

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Факультет радиоэлектроники летательных аппаратов  
Кафедра теоретической радиотехники

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ**

Лабораторная работа:  
*«Исследование переходных процессов в  
колебательном контуре»*

2010

Цель работы. Анализ переходных процессов в колебательном контуре общего вида, сопоставление экспериментальных результатов с предварительно рассчитанными параметрами, анализ влияния элементов колебательного контура на характер переходного процесса.

## 1. Краткие теоретические сведения

Переходным называется процесс изменения токов и напряжений в цепи при ее переходе от одного установившегося режима к другому. Переходные процессы возникают в цепи при её коммутации (подключении цепи к источнику питания или отключении от него), при скачкообразном изменении напряжения (тока) источника или параметров элементов цепи. Характер переходного процесса зависит от типа цепи, начальных условий и от анализируемой величины (ток или напряжение). Под начальными условиями понимают значения токов и напряжений на элементах схемы в момент времени непосредственно перед коммутацией.

В данной работе исследуется переходной процесс в линейной цепи второго порядка под действием скачка источника напряжения  $e(t)$  или источника тока  $i(t)$  от одной заданной величины до другой заданной величины, например:

$$e(t) = \begin{cases} E_-, & t < 0, \\ E_+, & t > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Переходной процесс представляет собой сумму собственной (свободной) и вынужденной (установившейся) реакций:

$$s(t) = \begin{cases} s(0_-), & t < 0, \\ s_{\text{соб}}(t) + s_{\text{вын}}, & t > 0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $s(t)$  – ток или напряжение между заданными узлами цепи.

Собственная реакция высокодобротной резонансной цепи определяется выражением:

$$s_{\text{соб}}(t) = |S| \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos(2\pi f_0 t + \arg S), \quad t > 0, \quad (3)$$

где  $|S|$  и  $\arg S$  представляют собой амплитуду и начальную фазу собственной реакции цепи, а параметры  $\alpha$  и  $f_0$  называются показателем (декрементом) затухания и резонансной частотой контура соответственно.

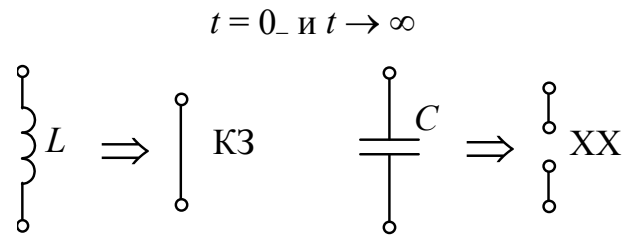


Рис. 1. Эквивалентные схемы реактивных элементов по постоянному току.

Высокодобротным считается контур, у которого выполняется условие  $2\pi f_0 \gg \alpha$  (обычно более чем в 5...10 раз).

Показатель затухания для последовательного и параллельного колебательных контуров определяются следующим образом:

$$\alpha_{\text{посл}} = \frac{r}{2L}, \text{ [рад/сек]}, \quad \alpha_{\text{пар}} = \frac{1}{2RC}, \text{ [рад/сек]}. \quad (4)$$

Для высокодобротного контура общего вида можно приближённо считать

$$\alpha \cong \alpha_{\text{посл}} + \alpha_{\text{пар}} = \frac{r}{2L} + \frac{1}{2RC}. \quad (5)$$

Для оценки независимых начальных условий (напряжения на ёмкости  $u_C(0_-)$  и тока через индуктивность  $i_L(0_-)$ ) и вынужденной реакции цепи на заданное воздействие необходимо ёмкость заменить на холостой ход (XX), а индуктивность – на короткое замыкание (КЗ) согласно рис. 1. Далее можно найти искомые величины по эквивалентной схеме для значения тока или напряжения источника до скачка или при  $t \rightarrow \infty$ .

Для оценки зависимых начальных условий необходимо индуктивность и ёмкость заменить эквивалентными источниками тока или напряжения соответственно согласно рис. 2, а величину внешнего источника принять равной заданному значению тока или напряжения источника после скачка.

После замены реактивных элементов искомые начальные условия и установившееся значение в колебательном контуре находятся путём расчёта цепи по постоянному току.

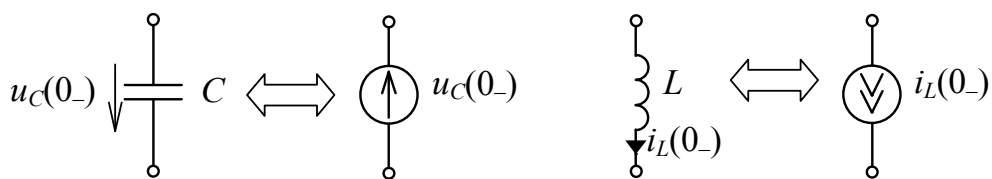


Рис. 2. Эквивалентные схемы реактивных элементов для  $t = 0_+$ .

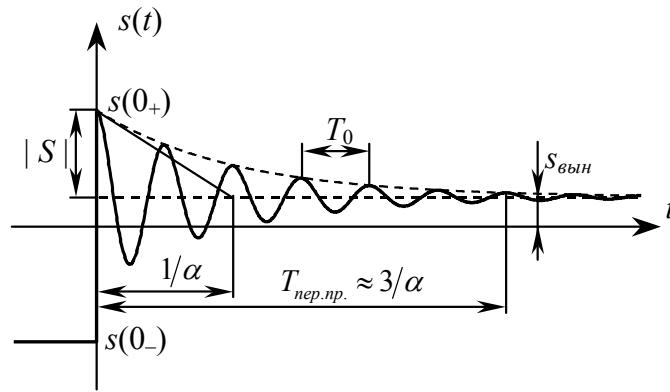


Рис. 3. Переходной процесс в колебательном контуре.

При анализе переходных процессов в линейных цепях необходимо помнить, что ток через индуктивность и напряжение на ёмкости являются переменными состояния цепи и не могут измениться скачком:

$$i_L(0_-) = i_L(0_+), \quad u_C(0_-) = u_C(0_+). \quad (6)$$

Пример графика переходного процесса в колебательном контуре для величины, не являющейся переменной состояния контура показан на рис. 3.

По графику переходного процесса можно определить следующие параметры колебательного контура:

*Период собственных колебаний контура:*

$$T_0 \cong 1/f_0; \quad (7)$$

*длительность переходного процесса:*

$$T_{пер. пр.} \cong 3/\alpha; \quad (8)$$

*добротность колебательно контура:*

$$Q \cong T_{пер. пр.}/T_0. \quad (9)$$

## 2. Подготовка к лабораторной работе

2.1. Нарисуйте эквивалентную схему высокодобротного колебательно-го контура вблизи резонансной частоты, заменив все резисторы одним эквивалентным сопротивлением:

$$R_{посл. экв.} = \sum_i r_i + \sum_j \frac{\rho^2}{R_j}, \quad \frac{1}{R_{нар. экв.}} = \sum_i \frac{1}{R_i} + \sum_j \frac{r_j}{\rho^2}, \quad (10)$$

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

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

2.3. 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.

2.4. Рассчитайте показатель затухания по формуле (5).

2.5. Нарисуйте эквивалентные схемы заданной цепи и определите искомую реакцию для трёх моментов времени:

а)  $t = 0_-$ ; б)  $t = 0_+$ ; в)  $t = \infty$ .

Параметры источника напряжения  $e(t)$  или источника тока  $i(t)$  необходимо выбрать следующим образом:

$$e(t) = \begin{cases} E_- = -1 \dots -3 \text{ В}, & t < 0, \\ E_+ = 2 \dots 5 \text{ В}, & t > 0. \end{cases} \quad i(t) = \begin{cases} I_- = 1 \dots 3 \text{ мА}, & t < 0, \\ I_+ = -2 \dots -5 \text{ мА}, & t > 0. \end{cases} \quad (11)$$

2.6. Оцените амплитуду собственной реакции колебательного контура, время переходного процесса и нарисуйте реакцию на заданном элементе колебательного контура при скачкообразном изменении тока (напряжения) источника. Согласуйте полученный график с преподавателем.

### 3. Порядок выполнения работы

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

**>> lab03**

Выберете тип анализируемой цепи, искомую реакцию и задайте численные значения элементов колебательного контура согласно своему варианту.

Для получения переходного процесса нажмите кнопку «График переходного процесса». Зарисуйте полученный график переходного процесса и сравните его с графиком, нарисованным в п. 2.6.

По графику переходного процесса в колебательном контуре определите резонансную частоту, добротность контура.

3.2. Измените параметры колебательного контура: ёмкость (нечётный номер варианта) или индуктивность (чётный номер варианта), зарисуйте графики переходных процессов колебательного контура и по полученным графикам рассчитайте значения резонансной частоты и добротности контура. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

	$0,2 \cdot C (0,2 \cdot L)$	$0,5 \cdot C (0,5 \cdot L)$	$C (L)$	$2 \cdot C (2 \cdot L)$	$5 \cdot C (5 \cdot L)$
$C, \text{ нФ } (L, \text{ мГн})$					
$f_0$					
$Q$					

3.3. Путём изменения параметров элементов колебательного контура добейтесь следующих характеристик цепи:

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

б)  $f_0 = \text{const}$ ,  $Q' = (3 \dots 5) \cdot Q$ .

Занесите в отчет полученные значения параметров элементов колебательного контура, зарисуйте полученные графики переходных процессов.

3.4. Напишите комментарии и выводы по работе:

*В выводах необходимо отразить следующее:*

- сравнить исходные значения резонансной частоты и добротности колебательного контура со значениями, найденными по графику переходного процесса;
- сравнить теоретический и экспериментальный графики переходного процесса в колебательном контуре;
- дать физическое объяснение (по схеме) поведения переходного процесса в моменты времени  $t = 0_-$ ,  $t = 0_+$  и  $t = \infty$ ;
- проанализировать зависимости резонансной частоты и добротности от величины параметра колебательно 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.

#### 4. 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	$L = 1,3 \dots 1,5$

## Типы схем

