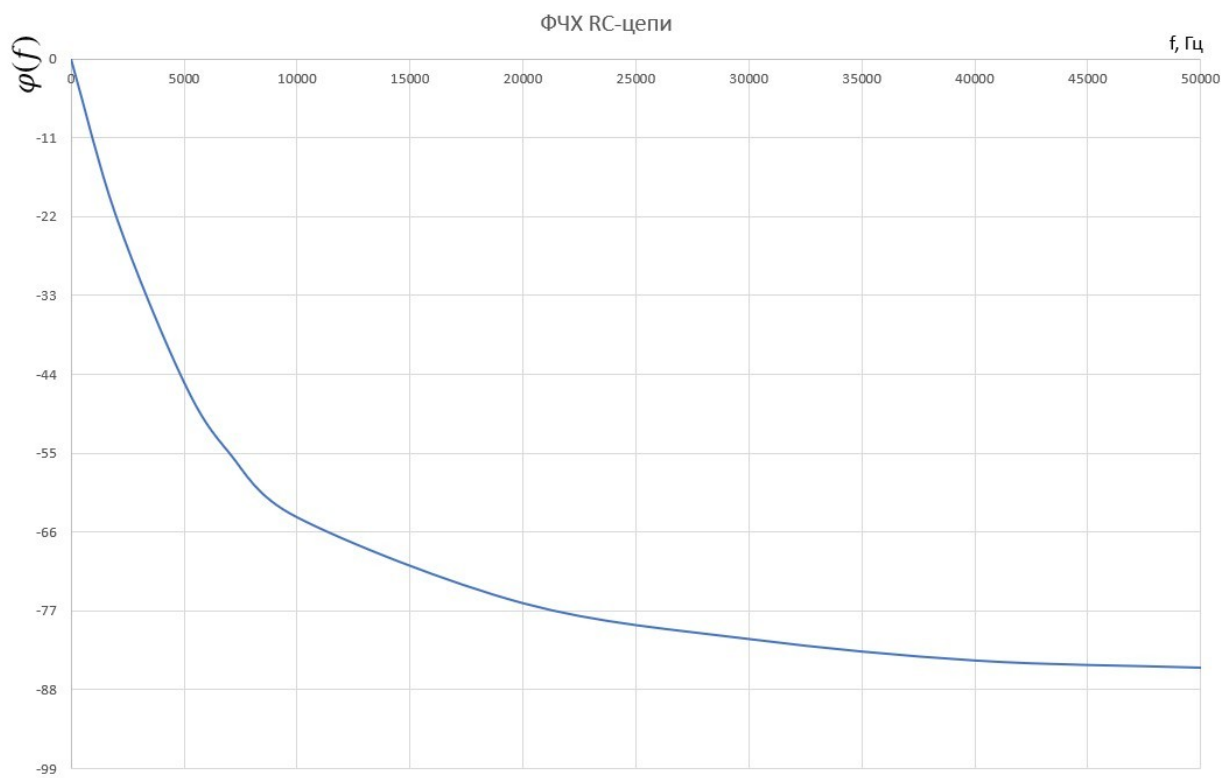


Рисунок 12 – ФЧХ RC цепи

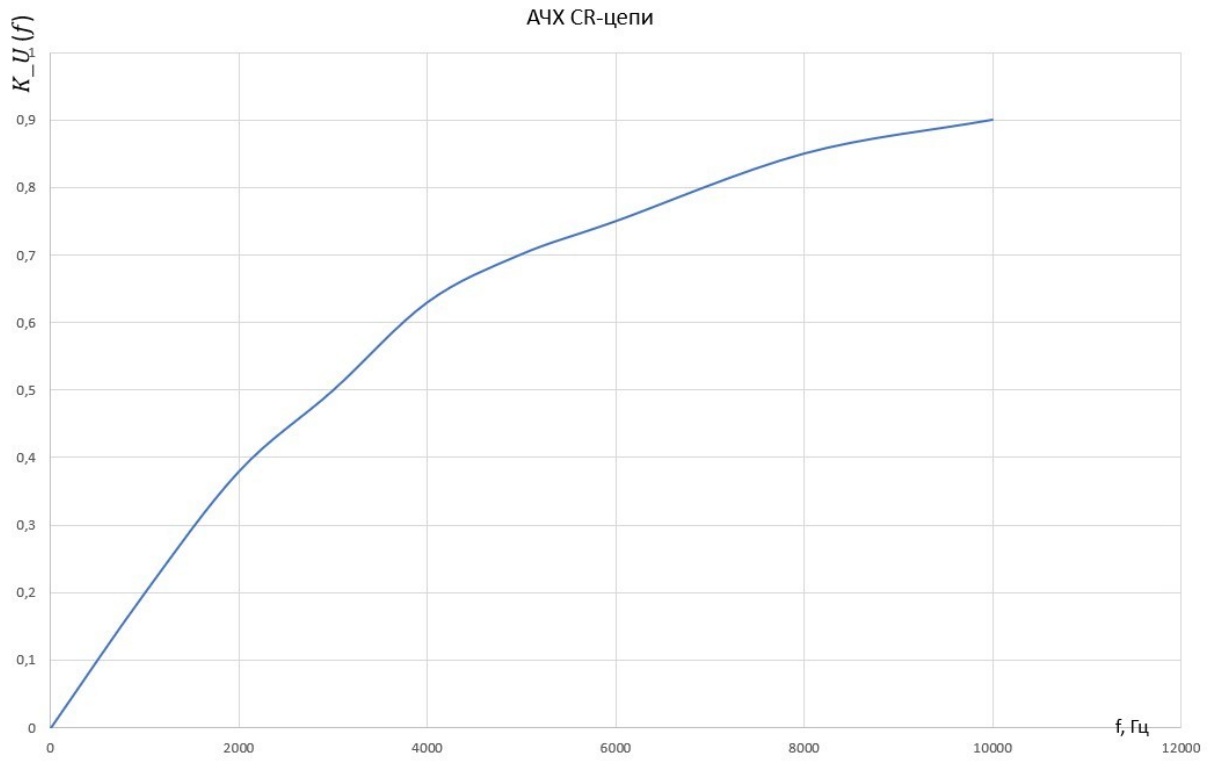


Рисунок 13 – АЧХ CR цепи

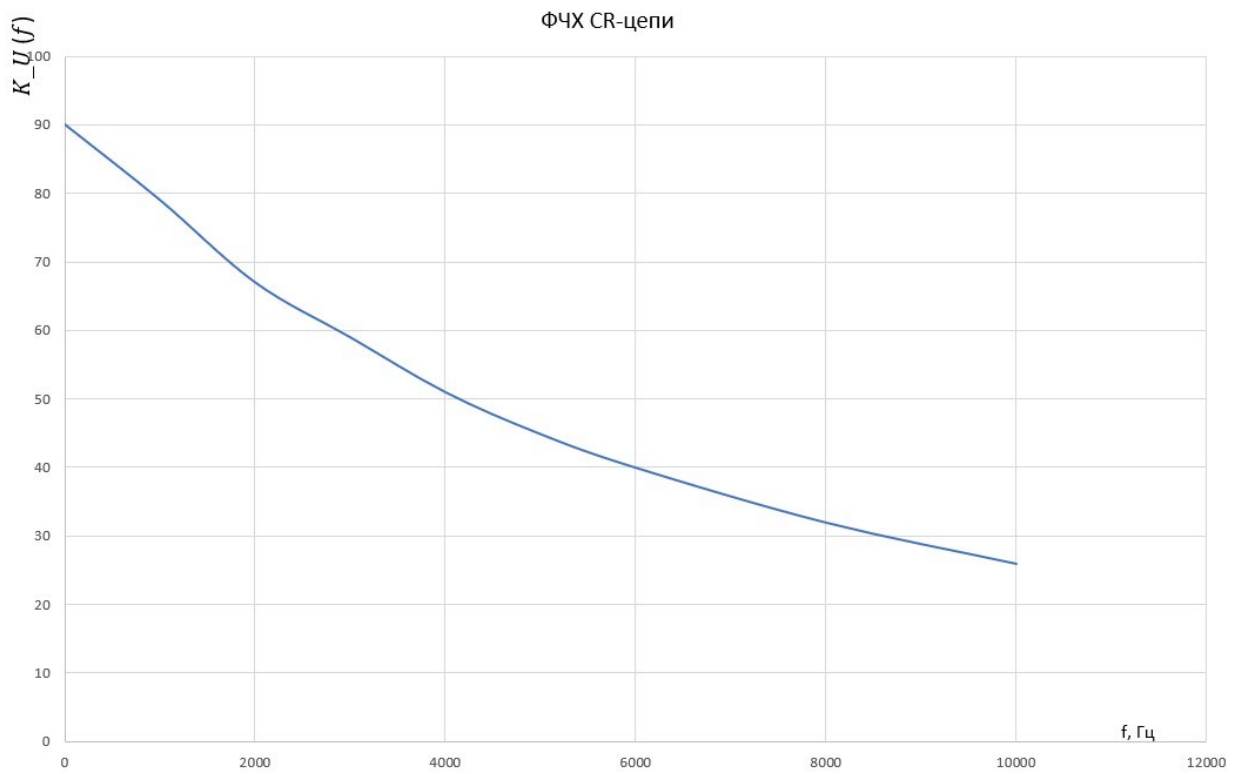


Рисунок 14 – ФЧХ CR цепи

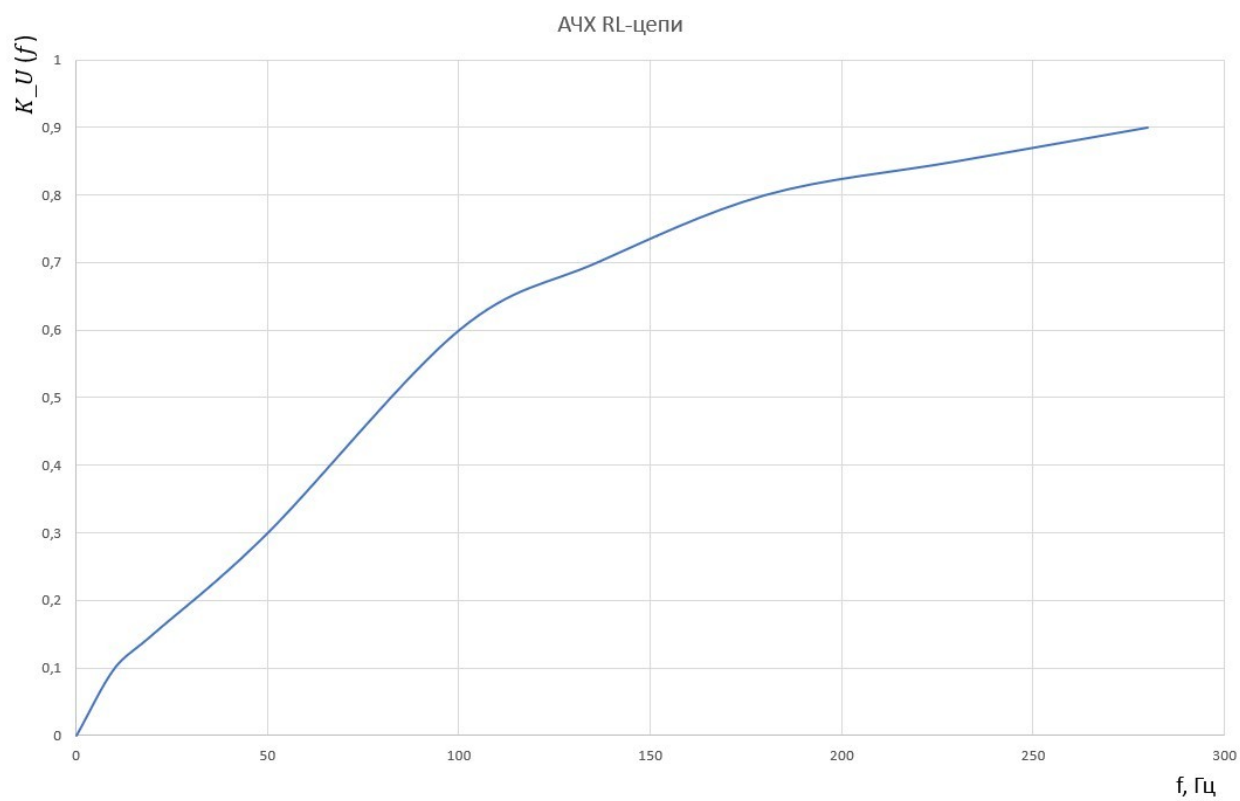


Рисунок 15 – АЧХ RL цепи

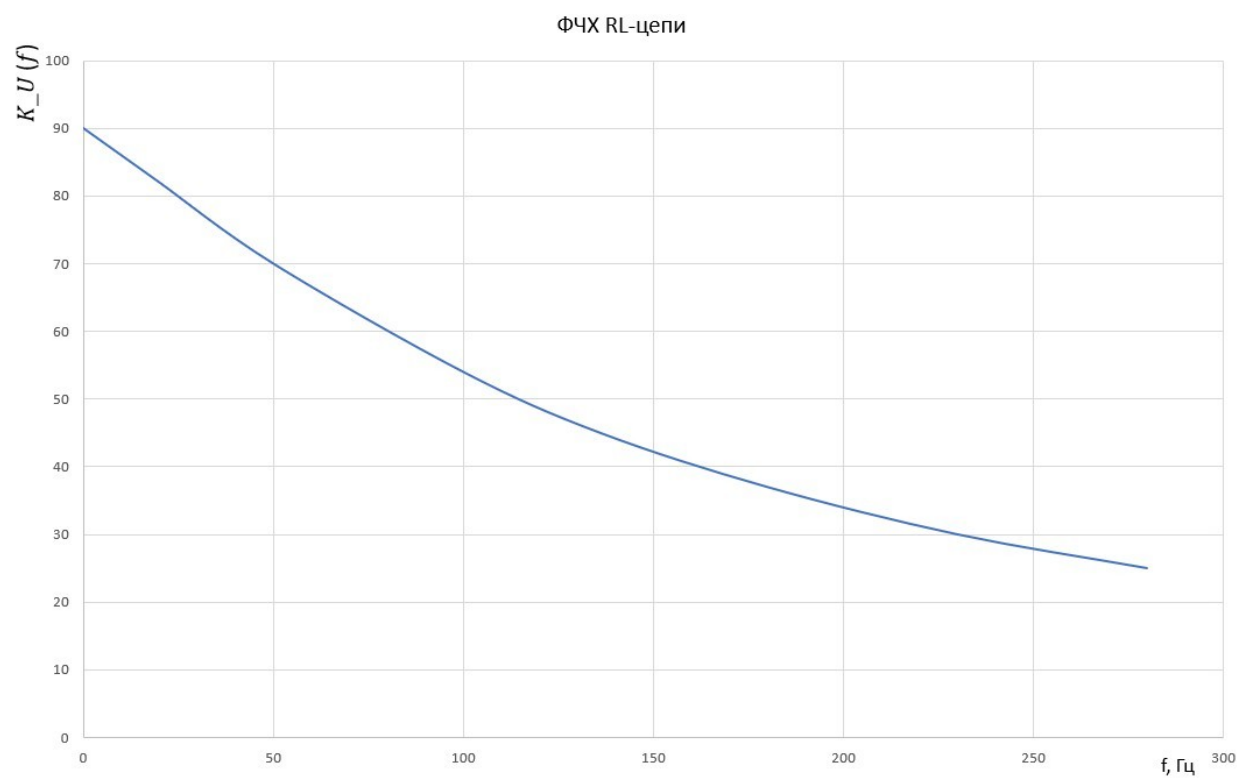


Рисунок 16 – ФЧХ RL цепи

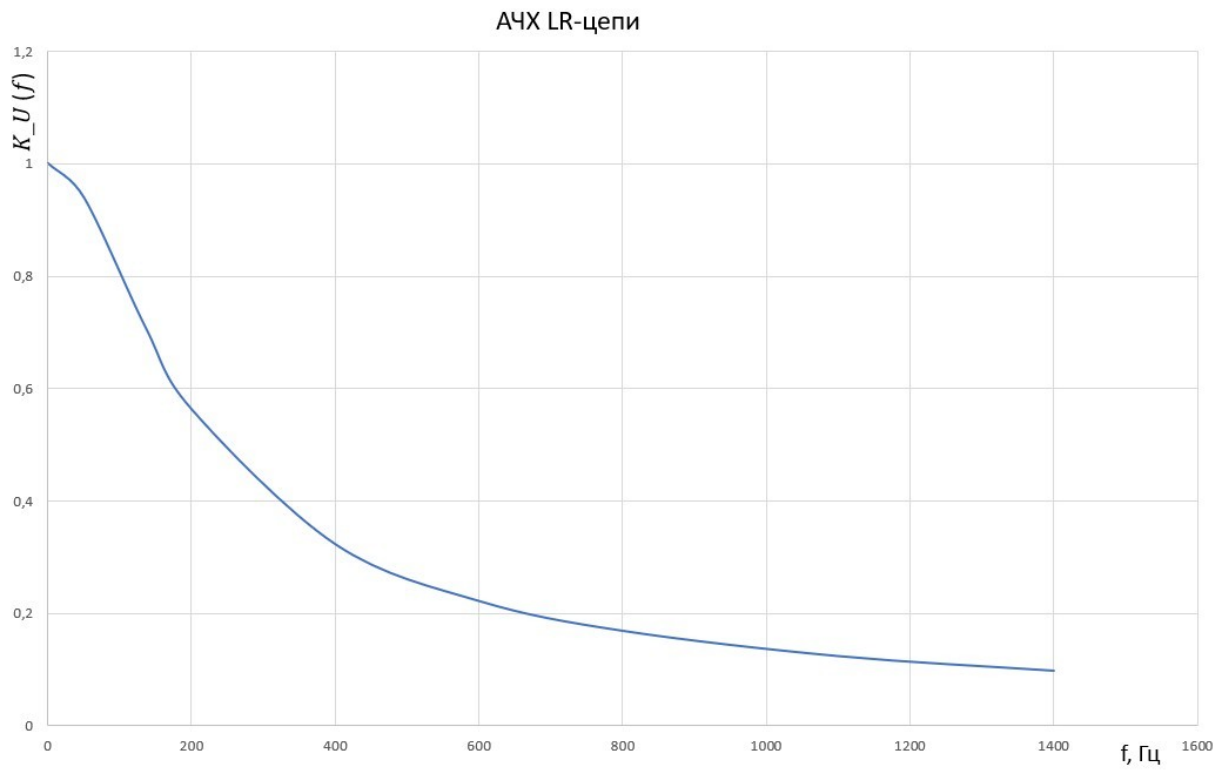


Рисунок 17 – АЧХ LR цепи

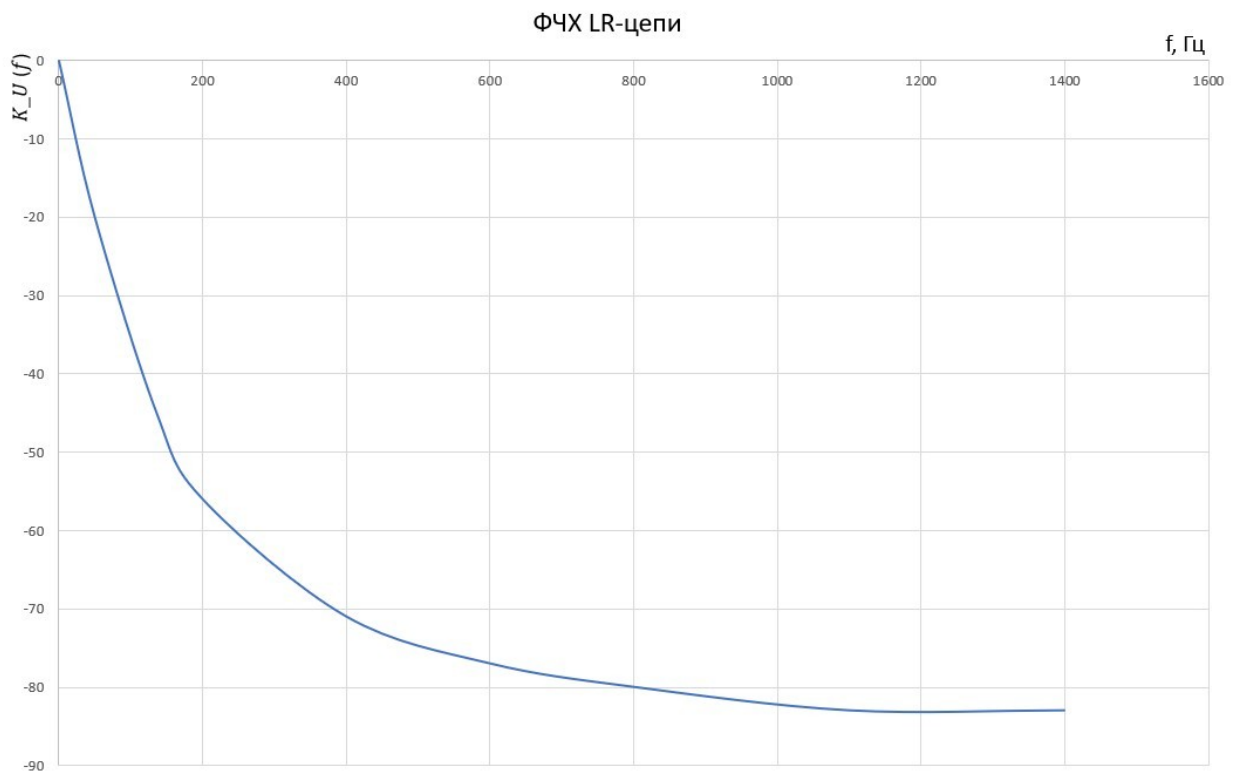


Рисунок 18 – ФЧХ LR цепи

**б) Исследование цепи второго порядка:**



расч.	4980 Гц	4980 Гц	136,005 кГц	136,005 кГц	6,94 кГц	16,75 кГц	33,1 кГц
эксп.	4981,32 Гц	4978,31 Гц	135,93 кГц	137 кГц	9,76 кГц	-	33,1 кГц

### **Вывод:**

При выполнении работы изучены некоторые свойства исследуемых цепей первого и второго порядка, рассчитаны аналитически и построены графики АЧХ, ФЧХ и определены частоты среза.

В ходе экспериментальной части сняты АЧХ и ФЧХ исследуемых цепей, построены графики. Рассчитанные и экспериментальные частоты среза цепей RC, CR, RL, LR и RLC цепей несколько различаются.

Экспериментально проверили правильность выполненных расчетов. Составлена сводная результатов расчётов и измерений