

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
«МАИ»

Кафедра теоретической радиотехники

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Исследование частотных характеристик цепей первого порядка»

Утверждено на заседании кафедры 405
31 августа 2016 г.
протокол № 1

Москва, 2016 г.

Цель работы

Измерение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и фазочастотной характеристики (ФЧХ) RC - и RL - цепей первого порядка, сравнение экспериментальных зависимостей с теоретическими характеристиками.

Краткие теоретические сведения

Комплексной частотной характеристикой (КЧХ) называется зависимость отношения комплексной амплитуды сигнала (тока или напряжения) на выходе линейной цепи к комплексной амплитуде сигнала на входе от частоты:

$$\dot{K}(j2\pi f) = \frac{\dot{S}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{S}_{\text{ВХ}}} \quad (1)$$

при условии, что $s(t) = A \cos(2\pi f t + \varphi_0) = A \cos[2\pi f(t + \tau)]$ – гармонический сигнал амплитудой A , частотой f и начальной фазой φ_0 . Величина Δ определяет задержку сигнала.

Модуль комплексной частотной характеристики называется *амплитудно-частотной характеристикой* (АЧХ) и обозначается:

$$K(f) = |\dot{K}(j2\pi f)|. \quad (2)$$

Аргумент комплексной частотной характеристики называется *фазочастотной характеристикой* (ФЧХ) и обозначается:

$$\varphi(f) = \arg[\dot{K}(j2\pi f)]. \quad (3)$$

Для нахождения КЧХ линейной цепи необходимо:

1) заменить источник гармонического сигнала на его комплексную амплитуду:

$$\dot{S}_{\text{ВХ}} = A \cdot e^{j\varphi_0}; \quad (4)$$

2) реактивные элементы (ёмкость и индуктивность) заменить на комплексные сопротивления согласно рис. 1;

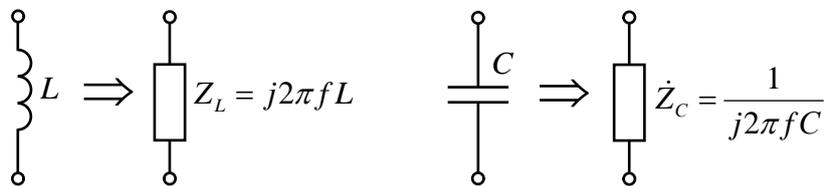


Рис. 1. Замена реактивных элементов комплексными сопротивлениями.

3) методами анализа линейных цепей по постоянному току определить комплексную амплитуду выходного сигнала;

4) определить комплексную частотную характеристику по формуле (1).

При нахождении КЧХ линейных цепей первого порядка (RL - и RC - цепей) удобно пользоваться параметром «*постоянная времени цепи*», который определяется по формулам:

$$\tau_{RC} = RC, \quad \tau_{RL} = \frac{L}{R}. \quad (5)$$

Параметром линейной цепи в частотной области является *границная частота полосы пропускания* $f_{гр}$, которая определяется на частоте, при которой коэффициент передачи уменьшается до $1/\sqrt{2} = 0,7$ от максимального значения:

$$K(f_{гр}) = \frac{1}{\sqrt{2}} K_{max} \approx 0,7 \cdot K_{max} . \quad (6)$$

Пример АЧХ и ФЧХ линейной цепи первого порядка показан на рис. 2.

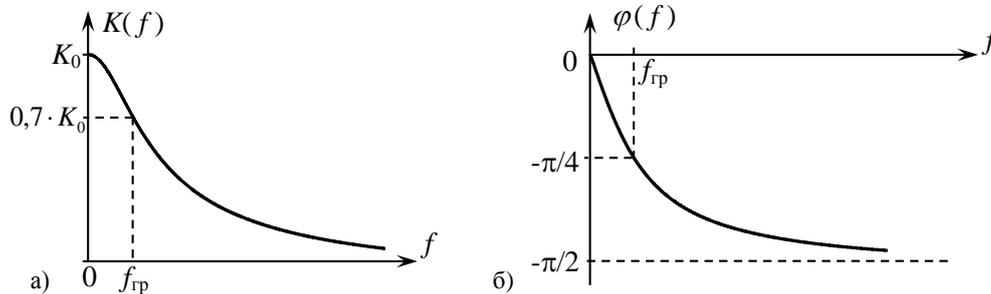


Рис. 2. АЧХ а) и ФЧХ б) линейной цепи первого порядка.

По известной граничной частоте полосы пропускания постоянную времени цепи можно найти по формуле:

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_{гр}} . \quad (7)$$

Задание для подготовки к лабораторной работе

Зарисовать в отчёт схему исследуемой цепи согласно номеру варианта. Определить аналитические выражения комплексной частотной характеристики, АЧХ, ФЧХ.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема цепи	3 а)	3 б)	3 в)	3 г)	3 а)	3 б)	3 в)	3 г)	3 а)	3 б)

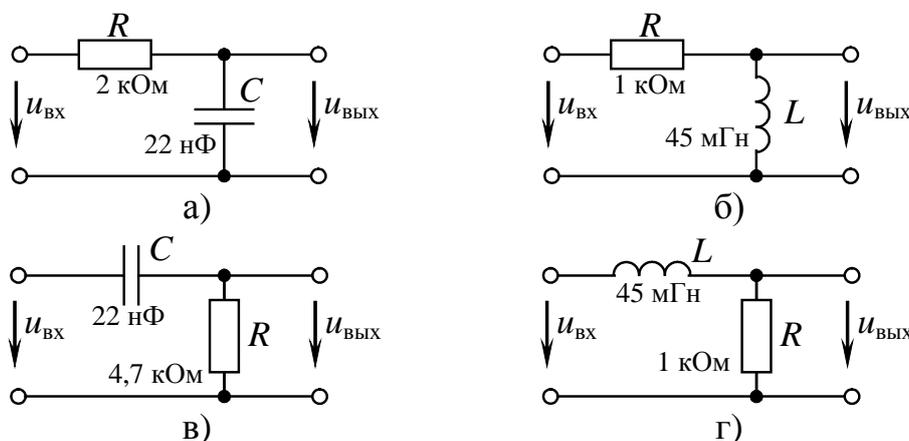


Рис. 3. Линейные цепи первого порядка.

Для известных номиналов элементов цепи по формулам (5) рассчитать постоянную времени цепи. Нарисовать графики АЧХ и ФЧХ линейной цепи.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Измерение амплитудно-частотной характеристики.

1.1. Соберите схему подключения измерительных приборов и стенда для измерения АЧХ линейной цепи, показанную на рис. 4. Сигнал на вход макета подаётся с генератора низкой частоты (ГНЧ), выход II. Рекомендуется при этом использовать синхронизацию ГНЧ (выход I) и осциллографа.

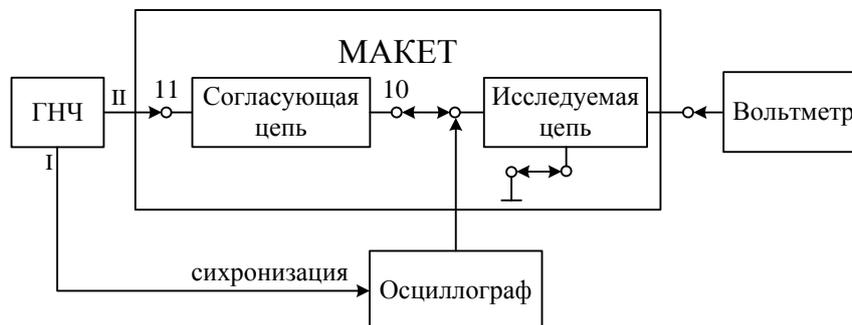


Рис. 4. Схема подключения измерительных приборов и стенда.

Согласно номеру варианта в табл. 1 подключите исследуемую цепь. Номера контактов для подключения цепи показаны на рис. 5.

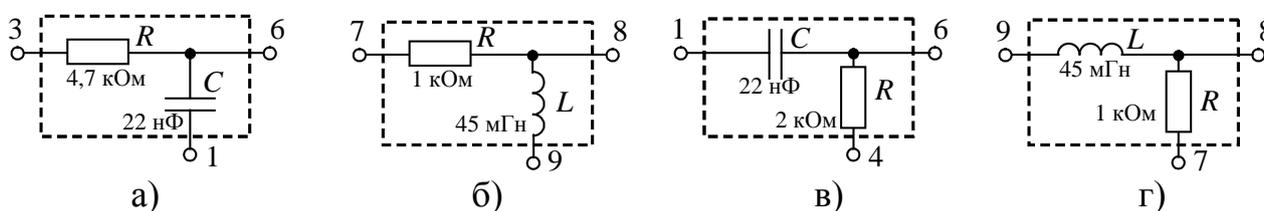


Рис. 5. Схемы подключения линейных цепей.

1.2. Подключите вольтметр на вход исследуемой цепи (клемма «10»). Установите на ГНЧ частоту гармонического сигнала 1 кГц, и амплитуду, соответствующую действующему напряжению на входе 0,5 – 1 В.

1.3. Подключите вольтметр на выход исследуемой цепи, осциллограф остаётся подключенным на входе цепи. Используйте осциллограф для контроля амплитуды входного сигнала. Если при изменении частоты она станет меняться, устанавливайте прежнее значение путём регулировки амплитуды сигнала на выходе ГНЧ. В течение всех измерений амплитуда входного сигнала должна поддерживаться постоянной. Изменяя частоту сигнала, измеряйте вольтметром действующее значение выходного напряжения. Результаты измерений занесите в таблицу.

1.4. Рассчитайте и занесите в таблицу значения коэффициента передачи цепи по напряжению для каждой частоты:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, \quad (8)$$

где $U_{вх}$ и $U_{вых}$ – действующие значения входного и выходного напряжений.

1.5. Постройте график АЧХ $K(f)$. Отметьте на графике граничную частоту полосы пропускания $f_{гр}$, рассчитайте постоянную времени цепи по формуле (7).

2. Измерение фазочастотной характеристики.

2.1. Соберите схему подключения измерительных приборов и стенда для измерения ФЧХ линейной цепи, показанную на рис. 6.

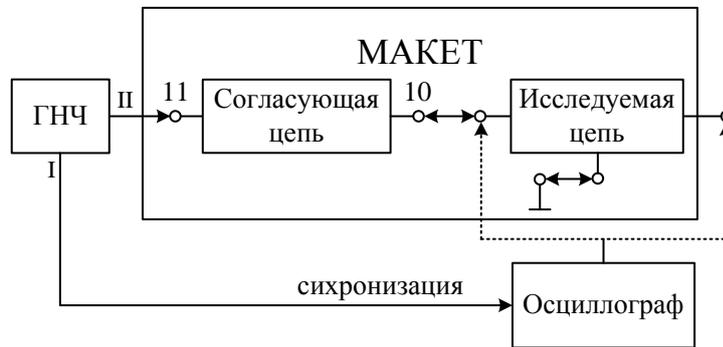


Рис. 6. Схема подключения измерительных приборов и стенда.

2.2. Установите на генераторе частоту, равную граничной частоте полосы пропускания. Подключите осциллограф на вход цепи. Установите характерную точку входного сигнала (переход через нуль) в центре экрана. Занесите осциллограмму входного напряжения в отчёт. Подключите осциллограф на выход цепи, занесите осциллограмму выходного напряжения в отчёт.

2.3. Поочередно подключая осциллограф на вход и выход исследуемой цепи, измеряйте смещение характерной точки гармонического сигнала на выходе цепи по сравнению с входным сигналом. Измеряйте также период сигнала. Для ускорения измерений временной сдвиг и период рекомендуется определять в делениях сетки, нанесенной на экран осциллографа. При изменении частоты изменяйте масштаб по оси времени, чтобы на экране укладывалось не более одного периода сигнала, иначе измерения временного сдвига будут очень неточными. Занесите результаты измерений в таблицу.

Примечание. Временной сдвиг положительный ($\tau > 0$), если выходной сигнал опережает по фазе входной, т.е. сдвигается влево. В случае запаздывания выходного сигнала (сдвиг вправо) временной сдвиг отрицательный ($\tau < 0$) (см. рис. 7).

2.4. Рассчитайте фазовый сдвиг по формуле:

$$\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ \quad (9)$$

и занесите результаты в таблицу.

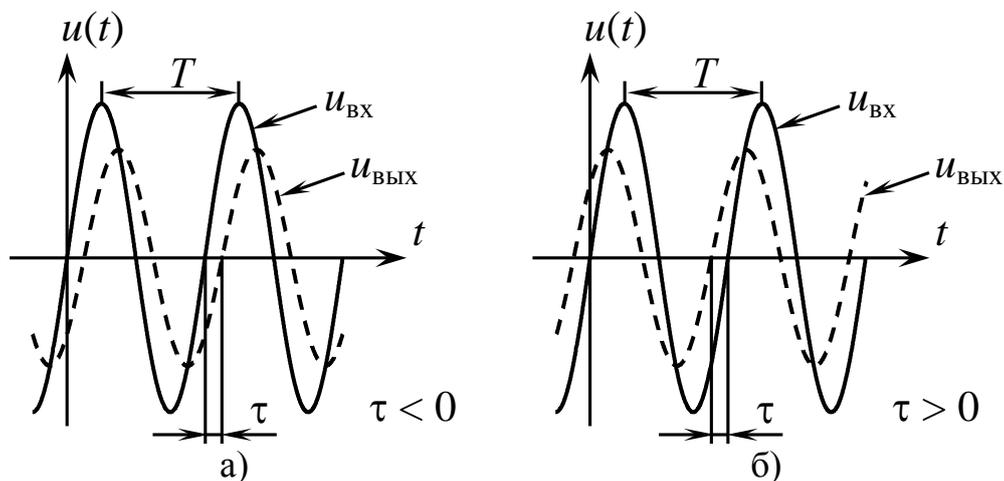


Рис. 7. Осциллограммы сигналов на входе и выходе линейной цепи.

2.5. Постройте график ФЧХ $\varphi(f)$. Определите по графику граничную частоту полосы пропускания $f_{гр}$, рассчитайте постоянную времени цепи по формуле (7).

3. Сделать выводы по проделанной работе.

В выводах отразить:

1. Как изменяется коэффициент передачи исследуемой цепи при увеличении частоты.

2. Объясните форму АЧХ цепи, учитывая зависимость комплексных сопротивлений ёмкости и индуктивности от частоты.

3. Сравнить теоретическое значение постоянной времени со значениями, полученными по АЧХ и ФЧХ.