

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве методических указаний
к лабораторной работе
для студентов

УДК 621.396

Методические указания к лабораторным работам составлены по курсу «Основы радиоэлектроники», изучаемому студентами дневного и вечернего отделений спец. 0705, и охватывают раздел «Колебательные цепи при гармоническом воздействии». Описание каждой работы содержит задание, рекомендации по подготовке к выполнению задания, контрольные вопросы.

Составитель Р. А. Бережная

Рецензенты: В. В. Мотов, Ю. С. Быховский

Составитель Рита Алексеевна Бережная

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ

Редактор Е. Д. Антипова

Техн. редактор Н. М. Каленюк

Корректор А. П. Захардяева

Подписано в печать 15.11.86. Формат 60×84^{1/16}.

Бумага оберточная белая. Печать оперативная.

Усл. п. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,6. Тираж 300 экз.

Заказ 8322. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Обл. тип. им. В. П. Мяги, г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТЕЙШИХ RLC - ЦЕПЕЙ

Ц е л ь р а б о т ы: исследовать резонансные кривые в последовательном и параллельном колебательных контурах в режиме вынужденных колебаний.

З а д а н и е: снять резонансные кривые последовательного и параллельного контуров при изменении их добротности.

Основные обозначения, расчетные формулы и определения

Для поддержания незатухающих колебаний в колебательном контуре необходимо компенсировать потери в нем за счет энергии внешнего источника переменной ЭДС. При совпадении частоты колебаний внешнего источника с частотой собственных колебаний наблюдается явление резонанса. В последовательном колебательном контуре при резонансе реактивная составляющая входного сопротивления обращается в нуль, входное сопротивление становится чисто активным и амплитуда тока в контуре достигает максимального значения. Напряжения на индуктивности и емкости находятся в противофазе, а их амплитуды равны и в Q раз больше амплитуды напряжения внешнего источника.

Резонансные кривые последовательного колебательного контура приведены на рис.1,2,3. На рисунках приняты следующие обозначения: ω_0 - резонансная частота контура; Q - добротность контура; K_c - комплексный коэффициент передачи при измерении выходного напряжения с емкости,

$$|K_c| = Qn(\omega) \frac{\omega_0}{\omega};$$

K_L - комплексный коэффициент передачи при измерении выходного напряжения с индуктивности,

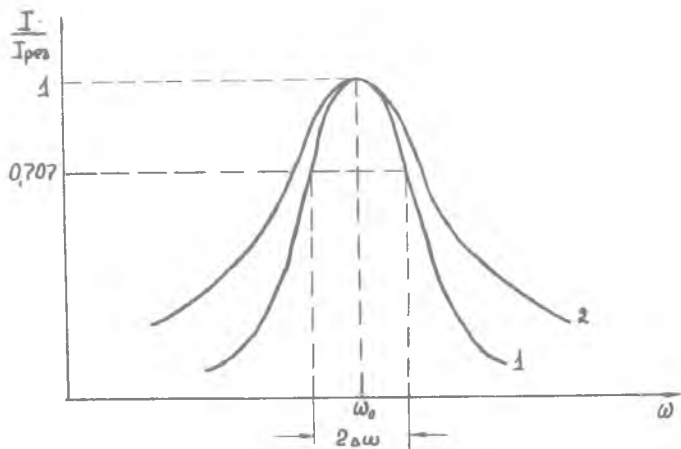
$$|K_L| = Qn(\omega) \frac{\omega}{\omega_0};$$

где $n(\omega)$ - предельная резонансная кривая.

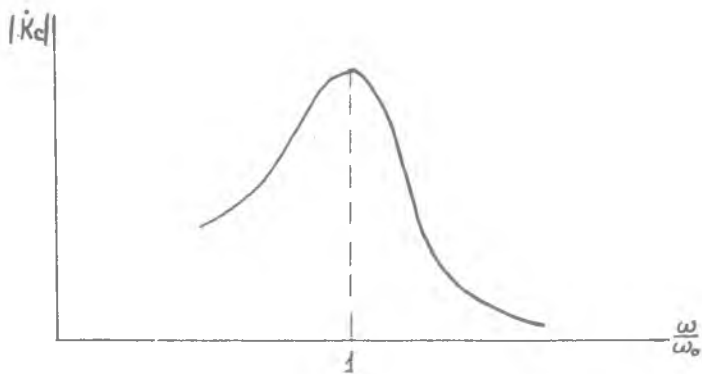
Полосой пропускания $2\Delta\omega$ контура называют диапазон частот, на границах которого ток (или напряжение) снижается до уровня $\frac{1}{\sqrt{2}}$ от максимального значения:

$$2\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}.$$

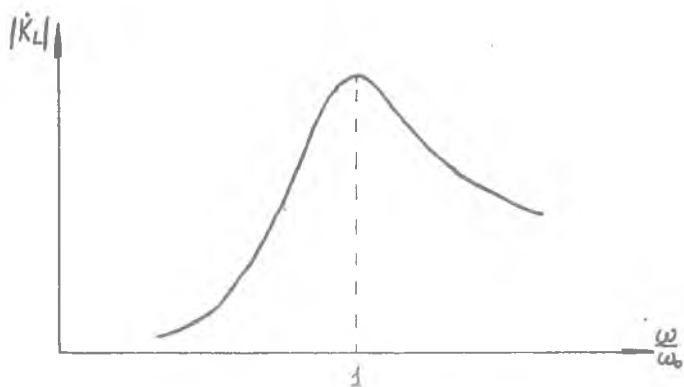
В параллельном колебательном контуре при резонансе реактивная составляющая входной проводимости обращается в нуль, токи в индуктивной и емкостной ветвях становятся равными и в Q раз большими тока, потребляемого контуром от внешнего источника.



Р и с. 1. Резонансные кривые последовательного колебательного контура для 2-х значений добротности контура: 1 - Q_1 ; 2 - Q_2 ; $Q_1 > Q_2$

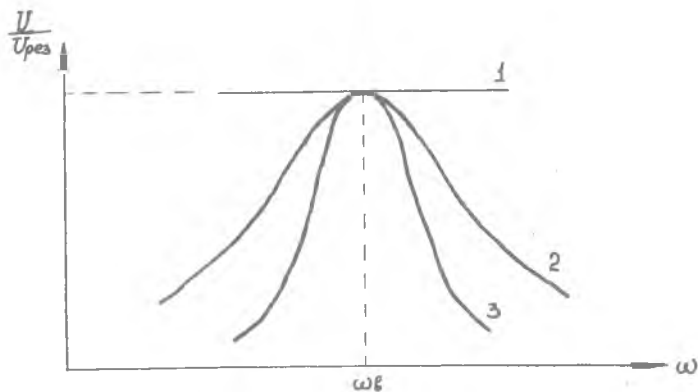


Р и с. 2. Частотные характеристики коэффициента передачи K_c

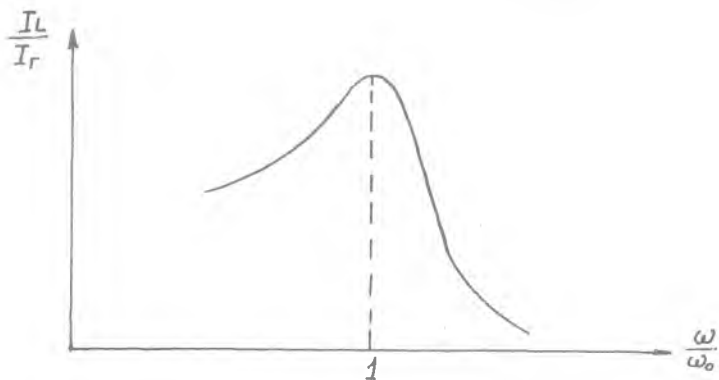


Р и с. 3. Частотные характеристики коэффициента передачи \dot{K}_L

Резонансные кривые параллельного колебательного контура приведены на рис. 4,5,6. На рисунках приняты следующие обозначения: R_L - внутреннее сопротивление генератора; I_G - ток генератора.



Р и с. 4. Влияние внутреннего сопротивления генератора на резонансные кривые параллельного колебательного контура:
 1 - $R_{L1} = 0$; 2 - $R_{L2} < \infty$; 3 - $R_{L3} \rightarrow \infty$



Р и с. 5. Частотные характеристики тока в индуктивной ветви параллельного колебательного контура

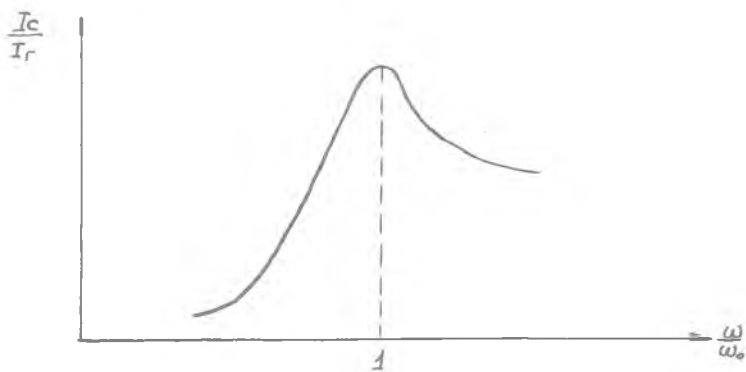
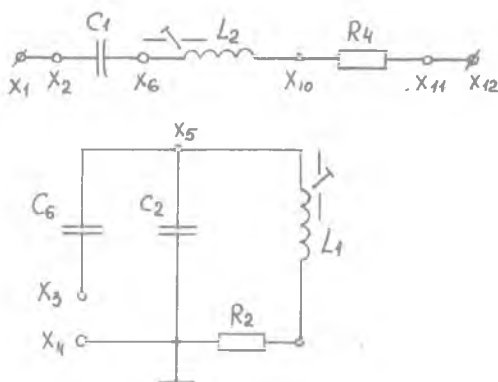


Рис. 6. Частотные характеристики тока в емкостной ветви параллельного колебательного контура

Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис.7.



Р и с. 7. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования характеристик простейших RLC -цепей

Последовательный колебательный контур состоит из элементов C_1 , L_2 , R_4 . Параллельный колебательный контур - из элементов C_2 , L_1 , R_2 , емкости связи C_6 с источником сигнала.

Оборудование и аппаратура

Электронный осциллограф С1-73	- 1 шт.
Резисторы МЛТ-0,5	$R_2 = 0$ (перемычка) - 1 шт.
	$R_2 = 50 \text{ Ом}$ - 1 шт.
	$R_4 = 50 \text{ Ом}$ - 1 шт.
	$R_4 = 0$ (перемычка) - 1 шт.
Конденсаторы $C_1 = C_2 = 510 \text{ пФ}$	- 2 шт.
$C_6 = 47 \text{ пФ}$	- 1 шт.
Фильтр Z_1	- 1 шт.

В работе используется генератор высокой частоты ГЧ-102А.

Порядок выполнения работы

1. Пользуясь принципиальной схемой, изображенной на передней панели лабораторного стенда, собрать схему последовательного колебательного контура $C_1 = 510 \text{ пФ}$, $L_2 = Z_1$, $R_4 = 50 \text{ Ом}$.
2. В соответствии с инструкциями по эксплуатации подготовить генератор высокой частоты ГЧ-102А и электронный осциллограф СИ-73 к работе.
3. Установить частоту генератора ГЧ-102А равной $f = 465 \text{ кГц}$, выходное напряжение равным I В.
4. Подключить осциллограф СИ-73 к гнездам X_2 , X_6 , а генератор - к гнездам X_1 , X_{12} колебательного контура.
5. Изменяя величину индуктивности L_2 , настроить контур в резонанс.
6. Изменяя частоту генератора в пределах $\pm 50 \text{ кГц}$ от резонансной частоты через 5 кГц , снять резонансную кривую последовательного колебательного контура.
7. Построить резонансную кривую $K_C = \frac{U_C}{U_{BX}} = \psi(f_{\text{рез}})$ и определить по ней полосу пропускания и добротность колебательного контура.
8. Изменить величину сопротивления $R_4 = 0$ и повторить пп.6,7.
9. Подключить осциллограф к гнездам X_7 , X_{10} , установить $R_4 = 50 \text{ Ом}$ и снять резонансную кривую последовательного колебательного контура.
10. Построить резонансную кривую $K_L = \frac{U_L}{U_{BX}} = \psi(f_{\text{рез}})$ и определить по ней полосу пропускания и добротность колебательного контура.
11. Изменить величину сопротивления $R_4 = 0$ и повторить пп.9,10.
12. Собрать схему параллельного колебательного контура $C_2 = 510 \text{ пФ}$, $L_1 = Z_1$, $R_2 = 0$, $C_8 = 47 \text{ пФ}$.
13. Установить частоту генератора ГЧ-102А равной $f = 465 \text{ кГц}$, выходное напряжение равным I В.
14. Подключить осциллограф СИ-73 к гнездам X_5 , X_{15} , генератор ГЧ-102А к гнездам X_3 , X_4 .
15. Изменяя величину индуктивности L_1 , настроить контур в резонанс.
16. Изменяя частоту генератора в пределах $\pm 50 \text{ кГц}$ от резонансной частоты через 5 кГц , снять резонансную кривую параллельного колебательного контура.
17. Построить резонансную кривую $n = \frac{U_{8010x}}{U_{BX}} = \psi(f_{\text{рез}})$ и определить по ней полосу пропускания и добротность колебательного контура.
18. Изменить величину сопротивления $R_2 = 50 \text{ Ом}$ и повторить пп.16 и 17.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема экспериментальной установки.
3. Экспериментальные характеристики и расчеты.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как влияет изменение активного сопротивления контура на добротность?
2. Как влияет изменение активного сопротивления контура на полосу пропускания?
3. Как определить добротность контура по резонансной кривой?
4. Во сколько раз напряжение на реактивных элементах последовательного колебательного контура превышает при резонансе напряжение внешнего генератора?
5. Чему равно эквивалентное сопротивление параллельного и последовательного контура при резонансе?
6. Каков характер эквивалентного сопротивления контура при частотах выше резонансной и ниже резонансной?

Б и б л и о г р а ф и ч е с к и й с п и с о к

Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей.-М.: Энергия, 1965.

Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи.-М.:Высшая школа, 1981.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСА В СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Ц е л ь р а б о т ы: исследовать резонансные кривые в двухконтурной связанной системе при изменении связи между контурами.

З а д а н и е: снять резонансные кривые системы 2-х связанных колебательных контуров для 3-х значений фактора связи: $KQ < 1$, $KQ = 1$, $KQ > 1$.

Основные обозначения, расчетные формулы и определения

Колебательные контуры называются связанными, если происходит передача энергии из одного контура в другой. Различают магнитную, электрическую и гальваническую связи. Величина связи между контурами оценивается коэффициентом связи, который в общем случае будет

$$k = \frac{|x_{12}|}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}},$$

где x_{12} - сопротивление связи;

ρ_1, ρ_2 - характеристические сопротивления контуров.

За счет связи одного контура с другим полное сопротивление контура изменяется на величину, называемую вносимым сопротивлением. В общем случае при расстройке контуров вносимое сопротивление является величиной комплексной:

$$Z_{вн} = Z_{вн} + i X_{вн},$$

где

$$Z_{вн} = \frac{x_{12}^2}{Z_{22}^2} Z_{22}; \quad X_{вн} = -\frac{x_{12}^2}{Z_{22}^2} X_{22}.$$

Из приведенных выражений видно, что при отрицательной расстройке вторичного контура в первичный контур вносится индуктивное сопротивление, а при положительной расстройке - емкостное сопротивление.

Эквивалентная схема системы связанных контуров имеет вид, показанный на рис.8.

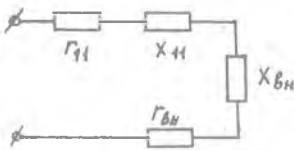


Рис.8. Эквивалентная схема системы из двух связанных контуров

Резонансные кривые системы связанных контуров зависят от величины коэффициента связи между контурами. При этом можно отметить три характерные области, когда: $KQ < 1$, т.е. $k < k_{кр}$; $KQ = 1$, т.е. $k = k_{кр}$; $KQ > 1$, т.е. $k > k_{кр}$, где KQ - фактор связи, $k_{кр}$ - критический коэффициент связи.

Под критическим коэффициентом связи понимают такую связь между контурами, когда ток второго контура при точной настройке обоих контуров на частоту генератора достигает наибольшего из возможных значений. Уравнение частотной характеристики для тока вторичного контура идентичных контуров, т.е. когда $\omega_{01} = \omega_{02} = \omega_0$, $Q_1 = Q_2 = Q$, имеет следующий вид:

$$n_2 = \frac{I_2}{I_{2maxmax}} = \frac{2kQ}{\sqrt{(1+k^2Q^2)^2 + 2a^2(1-k^2Q^2) + a^4}}$$

где I_2 - ток во втором контуре;

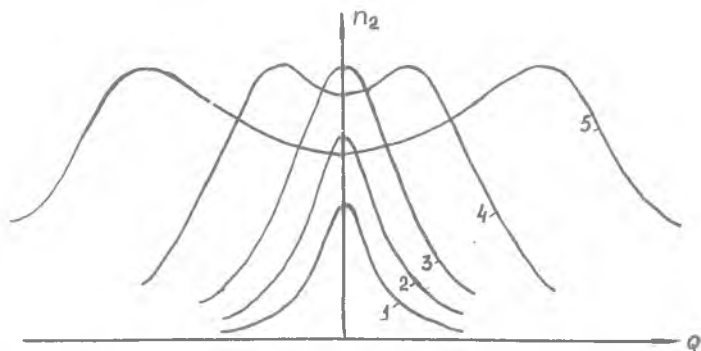
$I_{2maxmax}$ - ток во втором контуре при критической связи;

Q - добротность контура;

k - коэффициент связи;

$a = Q \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}$ - обобщенная расстройка.

Резонансные кривые системы связанных контуров имеют вид, показанный на рис.9.



Р и с. 9. Резонансные характеристики системы связанных контуров: 1 - $K \ll K_{кр}$; 2 - $K < K_{кр}$; 3 - $K = K_{кр}$; 4 - $K > K_{кр}$; 5 - $K \gg K_{кр}$

Полосой пропускания называют диапазон частот, на границах которого амплитуда тока I_2 снижается до $\frac{I_2}{\sqrt{2}}$ от максимальной амплитуды. Для двух одинаковых ($\omega_{01} = \omega_{02} = \omega_0$, $Q_1 = Q_2 = Q$) связанных контуров полоса пропускания зависит от величины фактора связи KQ .

С увеличением коэффициента связи полоса пропускания увеличивается. Относительную полосу пропускания для 2-х связанных контуров при слабой связи можно определить следующим образом:

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = 0,64d,$$

где d - затухание контура ($d_1 = d_2 = d$).

Для критической связи полосу пропускания можно вычислить по формуле

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = 1,41d.$$

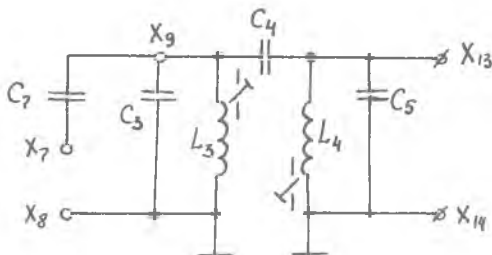
Максимальная полоса пропускания ограничивается величиной седловины характеристики тока второго контура. Ее можно определить из следующего выражения:

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = 3,1d.$$

При этом коэффициент связи между контурами определяется из соотношения $k = 2,41d$.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис.10) представляет собой систему 2-х связанных контуров с внешней емкостной связью. Связь между контурами устанавливается выбором емкости C_4 . Связь с источником сигнала осуществляется через емкость C_7 .



Р и с. 10. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования резонанса в сложных электрических цепях

Оборудование, аппаратура

Электронный осциллограф СИ-73	- 1 шт.
Конденсаторы $C_3=C_5=510$ пФ	- 2 шт.
$C_4 = 10$ пФ	- 1 шт.
$C_4 = 100$ пФ	- 1 шт.
$C_4 = 39$ пФ	- 1 шт.
$C_7 = 47$ пФ	- 1 шт.
Фильтры $Z_1(L_3)$	- 1 шт.
$Z_2(L_4)$	- 1 шт.

В работе используется генератор высокой частоты ГЧ-102А.

Порядок выполнения работы

1. Пользуясь принципиальной схемой, изображенной на передней панели лабораторного стенда, собрать схему системы связанных контуров. $C_7 = 47$ пФ, $C_3=C_5 = 510$ пФ, $L_3 = Z_1$, $L_4 = Z_2$, $C_4 = 10$ пФ.

2. В соответствии с инструкциями по эксплуатации подготовить генератор высокой частоты ГЧ-102А и электронный осциллограф СИ-73 к работе.

3. Установить частоту генератора ГЧ-102А равной $f = 465$ кГц, выходное напряжение равным 1 В.

4. Установить генератор ГЧ-102А к гнездам X_7 , X_8 , осциллограф - к гнездам X_9 , X_{14} .

5. Изменяя величину индуктивности L_3 , настроить первый контур в резонанс.

6. Установить $C_4 = 10$ пФ, подключить осциллограф СИ-73 к гнездам X_{13} , X_{14} . Изменяя величину индуктивности L_4 , настроить второй контур в резонанс.

7. Изменяя частоту генератора в пределах ± 50 кГц от резонансной частоты через 5 кГц, снять резонансные кривые системы связанных контуров.

8. Установить $C_4 = 39$ пФ и повторить п.7.

9. Установить $C_4 = 100$ пФ и повторить п.7.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Принципиальная схема экспериментальной установки.
3. Таблицы экспериментальных данных и графики, построенные на основании полученных данных.
4. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Как определить коэффициент связи между контурами?
2. Каков физический смысл вносимого сопротивления?
3. Каков характер вносимого сопротивления при резонансе?
4. Какие существуют виды резонансов в двухконтурной системе?
5. Объясните вид частотных характеристик первого и второго контуров при слабой и сильной связи?
6. Как изменяется полоса пропускания связанных контуров при изменении связи между ними?
7. Как определить критическую связь для первого и второго контуров?

Библиографический список

- Зернов Н.В., Карпов В.Т. Теория радиотехнических цепей. -М.: Энергия, 1965.
- Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи. М.: Высшая школа, 1981.