

Вынужденные колебания в электрическом контуре

Лабораторная работа

Высшая школа экономики, Санкт-Петербургская школа
физико-математических и компьютерных наук

Физика, 1 курс

Андрей Ситников

Никита Афанасьев

23.04.2022

Цель работы

Исследование резонансных кривых, с целью определения добротности и логарифмического декремента затухания при нарастании и затухании колебаний

Теория

Рассмотрим цепь с таким параллельным контуром:

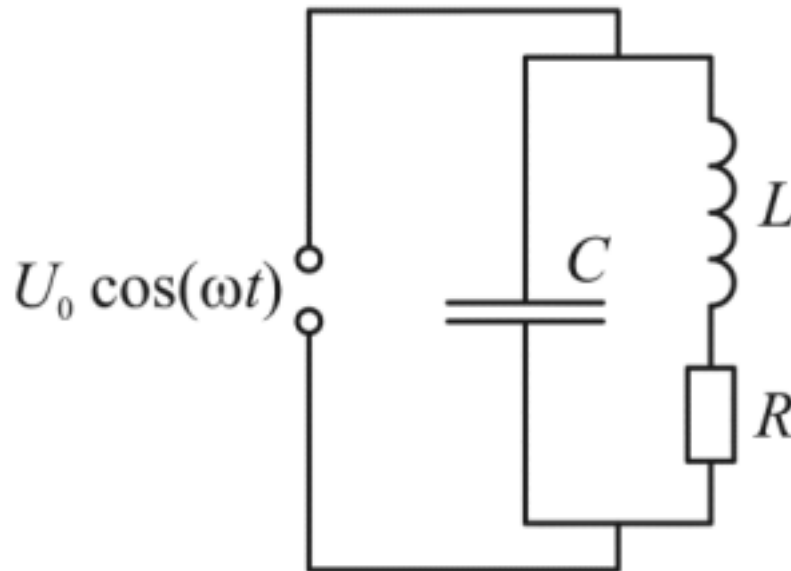


Figure 1: image-20220423191253553

Запишем импедансы параллельных проводов

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_L} + \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{R + i\omega L} + i\omega C = \frac{1 - (\omega/\omega_0)^2 + i\omega RC}{R + i\omega L}$$

Тогда полный импеданс контура

При этом, если частота генератора совпадает с частотой колебательного контура, то импеданс упрощается до:

$$Z_{\text{рез}} = \frac{R + i\omega_0 L}{i\omega_0 RC} = \frac{L}{RC} - i \frac{1}{\omega_0 C}$$

Что при малом сопротивлении превращается в:

$$Z_{\text{рез}} = \frac{L}{RC}$$

что можно переписать через добротность $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$

$$Z_{\text{рез}} = \frac{L}{RC} = \frac{Q}{\omega_0 C}$$

А если рассматривать всю кривую, то формула будет такой:

$$|Z| = \frac{\omega L}{\sqrt{(1 - (\omega/\omega_0)^2)^2 + (\omega RC)^2}}$$

Методика

При экспериментальном исследовании резонансной кривой тока в последовательном колебательном контуре обычно снимают зависимость амплитуды напряжения на резисторе R от частоты генератора. Однако при резком увеличении тока вблизи резонанса выходное напряжение генератора заметно просаживается, что вносит существенные искажения в форму резонансной кривой.

В настоящей работе для устранения влияния генератора используется такая схема:

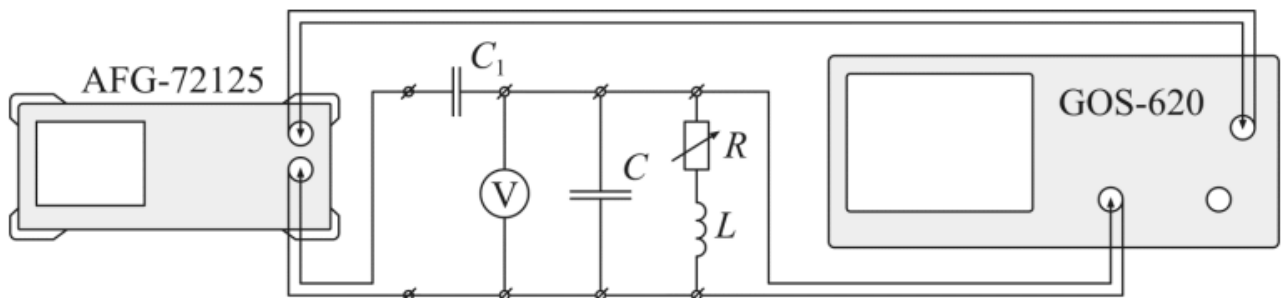


Figure 2: image-20220423193051682

Синусоидальный сигнал с генератора подается на параллельный колебательный контур через небольшую разделительную емкость C_1 . При этом ток в цепи определяется емкостью C_1 и вблизи резонанса остается

практически постоянным. Напряжение с ёмкости контура C поступает на вертикальный вход осциллографа. Зависимость амплитуды этого напряжения от частоты генератора согласно формуле:

$$U_0 = I_0 |Z| = \frac{I_0 \omega L}{\sqrt{\left(1 - (\omega/\omega_0)^2\right)^2 + (\omega RC)^2}}$$

Практически совпадает с резонансной кривой для последовательного контура, если импедансы возбуждающей и измеряющей цепей намного превосходят импеданс самого контура вблизи резонанса.

...???... Что вставить?

Разделительная ёмкость C_1 выбирается настолько малой, что в рабочем диапазоне частот её импеданс $Z_{C_1} = 1/(\omega C_1)$ много больше импеданса контура, поэтому в цепи генератора течёт ток 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 в измеряющей цепи достаточно велико: $R_{\text{ЭО}} = 1 \text{ МОм}$. Таким образом, при выполнении условий

$$Z_{C_1} = \frac{1}{\omega C_1} \gg Z_{\text{рез}} = \frac{Q}{\omega C}$$

$$R_{\text{ЭО}} \gg \frac{Q}{\omega C}$$

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.

Результаты

R = 0 Резонансная частота контура (теоретически): (на практике) :

График показаний вольтметра от частоты генератора:

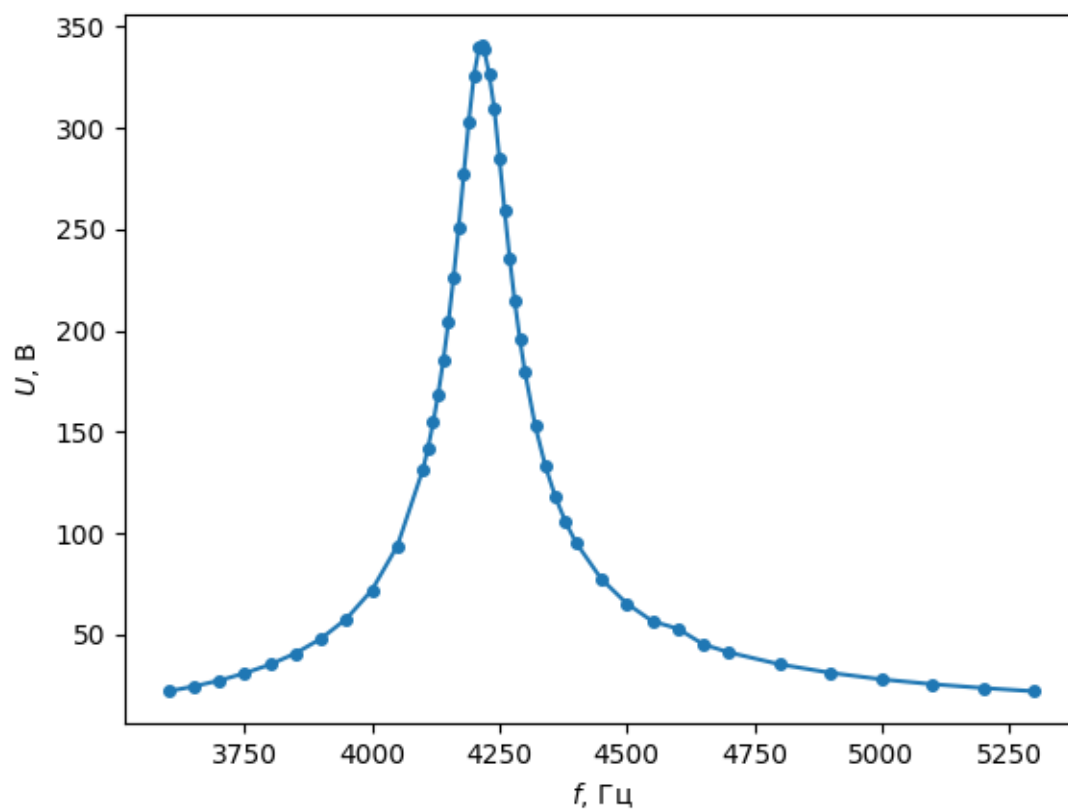


Figure 3: orig_FR_0

R = 30 ом Резонансная частота контура (теоретически): (на практике) :

График показаний вольтметра от частоты генератора:

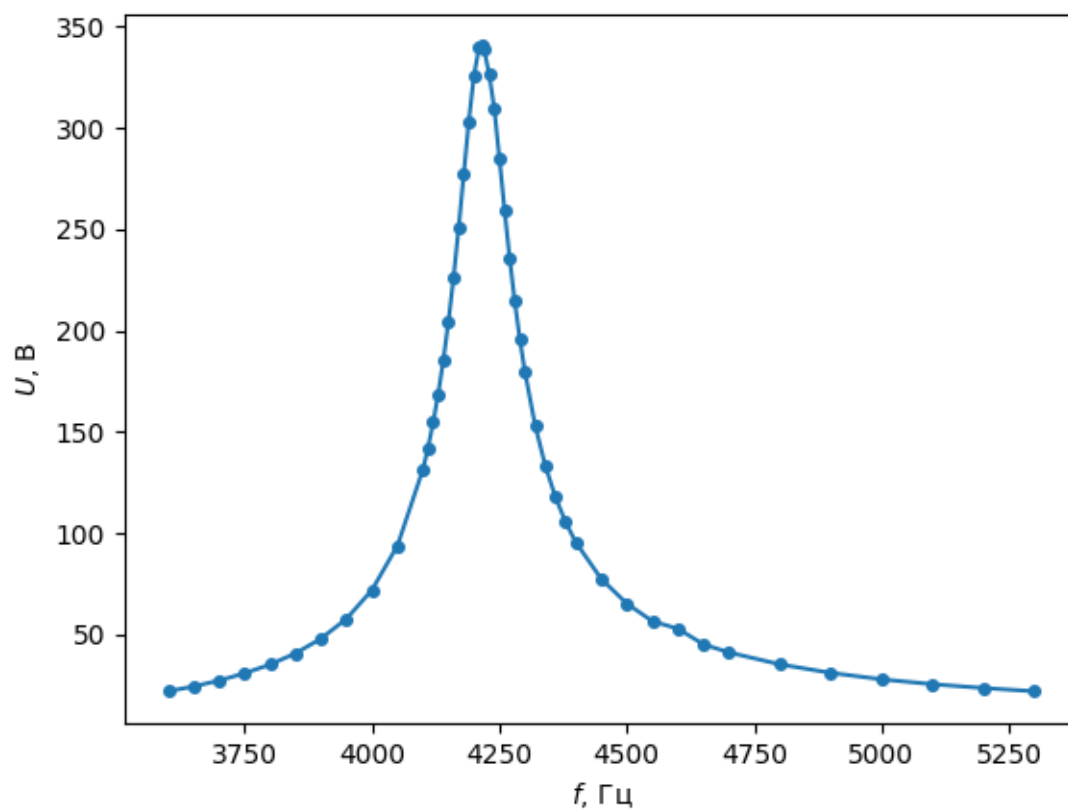


Figure 4: orig_FR_30

Фото графика затухающих и растущих колебаний для обоих значений R

Фото биений

значение R_L и L из LCR метра

Обработка данных

График резонансных кривых в относительных координатах

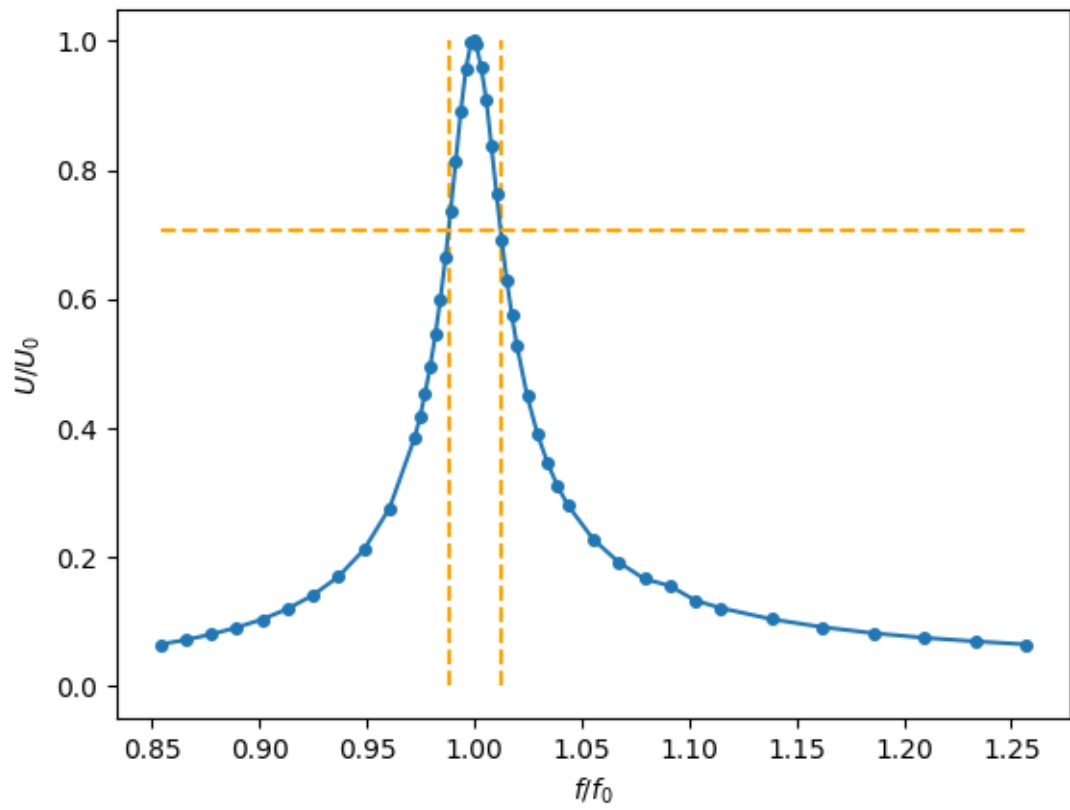


Figure 5: FR_0

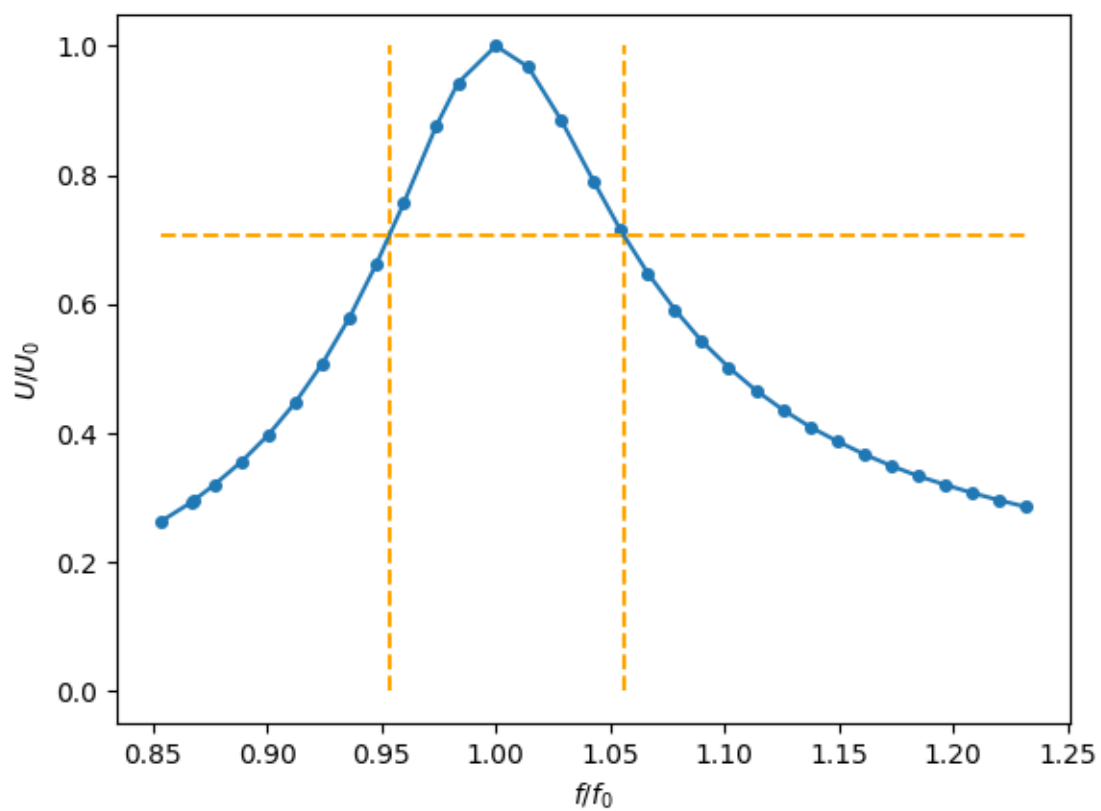


Figure 6: FR_30

Добротность из формулы Сравнение теоритической и экспериментальной резонансных частот
 график амплитуды зат. колеб. от времени из него достать добротность и коэф. затухания

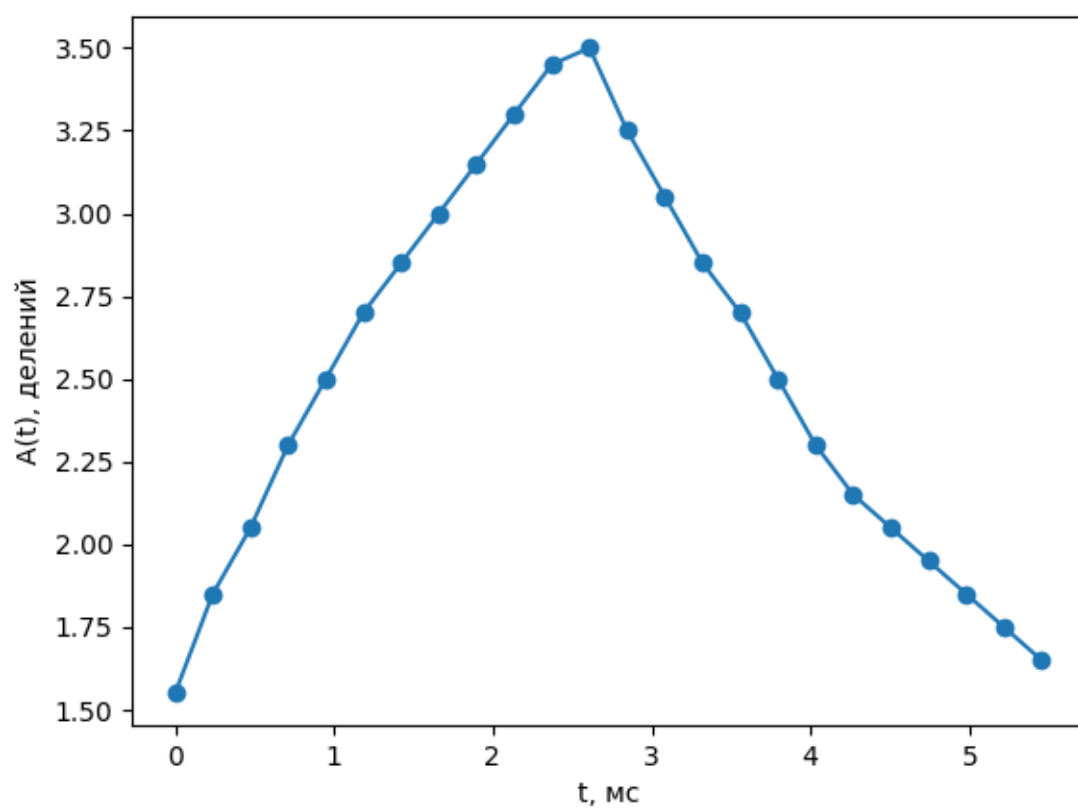


Figure 7: curve_0

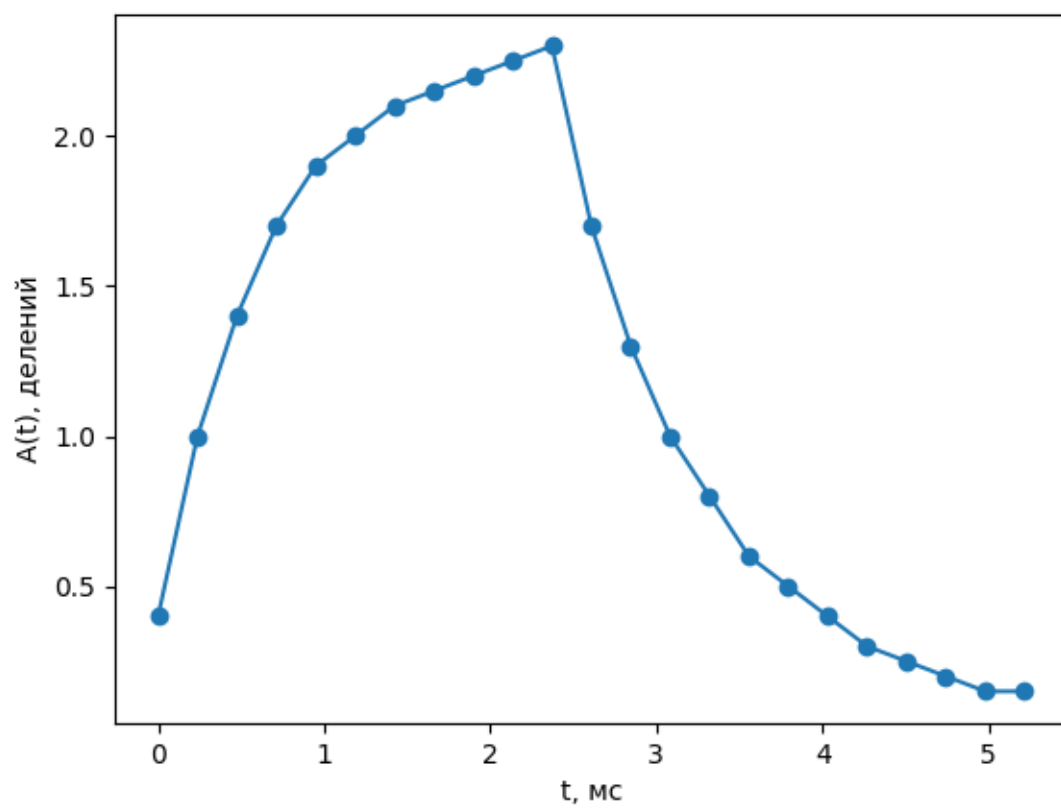


Figure 8: curve_30

Рассмотрим в логарифмическом масштабе правые части графиков:

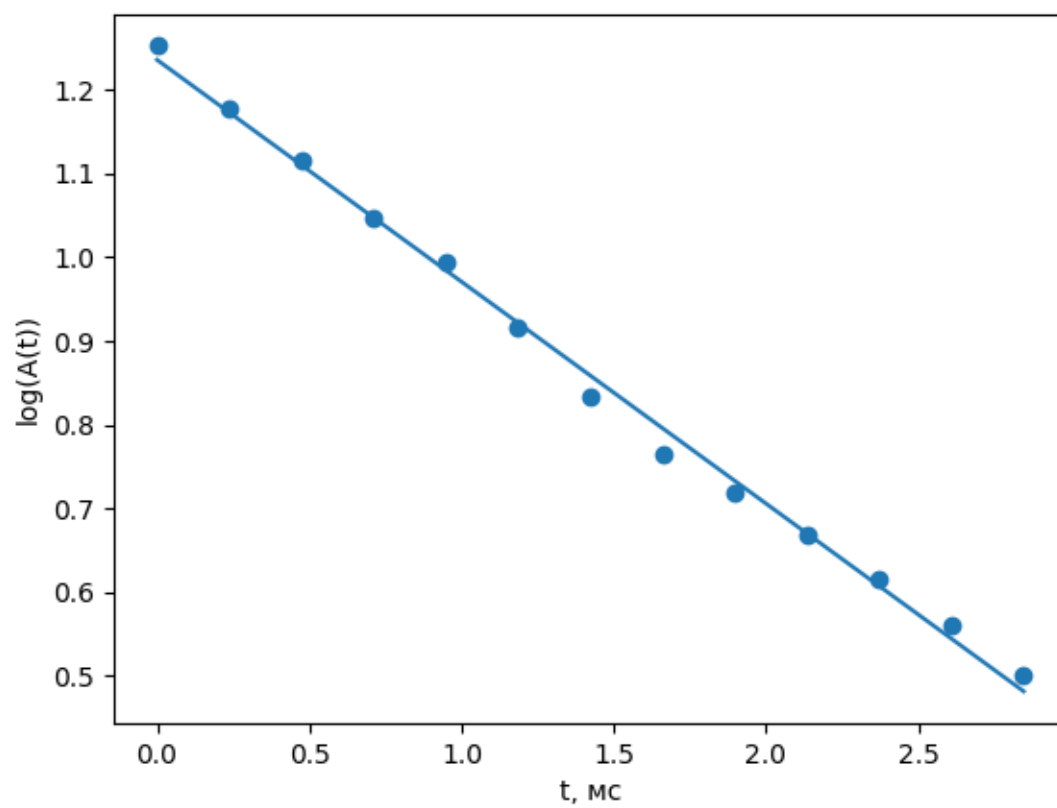


Figure 9: log_curve_0

Коэффициент наклона: -0.27 1/мс

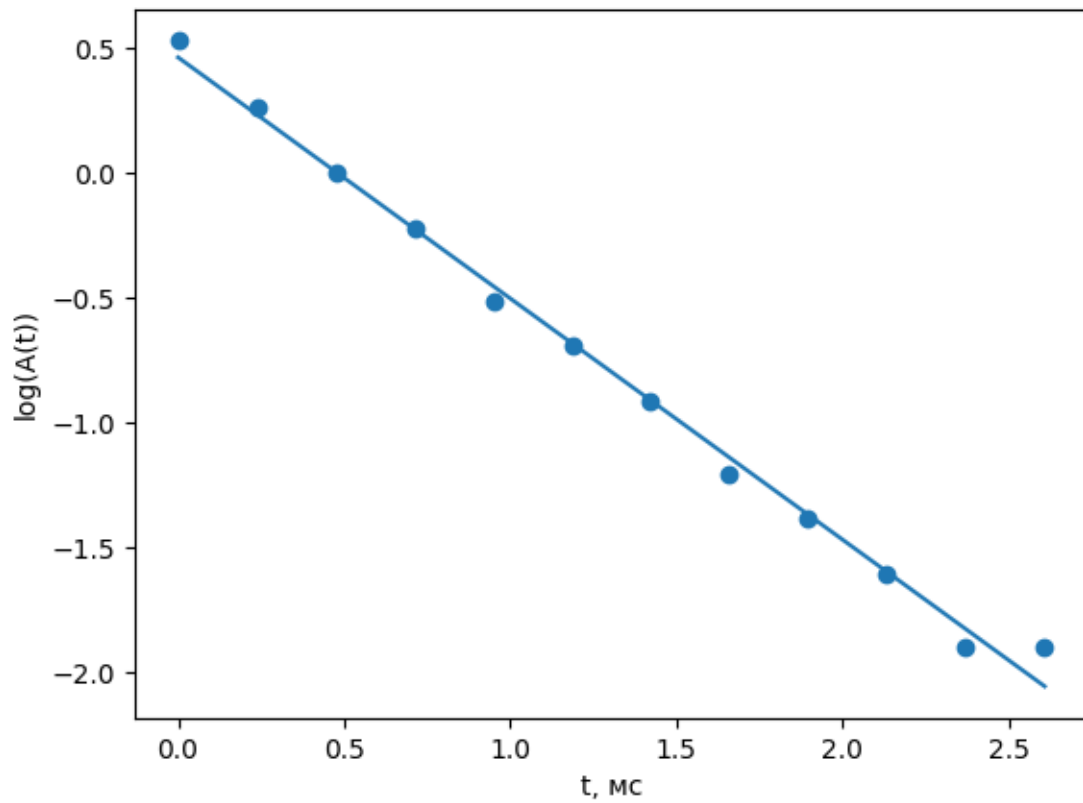


Figure 10: log_curve_30

Коэффициент наклона: -0.27 1/мс

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2\gamma} \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{\omega_0}{2\gamma} = \frac{\pi}{\gamma T}$$

Подставляя, получаем $Q_0 \approx 50$, $Q_{30} \approx 13.7$.

повторить для нараст. колеб.

добротность из параметров