

### 3.2.4 (4.5). СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

11 августа 2021 г.

**В работе используются:** генератор импульсов, электронное реле, магазин сопротивлений, магазин емкостей, катушка индуктивности, электронный осциллограф с раздельной панелью, измеритель  $LCR$ .

**Экспериментальная установка.** На рис. 1 приведена схема установки для исследования свободных колебаний в контуре, содержащем постоянную индуктивность  $L$  с активным сопротивлением  $R_L$ , а также переменные ёмкость  $C$  и сопротивление  $R$ . Картина колебаний напряжения на ёмкости наблюдается на экране двухканального осциллографа (ЭО). Выходные клеммы ЭО выведены на отдельную панель  $\Pi$ .

Для периодического возбуждения колебаний в контуре используется генератор импульсов Г5–54. С выхода генератора по коаксиальному кабелю импульсы поступают на колебательный контур через электронное реле, смонтированное в отдельном блоке (или на выходе генератора). Реле содержит диодный тиристор  $D^1$  и ограничительный резистор  $R_1$ .

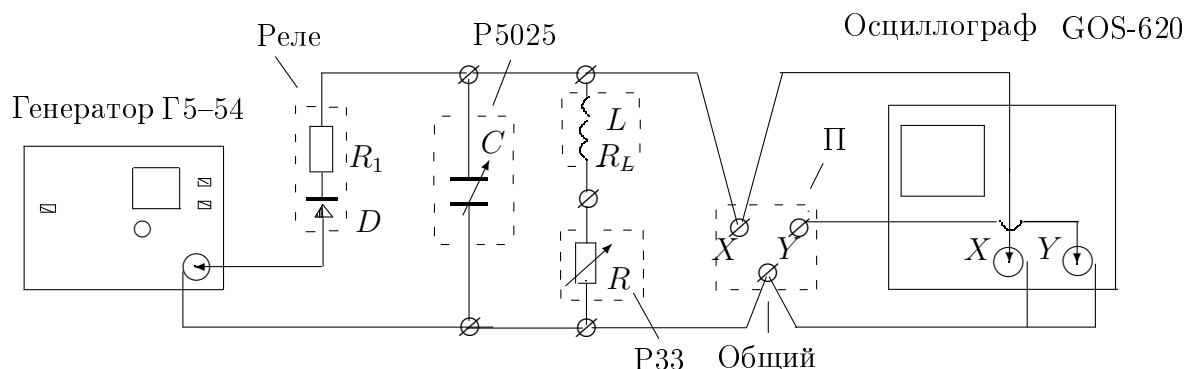


Рис. 1. Схема установки для исследования свободных колебаний

Каждый импульс заряжает конденсатор  $C$ , после чего генератор отключается от колебательного контура, и в контуре возникают свободные затухающие колебания. Напряжение на конденсаторе  $U_C$  поступает на вход канала 1(X) ЭО, а напряжение на сопротивлении  $R$ , пропорциональное току  $I$  в контуре ( $I \propto dU_C/dt$ ), поступает на вход канала 2(Y). В двухканальном режиме работы ЭО на экране можно наблюдать затухающие колебания напряжения и тока одновременно, а при отключении внутренней развёртки ЭО — в режиме «X–Y» — фазовую диаграмму. Входное сопротивление осциллографа велико ( $\simeq 1$  МОм), так что его влиянием на контур можно пренебречь.

При включенной развёртке по времени картина затухающих колебаний представлена в координатах  $(t, U_C)$  и  $(t, dU_C/dt)$  (см. рис. 2.2а введения), при выключенной — в координатах  $(U_C, dU_C/dt)$  (см. рис. 2.2б). В этих координатах картина

<sup>1</sup> Тиристор (от греч. *thyra* — вход, дверь и англ. *resistor* — сопротивление) — полупроводниковый ключ, сопротивление которого зависит от напряжения на нём. При напряжении выше порогового тиристор открывается, а при любом напряжении другого знака закрывается. Благодаря этому генератор отключается от колебательного контура после каждого импульса, и внутреннее сопротивление генератора не влияет на процессы в колебательном контуре.

незатухающих колебаний (при  $\gamma = 0$ ) представляет собой эллипс, а затухающих (при  $\gamma > 0$ ) — скручивающуюся спираль.

## ЗАДАНИЕ

В работе предлагается исследовать зависимость периода свободных колебаний контура от ёмкости, зависимость логарифмического декремента затухания от сопротивления, определить критическое сопротивление и добротность контура.

### I. Подготовка приборов к работе

1. Для настройки генератора импульсов подключите генератор через реле ко входу 1(X) ЭО, используя клеммы «X» и «Общий» на панели П.
2. Включите генератор импульсов в сеть; ручкой «АМПЛ» генератора (слева под шкалой) установите на вольтметре напряжение чуть меньше 30-и В, при этом должны быть нажаты кнопки « $\times 1$ », « $\perp$ » (или « $\neg$ ») и «запуск».

Длительность импульсов подбирается с помощью подвижных шкал (чёрная и белая) и вертикального ряда кнопок (множителей): при нажатой чёрной кнопке отсчёт ведётся по чёрной шкале с умножением на коэффициент, указанный около нажатой кнопки; при нажатой белой кнопке — соответственно по белой шкале: частота повторения импульсов устанавливается аналогично;

установите длительность импульсов  $\sim 5 \mu S$  ( $5 \cdot 10^{-6}$  с);

установите частоту повторения импульсов  $\nu_0 = 100$  Hz. ( $T_0 = 0,01$  с).

3. Включите и настройте осциллограф, руководствуясь техническим описанием, расположенным на установке.
4. Установите ручку 30 ЭО (плавная регулировка развёртки) в положение «калибровка» (поворотом по часовой стрелке до упора); при этом цену деления горизонтальной шкалы ЭО в единицах времени можно считать против указателя ручки 29. Подберите развёртку ЭО и усиление канала X так, чтобы на экране умещалось несколько импульсов. Проверьте, совпадает ли период повторения импульсов, указанный на генераторе, с измерениями по горизонтальной шкале ЭО. При заметном несовпадении периодов обратитесь за помощью к преподавателю или лаборанту.

Зарегистрируйте наблюдаемую картину.

### II. Измерение периодов свободных колебаний

5. Не отключая приборы от сети, уберите выходное напряжение генератора, используя ручку «АМПЛ», и соберите полную схему согласно рис. 1. Выход генератора через реле подключите к клеммам «1» и «2'» магазина емкостей. В этом случае верхним рядом курбелей (ручек) можно менять ёмкость в интервале 0–1 мкФ. Показания курбелей суммируются.
6. Установите на магазине сопротивлений величину  $R = 0$ ; на магазине емкостей — величину  $C = 0,02$  мкФ. После проверки схемы преподавателем установите на вольтметре напряжение чуть меньше 30-и В, получите на экране картину свободных затухающих колебаний, используя ручки развёртки 29 и 30 и ручку 28 — уровень синхронизации.

7. Подберите частоту развёртки ЭО, при которой расстояние  $x_0$  между импульсами, поступающими с генератора, занимает почти весь экран (например, 8 см); измерьте расстояние между импульсами  $x_0$ .
8. Измерьте на экране расстояние  $x$ , которое занимают несколько полных периодов  $n$ . Зная период задающих колебания импульсов  $T_0 = 1/\nu = 0,01$  сек и  $x_0$ , можно рассчитать период колебаний контура:  $T = T_0 x / (n x_0)$ . Малые расстояния  $x$  можно увеличить кнопкой 30 — растяжка развёртки — ( $\times 10$ ).
9. Изменяя ёмкость от 0,02 мкФ до 0,9 мкФ и периодически проверяя величину  $x_0$ , проведите измерения периодов (8–10 значений)<sup>2</sup>.

### III. Критическое сопротивление и декремент затухания

10. Приняв  $L = 200$  мГн, рассчитайте ёмкость  $C$ , при которой собственная частота колебаний контура  $\nu_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$  составляет 5 кГц. Для выбранных значений  $L$  и  $C$  рассчитайте критическое сопротивление контура  $R_{кр}$  по формуле  $R_{кр} = 2\sqrt{L/C}$ .
11. Установите на магазине ёмкость, близкую к рассчитанной. Увеличивая сопротивление  $R$  от нуля до  $R_{кр}$ , наблюдайте картину затухающих колебаний на экране ЭО. Определите сопротивление магазина, при котором колебательный режим переходит в апериодический. Найденное экспериментально значение  $R_{кр}$  может отличаться от рассчитанного, т.к. величина  $L$  была задана приближённо.
12. Установите сопротивление  $R \simeq 0,1R_{кр}$  (эксп.). Получите на экране картину затухающих колебаний. Для расчёта логарифмического декремента затухания  $\Theta$  по формуле (2.26)

$$\Theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_k}{U_{k+n}}$$

измерьте амплитуды, разделённые целым числом периодов  $n$ .

Точность измерений повысится, если сместить горизонтальную ось симметрии сигнала в нижнюю часть экрана. Расчёт будет тем точнее, чем больше отличаются друг от друга измеряемые амплитуды, а минимальная не должна быть меньше 5–6 мм.

13. Повторите измерения для 6–8 значений  $R$  в интервале  $(0,1-0,3) \cdot R_{кр}$ .

### IV. Свободные колебания на фазовой плоскости

14. Для одновременного наблюдения осциллограмм тока и напряжения свободных затухающих колебаний переключите ЭО на двухканальный режим «DUAL»: при этом в дополнение к каналу 1(X) подключается канал 2(Y), на который подано напряжение  $U_R \propto I \propto dU_C/dt$ . Подберите масштабы по вертикали и частоту развёртки по горизонтали так, чтобы оба сигнала были представлены на временном интервале, слегка превышающем период повторения импульсов с генератора.

Зарегистрируйте осциллограмму и сравните её с рис. 2.2а.

---

<sup>2</sup> Измерять период по шкале развёртки ЭО (ручка 29) можно только тогда, когда ручка 30 (регулировка плавной развёртки) стоит в положении "калибровка".

15. Для наблюдения затухающих колебаний на фазовой плоскости отключите развёртку по времени ЭО: для этого переведите ручку «TIME/DIV» развёртки в положение «X-Y» (поворотом против часовой стрелки). Убедитесь, что растяжка ( $\times 10$ ) отключена.

Введите сопротивление  $R \simeq 0,1 \cdot R_{кр}$  на магазине и, меняя чувствительность каналов, выберите масштаб спирали, удобный для измерений. Зарегистрируйте спираль и сравните её с рис. 2.26.

При том же значении  $C$ , что и в п. 11, наблюдайте за изменением спирали при увеличении сопротивления от 0,1 до  $0,3 \cdot R_{кр}$ .

Для определения  $\Theta$  измерьте максимумы  $X_k$  и  $X_{k+n}$  отклонения витков спирали по одной из осей координат, разделённые целым числом периодов  $n$ , для минимального и максимального значений  $R$  из диапазона  $(0,1-0,3) \cdot R_{кр}$ . (см. п. 13).

16. ОТКЛЮЧИТЕ питание, после чего отсоедините катушку от цепи. Измерьте омическое сопротивление катушки  $R_L$  и индуктивность  $L$  с помощью измерителя  $LCR$  на частотах 50 Гц, 1 кГц и 5 кГц. Подумайте, почему результат измерения  $R_L$  зависит от частоты.

## V. Обработка результатов

17. Рассчитайте экспериментальные значения периодов по результатам измерений п. 9 и теоретические по формуле  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ . Постройте график  $T_{эксп} = f(T_{теор})$ . Оцените погрешности и сравните результаты.

18. По результатам измерений п. 13 рассчитайте значения логарифмического декремента затухания  $\Theta$  и сопротивление контура  $R_{\Sigma} = R + R_L$ .

Постройте график в координатах  $1/\Theta^2 = f[1/(R_{\Sigma}^2)]$ . Приняв обозначения  $1/\Theta^2 = Y$ ,  $1/(R_{\Sigma}^2) = X$ , можно показать, что  $R_{кр} = 2\pi\sqrt{\Delta Y/\Delta X}$  [см. формулу (2.29)].

Определите критическое сопротивление  $R_{кр}$  по наклону графика вблизи начала координат и оцените погрешность.

Подумайте, как определить  $R_{кр}$  по пересечению продолжения графика с осью X. Какова погрешность этого метода?

19. Рассчитайте теоретическое значение  $R_{кр} = 2\sqrt{L/C}$  и сравните с измеренным.
20. Рассчитайте добротность контура  $Q = \pi/\Theta$  для максимального и минимального значений  $\Theta$  по картине затухающих колебаний и сравните с расчётом  $Q$  через параметры контура  $R, L, C$ .
21. Рассчитайте добротность  $Q = \pi/\Theta$  по спирали на фазовой плоскости.
22. Сведите результаты эксперимента и их погрешности в таблицу:

$L_{кат}$	$R_{кр}$			$R$	$Q$		
	Теор.	Подбор	Граф.		Теор.	$f(\Theta)$	Спираль
				max =			
				min =			

23. Сравните результаты и оцените, какой из методов определения  $R_{кр}$  и  $Q$  точнее.

Исправлено 11-VIII-2021 г.