

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Цель работы: ознакомиться с методом экспериментального определения добротности, полосы пропускания и эквивалентного сопротивления параллельного контура.

Во многих радиотехнических устройствах пользуются схемой, приведенной на рис. 1. На базу транзистора VT1 подается переменное напряжение с частотой ω_0 и амплитудой U .

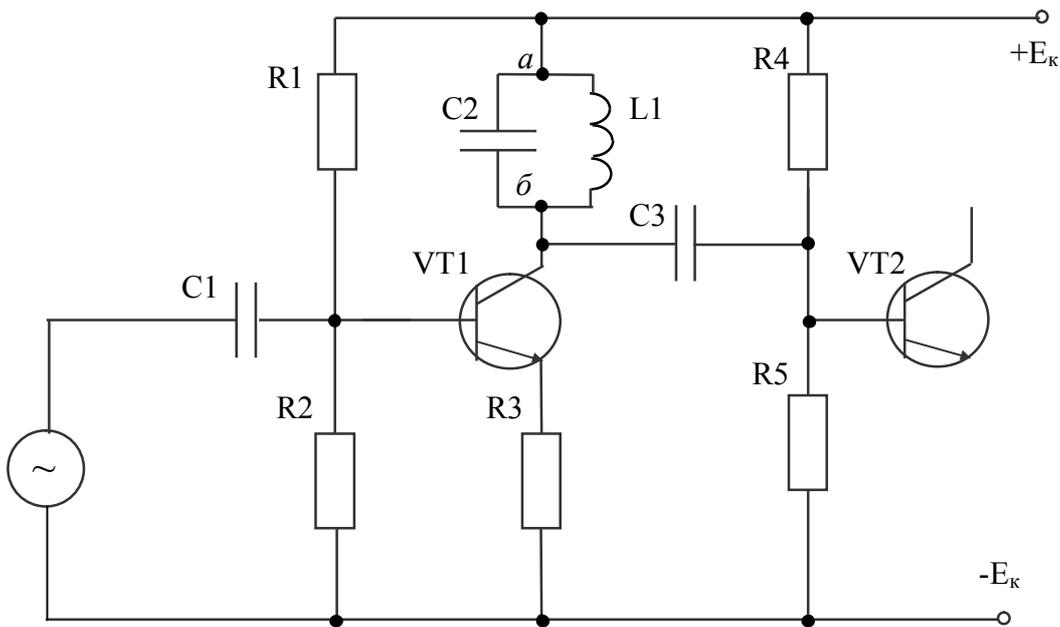


Рис. 1. Резонансный контур в усилителе.

При соблюдении условия $\omega_0 = \omega_p$ (где $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$) в параллельном контуре L1C2, включенном в коллекторную цепь транзистора VT1 возникают вынужденные колебания с частотой ω_p и амплитудой $U_p = f(R_{oe})$, где R_{oe} - полное сопротивление контура на частоте резонанса $\omega_0 = \omega_p$. Переменное напряжение U_p может быть подано на следующее звено устройства (в рассмотренной схеме на базу VT2).

Основное применение в радиотехнике параллельный контур находит в генераторах и усилителях высокой частоты для создания необходимого нагрузочного сопротивления, равного R_{oe} для тока определенной частоты или точнее полосы частот. Как известно, при параллельном контуре на частоте резонанса выполняется условие:

$$\omega_p L - \frac{1}{\omega_p C} = \frac{R^2}{\omega_p L}, \quad (1)$$

где R - сопротивление потерь, но так как при практике выполняются условия, что $R \ll \omega_p L$ то (1) принимает более простой вид

$$\omega_p L - \frac{1}{\omega_p C} = 0. \quad (2)$$

В момент резонанса сопротивление контура (между точками а, б) $Z_p = R_{oe}$ достигает максимального значения, равного

$$Z_p = R_{oe} = \frac{L}{RC} = \frac{\omega_p L^2}{R} = \frac{1}{\omega_p C^2 R} \quad (3)$$

и имеет чисто активный характер, т.е. в этом случае R_{oe} играет роль нагрузочного сопротивления в коллекторной цепи транзистора VT1.

Введя новую величину $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$, мы можем (3) переписать в виде

$$R_{oe} = \frac{L}{RC} = \frac{\rho^2}{R}.$$

Величина ρ имеет размерность сопротивления и носит название «волнового сопротивления контура».

Волновое сопротивление контура - одна из основных характеристик колебательного контура, определяющая соотношение между амплитудами тока и напряжением контура.

Примечание: наиболее просто полное сопротивление контура можно определить,

пользуясь методом комплексных чисел
$$Z = \frac{(R + j\omega_p L)j \frac{1}{\omega_p C}}{R + j(\omega_p L - \frac{1}{\omega_p C})}.$$

Учитывая условия (2) в момент резонанса и, допуская что $R \ll \omega_p L = \frac{1}{\omega_p C}$;

$$Z_p = (-j)^2 \frac{L}{CR} = \frac{L}{CR}$$

На рис. 2 показана зависимость $Z = F(f)$.

Следует отметить, что на частотах отличных от резонансной полное сопротивление контура носит комплексный характер и зависит от отклонения частоты от ω_p . В этом случае имеет место преобладание либо индуктивной (при $\omega > \omega_p$), либо емкостной (при $\omega < \omega_p$) составляющей сопротивления. Свойством параллельного контура сохранять R_{oe} достаточной величины только в пределах относительно узкой полосы частот пользуются при конструировании избирательных усилителей и генераторов высокой частоты.

Примером избирательного усилителя может служить любой радиоприемник. В этом случае нам необходимо усилить только определенную полосу частот, интересующей нас радиостанции и желательно резкое снижение усиления на всех частотах за пределами этой полосы, т.е. ослабление соседних станций, мешающих приему выбранной.

Однако, для оценки «пропускной способности» контура в отношении полосы частот пользуются не R_{oe} , а более удобной в этом случае безразмерной величиной – «добротностью»- Q. Добротность Q - один из важнейших параметров контура

$$Q = 2\pi \frac{\text{запасенная энергия}}{\text{энергия, теряемая за период}} = 2\pi \frac{W}{W_T}.$$

Запасенная энергия в контуре, равна максимальной энергии накопленной конденсатором или катушкой индуктивности

$$W = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Энергия, теряемая в контуре

$$W = I^2 R_{oe} T,$$

где R активное сопротивление, эквивалентно определяющее полную мощность, теряемую в цепи: $P = P_{Om} + P_{изл} + P_{диэл} + \dots = I^2 R$, где P_{Om} - потери на нагревание проводников, $P_{изл}$ - потери на излучение, $P_{диэл}$ - потери в диэлектрике конденсатора.

Тогда добротность

$$Q = 2\pi \frac{L}{R_{oe} T} = \frac{1}{\omega_p C R_{oe}} = \frac{\omega_p L}{R_{oe}} = \frac{1}{R_{oe}} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\rho}{R_{oe}}. \quad (6)$$

Формулами (4) и (6) пользуются при практических расчетах схем с параллельным контуром. Причем, значение R_{oe} дает возможность определить коэффициент усиления каскада, а Q - рассчитать частотную характеристику, т.е. определить два наиболее важных параметра любого усилителя высокой частоты.

Непосредственно с добротностью связано понятие полосы пропускания контура, полосой пропускания контура называют разность частот:

$$\Pi = f_1 - f_2 = 2\Delta f,$$

при которых напряжение на контуре составляет 0,707 максимальной величины при резонансе (при постоянной амплитуде различных частот, возбуждающих контур) (рис. 3). Уровень 0,707 взят из тех соображений, что при модуляции высокочастотного напряжения какой-либо модулирующей частотой появляются боковые частоты, мощность которых при максимальном режиме (при модуляции) не превосходит половины мощности несущей.

На основании этого имеем: $\frac{U_{6.ок}^2}{U_{н.е.с}^2} = \frac{1}{2}$ или $\frac{U_{6.ок}}{U_{н.е.с}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7$

т.е. снижение напряжения до уровня 0,707 от максимального соответствует мощности в два раза. Однако, в этом случае, как можно видеть не произойдет искажение спектра сигнала. Полоса пропускания изолированного контура (без учета влияния внутреннего сопротивления следующего каскада) равна:

$$\Pi = 2\Delta f = \frac{f_p}{Q}; \quad \text{где} \quad f_p = \frac{\omega_p}{2\pi}.$$

В реальных случаях параллельно контуру оказываются включенными $R1$ источника и R_{ex} следующего каскада или звена. Активные сопротивления в той или иной мере шунтируют контур, и в связи с этим полное сопротивление коллекторной цепи (R'_{oe}) для переменного тока оказывает меньше эквивалентного сопротивления контура (R_{oe}) и получается равным:

$$\frac{1}{R'_{oe}} = \frac{1}{R_{oe}} + \frac{1}{R1} + \frac{1}{R_{ex}}. \quad (7)$$

Для упрощения расчетов в данном случае удобным оказывается введение новых величин R'_{oe} и Q' , отображающих реальные характеристики нагруженного контура (контура в реальной схеме), причем:

$$R'_{oe} = Q' \cdot \rho, \quad (8)$$

$$Q' = \frac{f_p}{\Pi} \quad (9)$$

Из (7) следует: если $R1=0$, $R_{ex} = 0$, то $R'_{oe} = 0$. Учитывая выражения (8) и (9) получаем $\Pi \rightarrow \infty$.

Т.е. полоса пропускания контура зависит от величины сопротивления, включенного параллельно контуру. Причем, при уменьшении величины этих сопротивлений, полоса пропускания неограниченно расширяется, если же R_1 и $R_{вх}$ увеличиваются, то при достаточно больших значениях полоса пропускания в пределе будет определяться только свойствами контура.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что если необходимо получить максимальное усиление и узкую полосу пропускания, то следует выбирать транзисторы с большими значениями входного сопротивления, например полевые. При необходимости расширить полосу пропускания контура, его обычно шунтируют специальным сопротивлением или уменьшают $R_{вх}$ следующего каскада до необходимой величины.

Хорошим можно считать контур с $Q = 150 \div 200$. На УКВ диапазоне, при выполнении контуров в виде отрезков с распределенными параметрами резонаторов в виде отрезков двухпроводных или коаксиальных линий или объемных резонаторов можно получить Q ненагруженного контура до 10000.

ХОД РАБОТЫ

Оборудование: панель с параллельным колебательным контуром, генератор FG-7005С, двухлучевой осциллограф, мультиметр МУ-62, соединительные провода.

1. Собрать схему исследования параметров колебательного контура (рис. 4). Снять зависимость $U = F(f)$ при различных C и R_1 . (Значения C и R_1 задает преподаватель) отсчет производить каждые 100 Гц вдали от резонанса и через 25-30 Гц в области резонанса.
При снятии кривых, напряжение на выходе генератора должно оставаться постоянным, его контролируют по осциллографу (вход 1).
2. Экспериментально, методом замещения, определить $R_{экв}$ контура на частоте резонанса (для 3-х значений R_1).
Это можно сделать следующим образом: заметив показания осциллографа (вход 2), подключенного параллельно контуру в момент резонанса и не меняя частоту и амплитуду напряжения генератора, отключить контур от цепи (разорвать цепь выключателем K_1 , включить вместо него переменное сопротивление выключателем K_2 , с помощью которого вновь получить прежнее значение амплитуды сигнала на осциллографе. В этом случае величина подключенного сопротивления равна R_2 равна эквивалентному сопротивлению контура ($R_{экв}$). Значение R_2 измерить мультиметром МУ-62.
3. Вычертить резонансные кривые и по ним определить значения Π и Q .
При построении резонансных кривых на графике по оси ординат откладывается не U , а значения $U/U_{макс}$, т.е. значения в приведенном виде.
4. Сопоставить экспериментальные результаты с теоретическим расчетом величины $R_{экв}$.

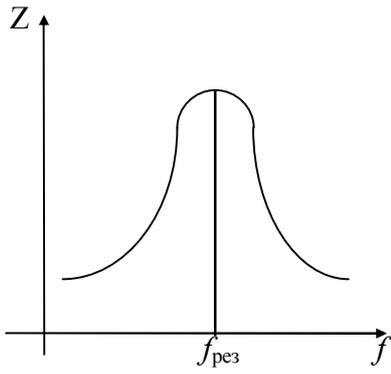


Рис. 2 Зависимость Z от частоты.

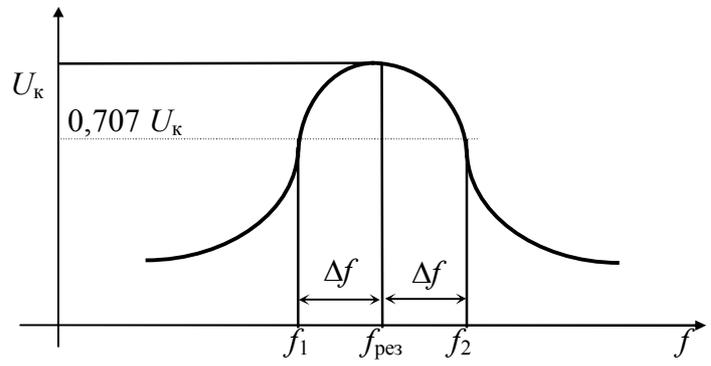


Рис. 3 Определение полосы пропускания.

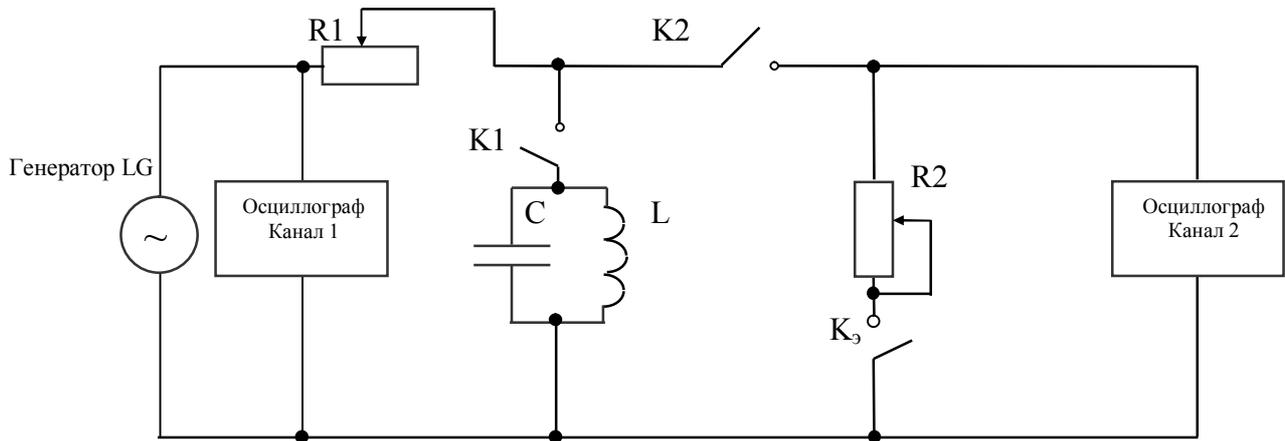


Рис. 4. Измерительная схема.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для каких целей могут быть использованы параллельный и последовательный колебательные контуры?
2. Как связаны: добротность контура, волновое сопротивление, сопротивление потерь?
3. Какие существуют способы увеличения добротности?
4. Как можно измерить полное сопротивление контура?
5. Почему полоса пропускания определяется на уровне $0,707$ номинального напряжения на контуре?
6. К каким последствиям приводит пропускание модулированных колебаний колебательным контуром?