

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Факультет радиоэлектроники летательных аппаратов  
Кафедра теоретической радиотехники

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ**

Лабораторная работа:  
*«Исследование частотных характеристик  
колебательного контура»*

2006

Цель работы. Анализ частотных характеристик колебательного контура общего вида, сопоставление экспериментальных результатов с предварительно рассчитанными параметрами, анализ влияния элементов колебательного контура на его частотные характеристики.

## 1. Краткие теоретические сведения

В линейных цепях, содержащих ёмкость  $C$  и индуктивность  $L$ , при определённом значении частоты воздействующего сигнала наблюдается эффект резонанса – резкое увеличение тока или напряжения в цепи. Такая частота называется резонансной частотой колебательного контура и определяется выражением:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}, \text{ [Гц]}. \quad (1)$$

Различают три типа колебательных контуров (см. рис. 1):

- последовательный колебательный контур;
- параллельный колебательный контур;
- колебательный контур общего вида.

При описании колебательного контура используют следующие параметры:

*характеристическое (волновое) сопротивление  $\rho$*  – модуль реактивного сопротивления индуктивности или ёмкости на резонансной частоте:

$$\rho = 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad (2)$$

*добротность колебательного контура  $Q$*  – соотношение между реактивным и активным сопротивлением на резонансной частоте. Различают добротность последовательного и параллельного контуров:

$$Q_{\text{посл}} = \frac{\rho}{r}, \quad Q_{\text{пар}} = \frac{R}{\rho}. \quad (3)$$

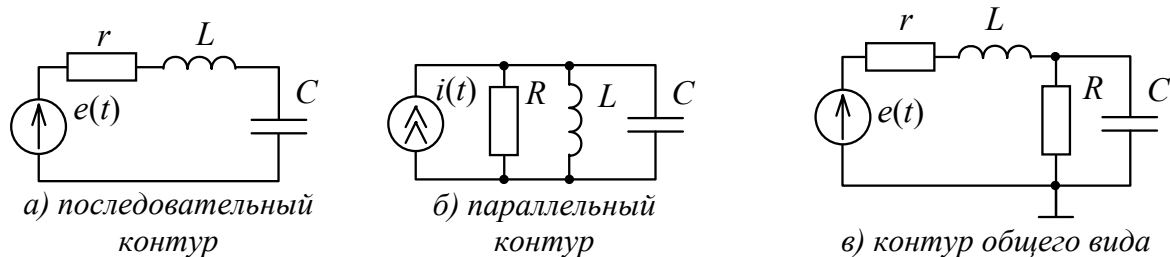


Рис. 1. Типы колебательных контуров.

При анализе высокочастотных колебательных контуров общего вида вблизи резонансной частоты для упрощения расчетов удобно все резисторы заменить одним эквивалентным сопротивлением, пересчитав все резисторы в последовательные сопротивления или в параллельные:

$$r = \frac{\rho^2}{R}, \quad R = \frac{\rho^2}{r}. \quad (4)$$

Эквивалентные преобразования схем колебательных контуров показаны на рис. 2.

При анализе колебательного контура удобно пользоваться эквивалентными схемами цепи на разных частотах:  $f = 0$ ,  $f = f_0$  и  $f = \infty$ . Рассмотрим процедуру нахождения эквивалентных схем линейных цепей подробнее.

Согласно рис. 3 ёмкость и индуктивность на нулевой частоте и при устремлении частоты к бесконечности могут быть эквивалентно заменены либо проводом (короткое замыкание – «КЗ»), либо разрывом (холостой ход – «ХХ»). Благодаря этому ток или напряжение на любом элементе колебательного контура могут быть найдены анализом цепи по постоянному току. На резонансной частоте сопротивления ёмкости и индуктивности равны по величине и противоположны по знаку, что также упрощает процедуру анализа цепи.

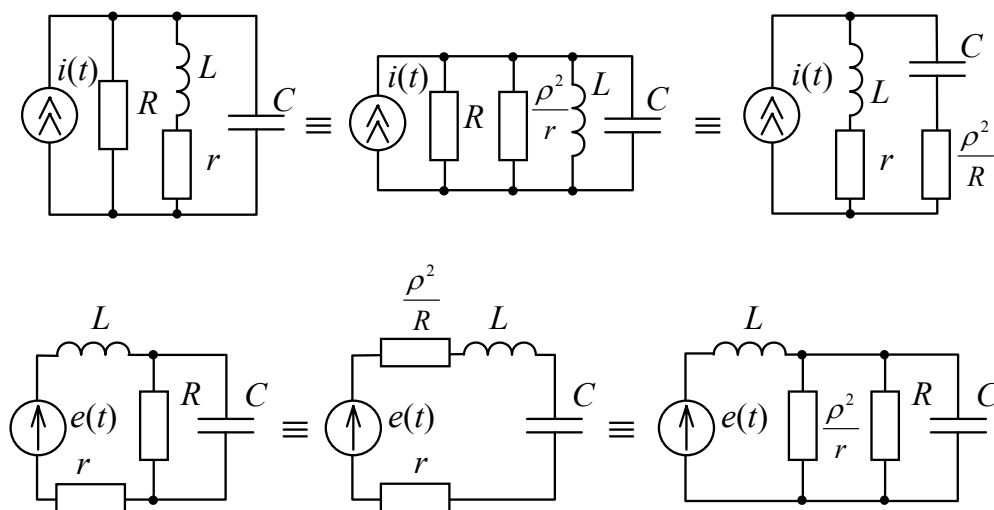


Рис. 2. Эквивалентные преобразования колебательных контуров.

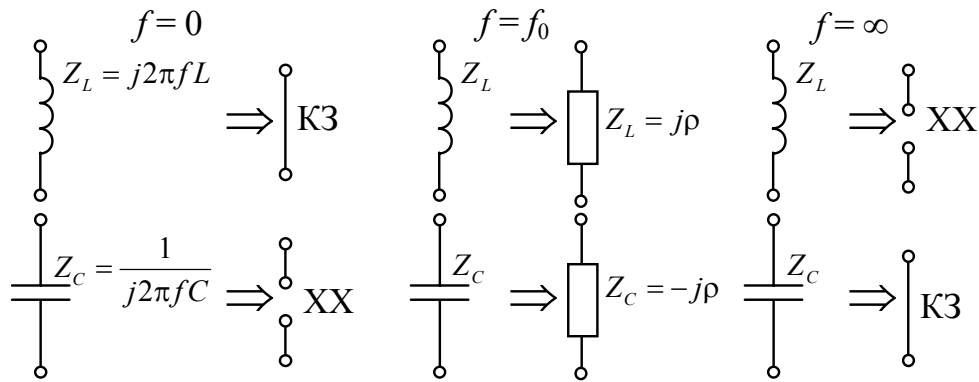


Рис. 3. Эквивалентные схемы реактивных элементов на разных частотах.

Комплексной частотной характеристикой линейной цепи называется отношение комплексной амплитуды сигнала на выходе цепи (реакции) к комплексной амплитуде сигнала на входе цепи (входное воздействие) как функции частоты воздействующего гармонического сигнала:

$$K(j2\pi f) = \dot{S}_{\text{вых}} / \dot{S}_{\text{вх}} \quad (5)$$

при условии, что  $s_{\text{вх}}(t) = A \cdot \cos(2\pi ft + \varphi_0)$  – гармонический сигнал амплитудой  $A$ , частотой  $f$  и начальной фазой  $\varphi_0$ .

Модуль комплексной частотной характеристики называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) и обозначается:

$$|K(j2\pi f)| = K(f). \quad (6)$$

Аргумент комплексной частотной характеристики называется фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) и обозначается:

$$\arg\{K(j2\pi f)\} = \varphi(f). \quad (7)$$

Примеры АЧХ и ФЧХ колебательного контура показаны на рис. 4. По графикам частотных характеристик колебательного контура можно оценить коэффициент передачи на резонансной частоте  $K_{\text{рез}}$  и добротность контура:

$$Q = f_0 / \Delta f. \quad (8)$$

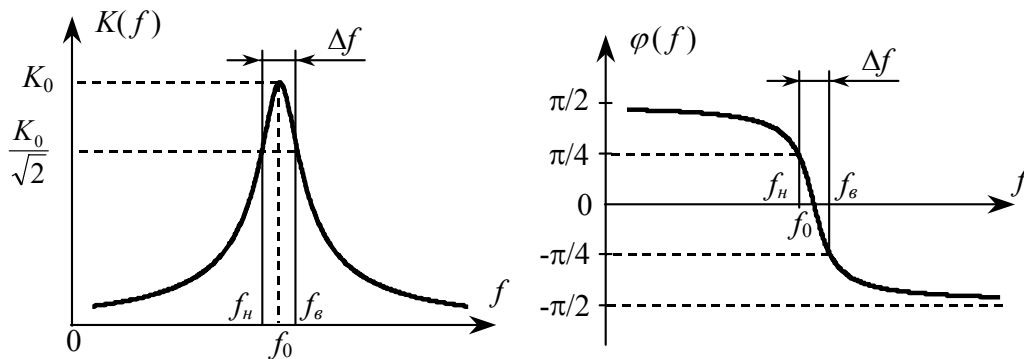


Рис. 4. Частотные характеристики колебательного контура.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Нарисуйте эквивалентную схему высокодобротного колебательного контура вблизи резонансной частоты, заменив все резисторы одним эквивалентным сопротивлением:

$$R_{\text{послед. экв.}} = \sum_i r_i + \sum_j \frac{\rho^2}{R_j}, \quad \frac{1}{R_{\text{пар. экв.}}} = \sum_i \frac{1}{R_i} + \sum_j \frac{r_j}{\rho^2}, \quad (9)$$

где  $r_i$  – резисторы, стоящие последовательно с реактивными элементами цепи,  $R_j$  – резисторы, стоящие параллельно с реактивными элементами контура.

2. Рассчитайте элементы  $L$ ,  $C$ ,  $R_{\text{экв}}$  исходя из заданных параметров колебательного контура.

3. Подберите сопротивления резисторов в исходной цепи для обеспечения необходимой величины эквивалентного сопротивления  $R_{\text{экв}}$ , найденного ранее.

Для проведения дальнейшего анализа характеристик колебательного контура необходимо округлить рассчитанные значения параметров элементов контура с 10% точностью.

4. Нарисуйте эквивалентные схемы колебательного контура и определите коэффициент передачи цепи на следующих частотах:  $f = 0$ ,  $f = f_0$  и  $f = \infty$ . Нарисуйте примерный вид АЧХ контура и согласуйте его с преподавателем.

5. Для заданной цепи методом комплексных амплитуд найдите аналитическое выражение комплексной частотной характеристики колебательного контура  $K(j2\pi f)$ .

6. Запустите лабораторную работу, набрав в командном окне программы Matlab

**>> lab02**

В меню лабораторной работы выберите тип анализируемой цепи, искомую реакцию и задать численные значения элементов колебательного контура, полученные в результате расчетов в п. 2 и 3.

При вводе численных значений параметров элементов удобно пользоваться следующей формой представления чисел:

$10^6$ (мега) => 1e6	$10^{-6}$ (микро) => 1e-6
$10^3$ (кило) => 1e3	$10^{-9}$ (нано) => 1e-9
$10^{-3}$ (мили) => 1e-3	$10^{-12}$ (пико) => 1e-12

Для получения графиков частотных характеристик нажмите кнопку «Характеристики контура». Зарисуйте полученные частотные характеристики и сравните их с графиком, нарисованным в п. 4.

7. В оболочке лабораторной работы поставьте галочку напротив фразы «Зафиксировать масштаб по оси частот».

Снимите и зарисуйте семейство частотных характеристик колебательного контура при изменении элемента цепи: индуктивности (нечётный номер варианта) или ёмкости (чётный номер варианта). По АЧХ и ФЧХ колебательного контура определите резонансную частоту, полосу пропускания и коэффициент передачи контура на резонансной частоте. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

	$0,2 \cdot C (0,2 \cdot L)$	$0,5 \cdot C (0,5 \cdot L)$	$C (L)$	$2 \cdot C (2 \cdot L)$	$5 \cdot C (5 \cdot L)$
$C, \text{ нФ}$ $(L, \text{ мГн})$					
$f_{\text{рез}}$					
$\Delta f$					
$K_0$					

Постройте зависимости резонансной частоты, полосы пропускания и  $K_0$  от величины параметра колебательно контура.

8. Изменяя параметры элементов колебательного контура, добейтесь следующих характеристик цепи:

а)  $f_0 = \text{const}$ ,  $Q = \text{const}$ ,  $K'_0 = (0,5 \dots 2) \cdot K_0$ ;

б)  $K_0 = \text{const}$ ,  $Q = \text{const}$ ,  $f'_0 = (0,5 \dots 2) \cdot f_0$ ;

в)  $f_0 = \text{const}$ ,  $K_0 = \text{const}$ ,  $Q' = (0,5 \dots 5) \cdot Q$ .

Занесите в отчет промежуточные результаты подбора элементов на каждом шаге поиска. Запишите полученные значения параметров элементов колебательного контура, зарисуйте полученные АЧХ и ФЧХ.

9. Напишите комментарии и выводы по работе.

*В выводах необходимо отразить следующее:*

– по графикам АЧХ и ФЧХ (п. 6) определить значения нижней и верхней граничных частот полосы пропускания  $f_n$  и  $f_v$ ;

– сравнить значения резонансной частоты и полосы пропускания, определённых по АЧХ и ФЧХ колебательного контура;

– сравнить результаты оценки параметров колебательного контура, полученным по упрощённым эквивалентным схемам, с измеренными АЧХ и ФЧХ. Дать физическое объяснение (по схеме) поведения частотных характеристик на частотах  $f = 0$ ,  $f = f_0$  и  $f = \infty$ ;

– проанализировать зависимости резонансной частоты, полосы пропускания и  $K_0$  от величины параметра колебательного контура и физически объяснить поведение этих графиков;

– указать, за счёт каких элементов колебательного контура было получено необходимое изменение его характеристик и объяснить физически, почему именно эти элементы позволили получить желаемые результаты.

### 3. Варианты заданий

Вар.	Схема	Частотная характеристика	Параметры контура		
			$Q$	$f_0$ , кГц	$C$ , нФ / $L$ , мГн
1.	1	$K_{UC}(j\omega) = \dot{U}_C / \dot{I}$	6	10	$C = 3 \dots 8$
2.	1	$K_{IC}(j\omega) = \dot{I}_C / \dot{I}$	7	12	$L = 0,5 \dots 0,54$
3.	1	$K_{UL}(j\omega) = \dot{U}_L / \dot{I}$	8	14	$C = 10 \dots 14$
4.	1	$K_{IL}(j\omega) = \dot{I}_L / \dot{I}$	9	16	$L = 0,6 \dots 0,64$
5.	1	$K_{UR1}(j\omega) = \dot{U}_{R1} / \dot{I}$	10	18	$C = 20 \dots 24$
6.	1	$K_{IR2}(j\omega) = \dot{I}_{R2} / \dot{I}$	11	20	$L = 0,7 \dots 0,74$
7.	2	$K_{UL}(j\omega) = \dot{U}_L / \dot{I}$	6	22	$C = 35 \dots 39$
8.	2	$K_{IL}(j\omega) = \dot{I}_L / \dot{I}$	7	24	$L = 0,8 \dots 0,84$
9.	2	$K_{UC}(j\omega) = \dot{U}_C / \dot{I}$	8	26	$C = 50 \dots 54$
10.	2	$K_{IC}(j\omega) = \dot{I}_C / \dot{I}$	9	28	$L = 0,9 \dots 0,94$
11.	2	$K_{UR1}(j\omega) = \dot{U}_{R1} / \dot{I}$	10	30	$C = 70 \dots 74$
12.	2	$K_{IR2}(j\omega) = \dot{I}_{R2} / \dot{I}$	11	10	$L = 0,55 \dots 0,59$
13.	3	$K_{IL}(j\omega) = \dot{I}_L / \dot{E}$	6	12	$C = 85 \dots 89$
14.	3	$K_{UL}(j\omega) = \dot{U}_L / \dot{E}$	7	14	$L = 0,65 \dots 0,69$
15.	3	$K_{IC}(j\omega) = \dot{I}_C / \dot{E}$	8	16	$C = 95 \dots 99$
16.	3	$K_{UC}(j\omega) = \dot{U}_C / \dot{E}$	9	18	$L = 0,75 \dots 0,79$
17.	3	$K_{IR2}(j\omega) = \dot{I}_{R2} / \dot{E}$	10	20	$C = 60 \dots 64$
18.	3	$K_{UR1}(j\omega) = \dot{U}_{R1} / \dot{E}$	11	22	$L = 0,85 \dots 0,89$
19.	4	$K_{IC}(j\omega) = \dot{I}_C / \dot{E}$	6	24	$C = 40 \dots 44$
20.	4	$K_{UC}(j\omega) = \dot{U}_C / \dot{E}$	7	26	$L = 0,95 \dots 0,99$
21.	4	$K_{IL}(j\omega) = \dot{I}_L / \dot{E}$	8	28	$C = 30 \dots 34$
22.	4	$K_{UL}(j\omega) = \dot{U}_L / \dot{E}$	9	30	$L = 1,0 \dots 1,2$
23.	4	$K_{IR2}(j\omega) = \dot{I}_{R2} / \dot{E}$	10	10	$C = 25 \dots 29$
24.	4	$K_{UR1}(j\omega) = \dot{U}_{R1} / \dot{E}$	11	12	$L = 1,3 \dots 1,5$
25.	5	$K_{UR1}(j\omega) = \dot{U}_{R1} / \dot{I}$	6	14	$C = 105 \dots 109$



Вар.	Схе- ма	Частотная характеристика	Параметры контура		
			$Q$	$f_0$ , кГц	$C$ , нФ ( $L$ , мГн)
26.	5	$K_{IR1}(j\omega) = \dot{I}_{R1}/\dot{I}$	7	16	$L = 1,7 \dots 1,9$
27.	5	$K_{UL}(j\omega) = \dot{U}_L/\dot{I}$	8	18	$C = 112 \dots 115$
28.	5	$K_{IL}(j\omega) = \dot{I}_L/\dot{I}$	9	20	$L = 2,0 \dots 2,2$
29.	5	$K_{IC}(j\omega) = \dot{I}_C/\dot{I}$	10	22	$C = 119 \dots 122$
30.	5	$K_{UC}(j\omega) = \dot{U}_C/\dot{I}$	11	10	$L = 2,4 \dots 2,7$
31.	5	$K_{UR2}(j\omega) = \dot{U}_{R2}/\dot{I}$	12	12	$C = 124 \dots 127$
32.	5	$K_{UR3}(j\omega) = \dot{U}_{R3}/\dot{I}$	13	14	$L = 2,8 \dots 3,1$
33.	6	$K_{IR1}(j\omega) = \dot{I}_{R1}/\dot{E}$	6	16	$C = 128 \dots 132$
34.	6	$K_{UR1}(j\omega) = \dot{U}_{R1}/\dot{E}$	7	18	$L = 3,3 \dots 3,6$
35.	6	$K_{IC}(j\omega) = \dot{I}_C/\dot{E}$	8	20	$C = 135 \dots 139$
36.	6	$K_{UC}(j\omega) = \dot{U}_C/\dot{E}$	9	22	$L = 3,8 \dots 4,2$
37.	6	$K_{IL}(j\omega) = \dot{I}_L/\dot{E}$	10	24	$C = 141 \dots 144$
38.	6	$K_{UL}(j\omega) = \dot{U}_L/\dot{E}$	11	26	$L = 4,3 \dots 4,7$
39.	6	$K_{IR2}(j\omega) = \dot{I}_{R2}/\dot{E}$	12	28	$C = 145 \dots 149$
40.	6	$K_{IR3}(j\omega) = \dot{I}_{R3}/\dot{E}$	13	30	$L = 4,8 \dots 5,3$

## Типы схем

Тип схемы	Схема
1	
2	
3	
4	
5	
6	