

Вынуждённые колебания в электрическом контуре

Цель работы

Исследование вынужденных колебаний и процессов их установления.

Оборудование

Генератор звуковой частоты (ЗГ), осциллограф (ЭО), вольтметр, частотомер, ёмкость, индуктивность, магазин сопротивлений, универсальный мост.

Экспериментальная установка

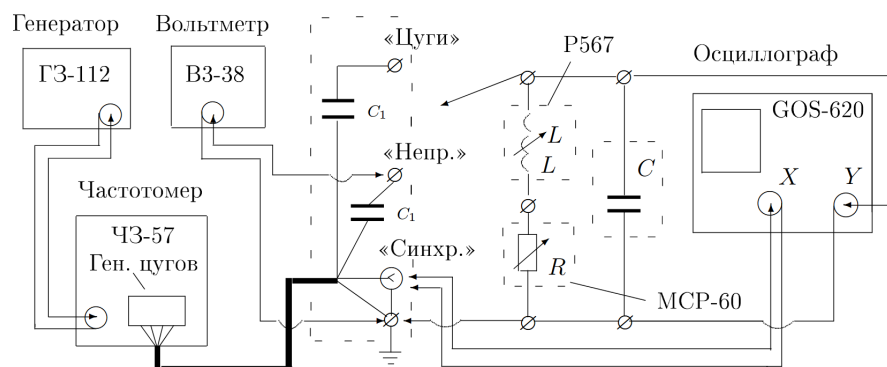


Рис. 1: Схема установки для исследования вынуждённых колебаний

Теоретическая часть

Для экспериментального исследования резонансной кривой тока в последовательном колебательном контуре 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 контура и не влияет на процессы, происходящие в этом контуре.

Для устранения этого влияния можно использовать схему, представленную на рисунке (1): синусоидальный сигнал с генератора подаётся на параллельный колебательный контур

через небольшую разделительную ёмкость C_1 . Напряжение с ёмкости контура C поступает на вертикальный вход ЭО.

Зависимость амплитуды этого напряжения от частоты генератора будет практически совпадать с резонансной кривой для последовательного контура, если импедансы возбуждающей и измеряющей цепей (сопротивления переменному току) намного превосходят импеданс самого контура вблизи резонанса $Z_{\text{рез}} \approx L/(RC) = Q/(\Omega C)$. Разделительная ёмкость C_1 выбирается настолько малой, что в рабочем диапазоне частот её импеданс $Z_{C_1} = 1/(\Omega C_1)$ много меньше 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. Поскольку в резонансе сопротивление $Z_{\text{рез}}$ параллельного контура максимально, то и напряжение на ёмкости C (неизменный ток, умноженный на максимальное сопротивление) тоже максимально. Входное сопротивление осциллографа (измеряющей цепи) достаточно велико: $R_{\text{ЭО}} \approx 1 \text{ МОм}$.

Таким образом, при выполнении условий

$$Z_{C_1} = \frac{1}{\Omega C_1} \gg |Z| = \frac{Q}{\Omega C}, \quad R_{\text{ЭО}} \gg \frac{Q}{\Omega C}$$

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.

Добротность контура может быть определена и другими способами, например, по скорости нарастания амплитуды вынужденных колебаний при резонансе или по скорости затухания свободных колебаний. Нарастание и затухание колебаний 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. В условиях резонанса огибающая затухающих колебаний это перевёрнутая огибающая нарастающего участка, поэтому 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.

Обработка результатов измерений

Теоретическая и найденная экспериментально резонансная частота:

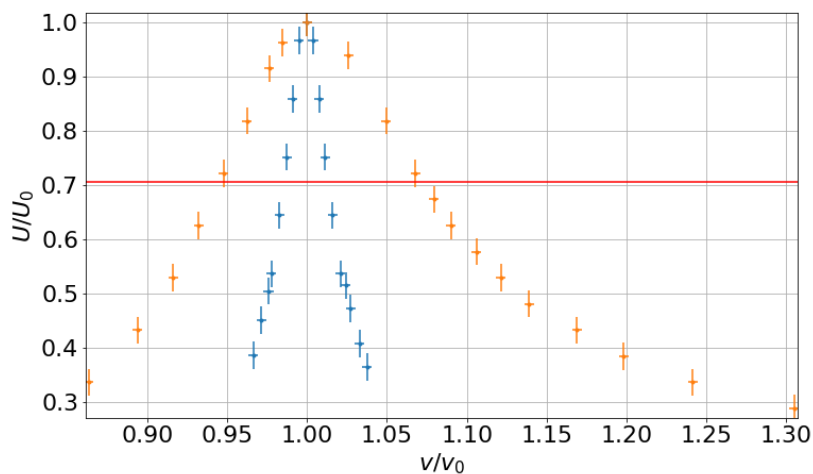
$$\nu_0 = 1575 \text{ Гц}; \quad \nu_{0\text{теор}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 1592.4 \text{ Гц}$$

Таблица 1: Из-
мерения при
 $R = 100 \text{ Ом}$

| ν , кГц | U, B |
|-------------|--------|
| 1.522 | 7.2 |
| 1.530 | 8.4 |
| 1.537 | 9.4 |
| 1.540 | 10.0 |
| 1.548 | 12.0 |
| 1.555 | 14.0 |
| 1.561 | 16.0 |
| 1.567 | 18.0 |
| 1.575 | 18.6 |
| 1.581 | 18.0 |
| 1.587 | 16.0 |
| 1.593 | 14.0 |
| 1.600 | 12.0 |
| 1.608 | 10.0 |
| 1.613 | 9.6 |
| 1.618 | 8.8 |
| 1.627 | 7.6 |
| 1.634 | 6.8 |

Таблица 2: Из-
мерения при
 $R = 0 \text{ Ом}$

| ν , кГц | U, B |
|-------------|--------|
| 1.360 | 1.40 |
| 1.408 | 1.80 |
| 1.443 | 2.20 |
| 1.468 | 2.60 |
| 1.493 | 3.00 |
| 1.516 | 3.40 |
| 1.538 | 3.80 |
| 1.551 | 4.00 |
| 1.575 | 4.15 |
| 1.616 | 3.90 |
| 1.653 | 3.40 |
| 1.682 | 3.00 |
| 1.700 | 2.80 |
| 1.717 | 2.60 |
| 1.742 | 2.40 |
| 1.766 | 2.20 |
| 1.794 | 2.00 |
| 1.841 | 1.80 |
| 1.887 | 1.60 |
| 1.955 | 1.40 |
| 2.055 | 1.20 |

Рис. 2: График зависимости U/U_0 от ν/ν_0

Найдём добротность из графика по формуле:

$$Q = \frac{\omega_0}{2\Delta\Omega}$$

$$Q_0 = 25 \pm 1 \quad Q_{100} = 7.6 \pm 0.5$$

Рассчитаем добротность контура по скорости нарастания и затухания колебаний:

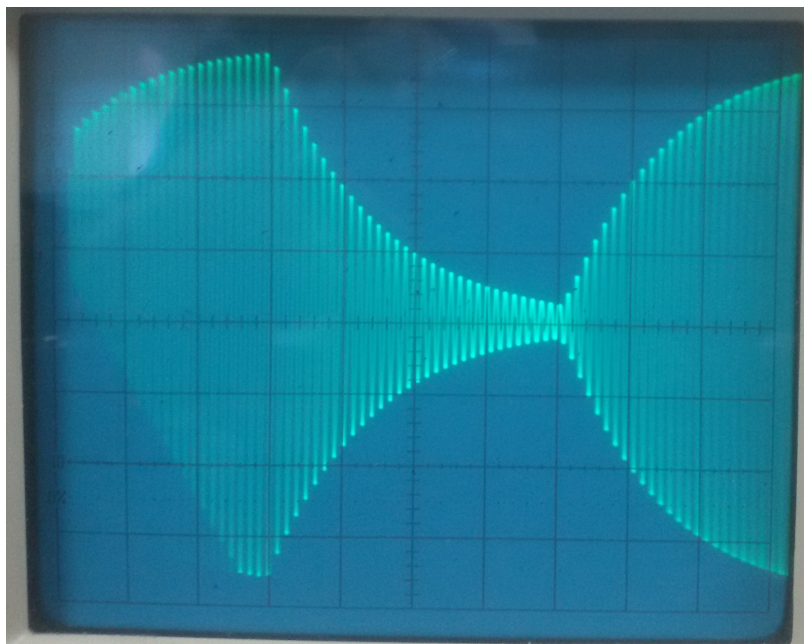


Рис. 3: Нарастание и затухание колебаний

| | Нарастание | | | | Затухание | | | |
|-----------------|------------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| U_k , дел | 12 | 12 | 14 | 20 | 30 | 29 | 29 | 28 |
| U_{k+n} , дел | 14 | 20 | 26 | 30 | 27 | 24 | 26 | 23 |
| n | 1 | 4 | 7 | 8 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| Q | 36.1 | 30.9 | 27.9 | 25.6 | 25.2 | 23.3 | 26.4 | 25.9 |
| σQ | 2.8 | 2.4 | 2.0 | 2.1 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.7 |

Таблица 3: Данные нарастаний и затуханий цуги при $R = 0$ Ом

| | Нарастание | | | | Затухание | | | |
|-----------------|------------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|
| U_k , дел | 10 | 19 | 28 | 33 | 32 | 27 | 33 | 37 |
| U_{k+n} , дел | 18 | 32 | 36 | 38 | 15 | 9 | 9 | 5 |
| n | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| Q | 7.6 | 7.6 | 7.4 | 7.7 | 6.3 | 8.7 | 7.3 | 7.8 |
| σQ | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 1.1 | 1.0 | 1.1 |

Таблица 4: Данные нарастаний и затуханий цуги при $R = 100$ Ом

| R , Ом | $Q_{\text{воз}}$ | $Q_{\text{зат}}$ |
|----------|------------------|------------------|
| 0 | 30.1 ± 2.2 | 25.2 ± 1.8 |
| 100 | 7.5 ± 0.9 | 7.5 ± 0.9 |

Вывод

$$Q_{\text{теор}} = R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

| R , Ом | $R_{\text{акт}}$, Ом | $Q_{\text{граф}}$ | $Q_{\text{воз}}$ | $Q_{\text{зат}}$ | $Q_{\text{теор}}$ |
|----------|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 0 | 25.075 | 25 ± 1 | 30.1 ± 2.2 | 25.2 ± 1.8 | 25.7 ± 1 |
| 100 | 25.075 | 7.6 ± 0.5 | 7.5 ± 0.9 | 7.5 ± 0.9 | 7.7 ± 0.5 |

Полученное экспериментально значение добротности с учетом погрешности совпадает с теоретическим. Метод определения добротности по графику даёт довольно точные результаты.