

Радиотехнические цепи и сигналы

Сочава Александр Андреевич

2018 год, весенний семестр

ПРЕДИСЛОВИЕ

В данном сборнике представлены описания и методические указания к трем лабораторным работам. Материал пособия содержит сведения теоретического и практического характера, достаточные для выполнения этих работ.

Лабораторные работы посвящены колебательным процессам в простейших электрических цепях: RC -фильтрах и LC -контурах. Их выполнение позволяет студентам глубже понять физические основы изучаемых явлений и закономерности, которым они подчиняются.

В первой работе исследуются RC -цепи, которые весьма часто используются в качестве фильтров нижних и верхних частот. Эта работа построена так, что она может выполняться без предварительной подготовки на первом (вводном) занятии. Одновременно студенты знакомятся с измерительными приборами, которые широко применяются в последующих работах.

Во второй работе изучаются вынужденные колебания в колебательном LC -контуре: резонансные характеристики последовательного и параллельного контуров, их зависимость от физических параметров элементов схемы, возможность использования LC -контура в качестве частотно-избирательной цепи.

В третьей работе исследуются свободные колебания в одиночном LC -контуре и в системе двух индуктивно связанных контуров. Изучаемые здесь явления имеют принципиальное значение не только в радиосхемах, но и в устройствах СВЧ, оптического диапазона, а также в явлениях, происходящих на молекулярном уровне.

Настоящее пособие является переизданием ранее выпущенного пособия «Электрические колебания в линейных цепях»; авторы А. Д. Жуков, Э. Ф. Зайцев, Б. А. Мартынов, Ю. Н. Новиков, Л.:ЛГТУ, 1991. В данное издание внесены лишь небольшие изменения.

Лабораторная работа ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ЦЕПЕЙ

В данной работе изучаются RC -цепи, часто применяемые в электронных устройствах. в качестве простейших разновидностей электрических фильтров нижних и верхних частот. Объектом исследования является, кроме того, параллельный колебательный контур.

Цель лабораторной работы – умение проводить измерения при помощи приборов, используемых в учебной лаборатории, а также применять различные методы снятия частотных и временных характеристик простейших пассивных цепей и определения параметров цепей и сигналов.

Таблица 1: Назначение и погрешности измерительных приборов.

Название	Назначение	Погрешность
Милливольтметр ВЗ-38	Измерение действующего значения синусоидального напряжения	Основная погрешность прибора не выше 6% от конечного значения установленного предела измерения
Генераторы сигналов звуковых и ультразвуковых частот ГЗ-33, ГЗ-112	Источник гармонических колебаний	Основная приведенная погрешность по частоте не превышает $(0,02f + 1 \text{ Гц})$
Частотомер ЧЗ-33	Измерение частоты электрических колебаний	Основная погрешность измерения частоты не превышает $1/t$, где t - время измерения (счета)
Осциллографы универсальные С1-68, С1-83	Исследование формы электрических колебаний, измерение напряжений сигналов, измерение временных интервалов	Основная погрешность измерения напряжений при размере изображения от 2 до 6 делений шкалы экрана не превышает 8%. Основная погрешность измерения временных интервалов при размере изображения по горизонтали от 4 до 8 делений не превышает 8%

Варианты исследуемых цепей собираются на монтажной плате посредством установки сменных вставок, в которые вмонтированы отдельные элементы: катушка индуктивности, резисторы, конденсаторы.

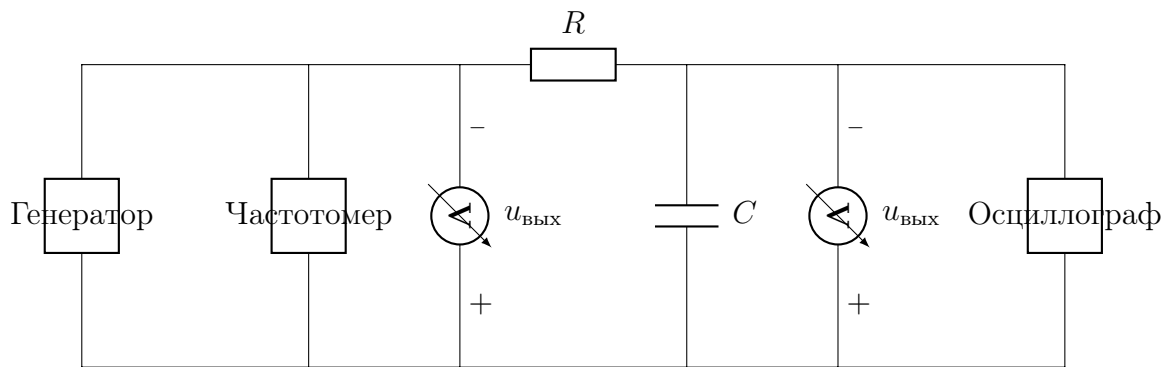
На вставках указаны номинальные значения параметров элементов (в том числе сопротивление потерь катушки). Допустимые отклонения от номиналов не превышают 10%.

Порядок выполнения работы

Однорезонансный RC -фильтр в режиме гармонических колебаний

1. Используя схему измерений, приведенную на рис. 1, снимите амплитудно-частотные характеристики двух вариантов фильтров нижних частот (ФНЧ):

- а) $R = 51 \text{ кОм}$, $C = 1300 \text{ пФ}$; б) $R = 51 \text{ кОм}$, $C = 10 \text{ нФ}$;



Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) - зависимость модуля комплексного коэффициента передачи фильтра $K = U/U$ от частоты f . (Здесь $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ - действующие значения входного и выходного напряжений). При снятии АЧХ целесообразно поддерживать $U_{\text{вх}}$ постоянным и равным, например, 0,1 В или 1 В; (такие значения удобны при вычислении K). Значения f выбирайте таким образом, чтобы при построении АЧХ в полулогарифмическом масштабе обеспечивалось достаточно равномерное расположение отсчетов по частотной оси (пример на рис. 2).

2. Для обоих вариантов ФНЧ проведите измерения, необходимые для нахождения граничных частот f_c , на которых K равен $1/\sqrt{2} = 0,707$ от наибольшего значения.

3. При $R = 51$ кОм, $C = 10$ нФ снимите фазочастотную характеристику ФНЧ.

Фазочастотная характеристика (ФНЧ) - зависимость сдвига фаз φ между выходным и входным напряжениями от частоты.

Для нахождения сдвига фаз φ переведите осциллограф в режим «X – Y» (при этом выключается периодическая развертка луча по горизонтали); подайте напряжение с выхода ФНЧ на вход «Y» осциллографа, а входное - на вход «X»; изменяя амплитуду входного напряжения и коэффициент отклонения канала «Y», добейтесь, чтобы получающаяся на экране фигура Лиссажу (рис. 3) охватывала большую часть экрана; совместите центр эллипса с центром масштабной сетки на экране. Сдвиг фаз φ находится при помощи соотношения

$$|\sin \varphi| = X_0/A = Y_0/B,$$

где X_0 и A или Y_0 и B (рис. 3) измеряются в делениях масштабной сетки осциллографа.

Подберите частоту колебаний, при которой $\varphi = 45^\circ$, и сравните ее со значением граничной частоты, найденном в п. 2. Постройте ФЧХ в полулогарифмическом масштабе на одном графике с АЧХ.

4. Рассчитайте граничные частоты ФНЧ по формуле $f_c = 1/(2\pi RC)$. Результаты вычислений сравните с измеренными значениями (см. п. 2), сведя расчетные и экспериментальные значения в таблицу.

Однозвенный RC-фильтр в режиме гармонических колебаний

5. Переведя осциллограф в режим периодической развертки, подайте на вход импульсное напряжение с гнезд «П» и « \perp », расположенных в нише на боковой стенке прибора. (Источник гармонического напряжения отключите).

Используя калибровочные значения коэффициентов отклонения луча по горизонтали (например, 0,1 мс/см) и по вертикали (например, 0,5 В/см), измерьте период повторения импульсов T и их амплитуду E на входе (рис. 4-а). Перед измерениями необходимо установить ручки плавной регуляции коэффициентов отклонения луча и скорости развертки в крайне правое положение (крайне правое при вращении по часовой стрелке). Вычислите частоту следования импульсов $F = 1/t$ и сравните ее с измеренной частотометром. 6. Измерьте значения амплитуды (размаха) «A» импульсов на выходе ФНЧ (рис. 4-б) при двух наборах параметров:

а) $R = 51 \text{ кОм}$, $C = 1300 \text{ пФ}$; б) $R = 51 \text{ кОм}$, $C = 10 \text{ нФ}$.

7. При $R = 51 \text{ кОм}$, $C = 1300 \text{ пФ}$ измерьте длительность фронта выходного импульса $\tau_{\text{ф}} = 2,2RC$.

8. При тех же параметрах, что и в п. 6, зарисуйте осциллограммы входного и выходного напряжений. Отметьте на осциллограммах измеренное значение амплитуд, периода и длительности фронта (см. п. 7).

Убедитесь, что при $R = 51 \text{ кОм}$, $C = 10 \text{ нФ}$ ФНЧ ведет себя как интегратор.

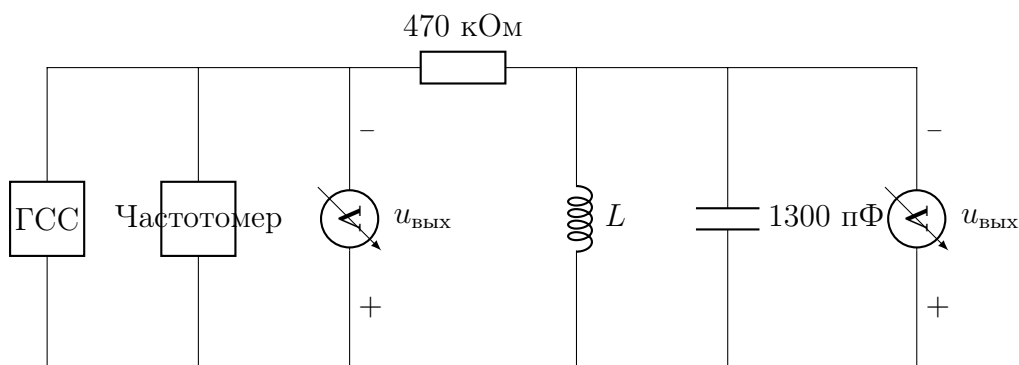
9. Используя полученные в п. 5 результаты измерений T и E , при помощи формулы $A = E_{\text{th}}(T/(4RC))$ (см. приложение) по заданным R и C вычислите значения амплитуды (размаха) A и сравните их с найденными в п. 6, сведя в таблицу результаты расчета и эксперимента.

10. Поменяв местами резистор и конденсатор (при $C = 1300 \text{ пФ}$), получите и зарисуйте осциллограмму напряжения на выходе фильтра верхних частот (ФВЧ). Для импульса на выходе ФВЧ проведите измерение длительности $\tau_{\text{и}}$ по уровню 0,1 амплитуды (см. рис. 5) и сравните полученное значение с рассчитанным по формуле $\tau_{\text{и}} = 2,3RC$.

11. Для $R = 51 \text{ кОм}$, $C = 1300 \text{ пФ}$, используя экспериментально полученные для ФНЧ значения граничной частоты f_c и длительности фронта $\tau_{\text{ф}}$, найдите произведение $f_c \tau_{\text{ф}}$ и сравните его с теоретическим значением 0,35.

Параллельный колебательный контур

12. Соберите на монтажной плате параллельный колебательный контур, как показано на рис. 6. Перестраивая по частоте источник гармонических колебаний, найдите частоту f_0 , при которой наблюдается резонанс в параллельном контуре.



Установите максимальное напряжение на контуре при резонансе равным 10 мВ. Измерьте напряжение на выходе генератора. Поддерживая его неизменным, найдите при помощи частотомера, подключенного к выходу генератора, верхнюю ($f_{\text{в}}$) и нижнюю ($f_{\text{н}}$) границы полосы пропускания контура (по уровню $1/\sqrt{2} = 0,707$ от резонансного значения напряжения).

По формуле $Q = f_0/(f_{\text{в}} - f_{\text{н}})$ вычислите добротность контура.

В диапазоне частот, при которых напряжение на контуре не ниже 30% от максимума, снимите резонансную кривую (рис. 7).

13. Считая известными параметры катушки индуктивности (рис. 6-б), рассчитайте резонансную частоту и добротность контура по формулам:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + C_0 + C_{\text{н}})}},$$
$$Q = \frac{2\pi f_0 L}{r},$$

где L - индуктивность катушки, r - сопротивление потерь (параметры L и r указаны на держателе катушки); C_0 - собственная емкость катушки ($C_0 \approx 40 \text{ пФ}$); $C_{\text{н}}$ - входная емкость вольтметра ВЗ-38 с учетом кабеля ($C_{\text{н}} \approx 60 \text{ пФ}$).

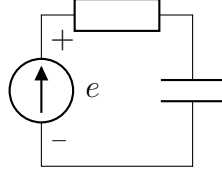
Сравните расчетные и экспериментальные значения f_0 и Q , сведя их в таблицу.

Приложение

Вывод формулы для амплитуды импульсов на емкости

На основании второго закона Кирхгофа для цепи, представленной на рис. 8, справедливо равенство

$$u_C + u_R = e.$$



Отсюда, а также из соотношений, связывающих токи и напряжения на элементах R и C , можно получить дифференциальное уравнение

$$\frac{du_R}{dt} + \frac{u_R}{RC} = \frac{de}{dt},$$

которым описываются процессы в анализируемой цепи.

Для моментов времени t_0 и t , принадлежащей какому-либо интервалу, в течение которого ЭДС e остается неизменной ($de/dt = 0$), из полученного уравнения следует, что

$$u_R(t) = u_R(t_0) \exp\left(\frac{t_0 - t}{RC}\right). \quad (1)$$

Предположим, что входное напряжение (рис. 9-а) не содержит постоянной составляющей и при $nT < t < (n + 0,5)T$ принимает значение $E/2$, а при $(n - 0,5)T < t < nT - E/2$. (Здесь n - любое целое число.) В установившемся режиме постоянные составляющие напряжений на сопротивлении и емкости также равняются нулю, а значения каждого из этих напряжений в моменты времени, отстоящие друг от друга на нечетное число полупериодов, различаются только знаком (рис. 9-б, в).

Моменты времени $t = nT/2$ необходимо рассматривать особо. В эти моменты напряжение u_R получает скачкообразное приращение на $+E$ или $-E$ в зависимости от того, увеличивается или уменьшается входное напряжение.

С учетом сказанного, обозначая через $u_R(0-)$ и $u_R(0+)$ значения напряжения на сопротивлении при $t = 0$ до и после скачка и используя (2), получаем

$$u_R(0-) = u_R(0+) - E = -u_R(0+) \exp\left(\frac{-T}{2RC}\right),$$

откуда

$$u_R(0+) = \frac{E}{1 + \exp\left(\frac{-T}{2RC}\right)}. \quad (2)$$

Выражая далее напряжение на емкости при $t = nT/2$ через u_R и e согласно (1), получим

$$\frac{A}{2} = \frac{E}{2} - u_R(0+) \exp\left(\frac{-T}{2RC}\right).$$

и принимая во внимание (3), придем к следующей формуле для амплитуды (размаха) импульсов на емкости

$$A = E \frac{1 - \exp\left(\frac{-T}{2RC}\right)}{1 + \exp\left(\frac{-T}{2RC}\right)} = E \operatorname{th}\left(\frac{T}{4RC}\right).$$

Полученное выражение справедливо и в случае ненулевых постоянных составляющих напряжений (см., например, рис. 4).

С помощью приведенных выше соотношений можно получить также формулы для τ_{Φ} в случае ФНЧ и τ_{Π} в случае ФВЧ.

