

# Вынужденные колебания в электрическом контуре\*

Иван Едигарьев,  
Московский Физико-Технический Институт  
Факультет Общей и Прикладной Физики, 526т

Цель работы: исследование вынужденных колебаний и процессов их установления.

В работе используются: генератор звуковой частоты, осциллограф, вольтметр, частотомер, ёмкость, индуктивность, магазин сопротивлений, универсальный мост.

В работе исследуются колебания, возникающие в электрическом колебательном контуре под воздействием внешней ЭДС, гармонически изменяющейся во времени.

При подключении к контуру внешнего источника (рис. 1) в нём возникают колебания, которые можно представить как суперпозицию двух синусоид (см. В.52): первая — с частотой собственных колебаний контура  $\omega$  и амплитудой, экспоненциально убывающей со временем; вторая — с частотой внешнего источника  $\Omega$  и постоянной амплитудой. Со временем собственные колебания затухают, и в контуре устанавливаются вынужденные колебания. Амплитуда этих колебаний максимальна при совпадении частоты  $\Omega$  внешнего сигнала с собственной частотой контура  $\omega_0$ . Это явление называют резонансом.

Зависимость амплитуды установившихся колебаний от частоты внешнего напряжения носит название резонансной кривой (рис. В.8).

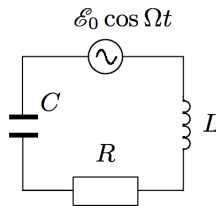


Рис. 1.  
Последовательный  
колебательный  
контур

## 1. РЕЗОНАНСНАЯ КРИВАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Для экспериментального исследования резонансной кривой тока в последовательном колебательном контуре (рис. 1) можно снять зависимость амплитуды напряжения на резисторе  $R$  от частоты генератора (при постоянной амплитуде выходного напряжения генератора). Но импеданс этого контура включает в себя выходной импеданс генератора. Мы должны быть уверены, что выходной импеданс генератора много меньше импеданса самого контура и не влияет на процессы, происходящие в контуре.

Для устранения этого влияния можно использовать схему, представленную на рис. 2: синусоидальный сигнал с генератора подаётся на параллельный колебательный контур через небольшую разделительную ёмкость  $C_1$ . Напряжение с ёмкости контура  $C$  поступает на вход осциллографа.

Зависимость амплитуды этого напряжения от частоты генератора будет практически совпадать с резонансной кривой для последовательного контура, если импедансы возбуждающей и измеряющей цепей намного превосходят импеданс самого контура вблизи резонанса  $Z_{\text{рез}} \approx L/(RC) = Q/(\Omega C)$ . Ёмкость конденсатора  $C_1$  выбирается настолько малой, что его импеданс ( $Z_{C_1} = 1/(\Omega C_1)$ ) в рабочем диапазоне частот много больше импеданса контура, поэтому в цепи генератора течёт ток практически с постоянной амплитудой, а колебательный контур выполняет роль нагрузочного сопротивления, которое в свою очередь зависит от частоты.

А так как сопротивление  $Z_{\text{рез}}$  параллельного контура в резонансе максимально, то и напряжение на ёмкости  $C$  (неизменный ток, умноженный на максимальное сопротивление) тоже максимально при резонансе. Входное сопротивление осциллографа достаточно велико:  $R_{\text{зо}} \approx 1 \text{ МОм}$ .

\* 3.2.5

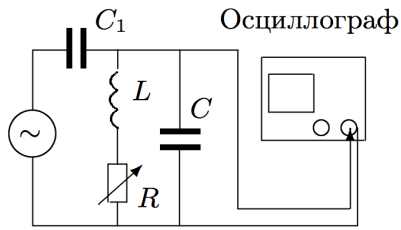


Рис. 2. Схема установки для исследования вынужденных колебаний

Таким образом, при выполнении условий:

$$Z_{C_1} = \frac{1}{\Omega C_1} \gg |Z_{\text{рез}}| = \frac{Q}{\Omega C}, \quad R_{\text{эо}} \gg \frac{Q}{\Omega C} \quad (1)$$

и при условии, что действительная часть импеданса катушки много меньше её мнимой части, резонансная кривая в нашем контуре будет выглядеть так же, как в последовательном: максимум амплитуды при резонансе. Ширина резонансной кривой определяет важную характеристику контура — *добротность* [см. (В.57)].

## II. ПРОЦЕССЫ УСТАНОВЛЕНИЯ И ЗАТУХАНИЯ КОЛЕБАНИЙ В КОНТУРЕ

Добротность контура может быть определена и другими способами, например, по скорости нарастания амплитуды вынужденных колебаний при резонансе или по скорости затухания свободных колебаний.

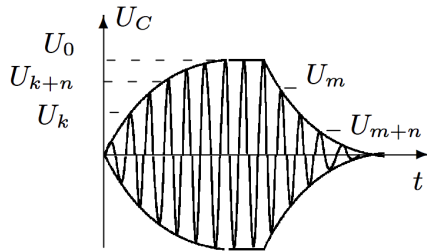


Рис. 3. Нарастание и затухание вынужденных колебаний

Нарастание и затухание колебаний (рис. 3) можно наблюдать на экране осциллографа, если на контур подаются цуги — отрезки синусоиды, разделённые интервалами, в течение которых сигнал отсутствует. Чем выше добротность, тем медленнее нарастают и медленнее затухают колебания в контуре. Количественные оценки можно сделать, если определить логарифмический декремент затухания по скорости нарастания или затухания колебаний [см. (В.30) и (В.73)]. В условиях резонанса огибающая затухающих колебаний — это перевёрнутая огибающая нарастающего участка. При расчёте логарифмического декремента по затуханию нет необходимости использовать

амплитуду установившихся колебаний  $U_0$ , которая в контуре с высокой добротностью иногда не успевает установиться за время продолжительности цуга.

## III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема установки для исследования вынужденных колебаний приведена на рис. 4. Колебательный контур состоит из ёмкости  $C = 0,1$  мкФ, индуктивности  $L = 100$  мГн и переменного сопротивления  $R$ .

Синусоидальное напряжение от звукового генератора про ходит через частотомер, позволяющий измерять рабочую частоту с высокой точностью. В корпус частотомера вмонтирован генератор цугов — электронное реле, разрезающее синусоиду на периодически повторяющиеся цуги — отрезки синусоиды, содержащие 32 или 40 периодов колебаний.

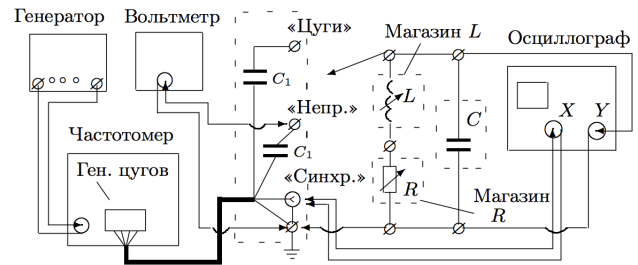


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для исследования вынужденных колебаний

После частотомера через небольшую ёмкость  $C_1 \approx 600$  пкФ сигнал поступает на клеммы, смонтированные на отдельной панельке. При подключении контура к клеммам «(земля)» и «Непр» на контур подаётся непрерывный сигнал — синусоида; если контур подключён к клеммам «(земля)» и «Цуги» — на контур поступают отрезки синусоиды.

Для наблюдения за процессом колебаний напряжение с ёмкости подаётся на вход осциллографа. Чтобы картина на экране была устойчивой, частота развёртки осциллографа принудительно синхронизируется с частотой повторения цугов. Для этого на генератор развёртки ЭО подаются следующие с частотой повторения цугов управляющие импульсы, которые вырабатываются в блоке электронного реле (клемма «Синхр», смонтированная на панельке). Для измерений напряжения на ёмкости используется электронный вольтметр.

## IV. ЗАДАНИЕ

В работе предлагается при двух значениях сопротивления магазина ( $R = 0$  и  $100$  Ом) исследовать резонансные кривые и определить по ним добротность контура; затем рассчитать добротность, определив логарифмический декремент затухания при нарастании и при затухании колебаний.

## V. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ И ЦУГОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.

Подробно правила выполнения работы  
изложены в **ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ  
ОПИСАНИИ**, расположенном на установке.

1. Соберите схему по рис. 4 и подготовьте приборы к работе.
2. Установите на магазине индуктивностей  $L = 100$  мГн и рассчитайте резонансную частоту контура по формуле  $\nu_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ .
3. Исследуйте резонансные кривые контура  $[U_C = f(\nu)]$  для сопротивлений  $R = 0$  и  $R = 100$  Ом.
4. Определите добротность контура по нарастанию и затуханию колебаний для  $R = 0$  и  $R = 100$  Ом, для этого переключите контур на вход «Пути» и установите резонансную частоту.
5. Сместите частоту генератора с резонансного значения и получите на экране картину биений. Зарисуйте

и объясните её.

6. Измерьте активное сопротивление  $R_L$  магазина индуктивностей с помощью моста Е7–8.

Обработка результатов.

1. Постройте на одном графике резонансные кривые в координатах  $U/U_0 = f(\nu/\nu_0)$ , где  $U_0$  — напряжение при резонансной частоте  $\nu_0$ .

Определите добротность по формуле (В.57). Сравните теоретическое и экспериментальное значения резонансной частоты.

2. Рассчитайте добротность контура по скорости нарастания и затухания колебаний (см. (В.30), (В.31) и (В.73)).

3. Рассчитайте теоретическое значение добротности через параметры контура  $L$ ,  $C$  и  $R$  (см. (В.28)).

4. Сведите результаты определения  $Q$  в таблицу. 5. Оцените погрешности измерений и сравните результаты расчётов  $Q$ .