netelab

Hardware platform for educational research laboratory works on physics, electrotechinic and electronics related disciplines

Application

- Efficient studying of natural sciences by schoolboys, students of secondary and high technical schools is impossible without experimental laboratory works and individual researches.
- Equipment set NETELAB is designed to provide studying of various physical phenomena, characteristics and behavior of electronic circuits and schemes, and to give basics and grow a skills in practical work with modern measurement equipment. Set includes one or some individual workplaces.
- Each workplace consist of instrumental unit (includes 2 PSUs, 2 signal generators, digital voltemeters, phasemeter, digital oscilloscope and curve-tracer) and measurement unit (allows to assembly various electrical and electronic schemes).

Essential features

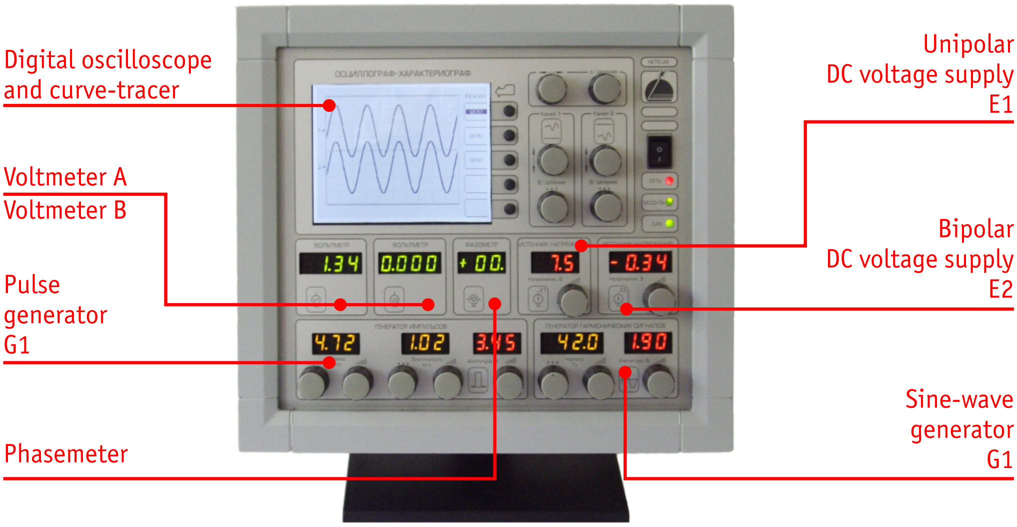
- **universality** - generic set provides studying of basic dicsciplines, such as ”Electricity and magnetism”, “Electronic engineering fundamentals”, “Electrical machines”, “Semiconductor devices”, “Electronics fundamentals”, “Logical elements and devices of computers”, and special disciplines.
- **mobility** - compact size and low weight of NETELAB workplace set, replacing a set of discrete measurement devices, allows quickly adopt training laboratory for required purposes.
- **realism** - Controls and results displaying are conform to ergonomics of modern measurement equipment;
- **informativity** - simultaneously displayed characteristics set for altered conditions let students to deeply understand essence of seen processes and effects;
- **interactivity** - instructor has an opportunity to remotely evaluate each student's activity and to make correctives into process if necessary ;
- **two operation modes** - may operate as stand-alone unit or being integrated into local network;
- Automatic measuring and plotting of amplitude-frequency and phase-frequency characteristics

- Operational mode of NETELAb by default is autonomous. Provided a functionality for equipment control and data transfer through LAN, which allows a teacher to monitor student’s activity and work progress.

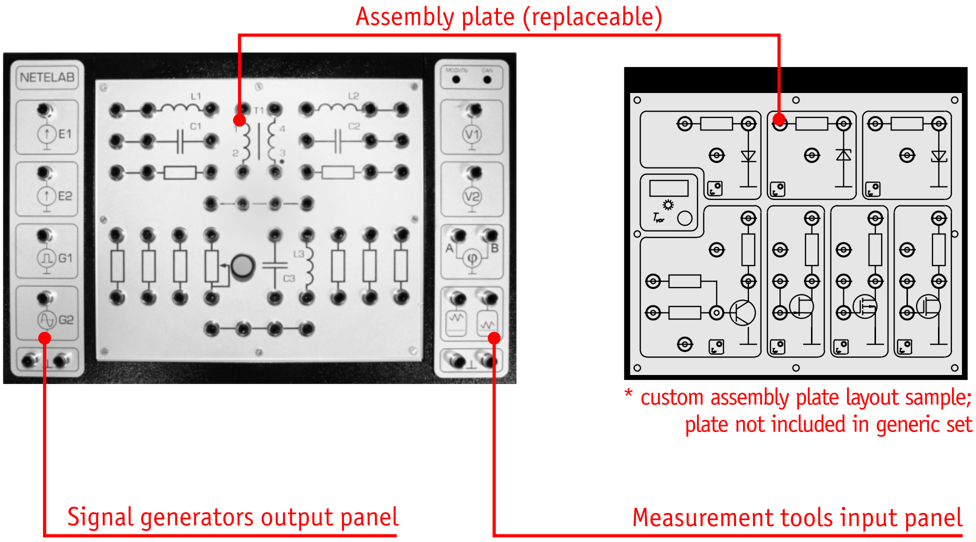
Equipment set

- **NETELAB equipment set** consist of instrumental and measurement units
- **Instrumental unit** contains displaying devices and controls for DC voltage supplies (E1 и E2), pulse (G1) and sine-wave (G2) signal generators, voltmeters (A и B), phasemeter and digital oscilloscope/curve-tracer.
- **Measurement unit** contains connector to plug-in voltage sources, generators and measurement tools to studying electrical circuit. Replaceable assembly plate contains all electrical components required for electrical circuit assembly. For electronic component's nodes and power supplies, generators and measurement tools interconnection the flexible patch cords are used.

Instrumental unit



Measurement unit



* custom assembly plate layout sample; plate not included in generic set

- NETELAB's features:
  - – rugged design of operator controls;
  - – possibility to limit signal parameter's ranges and certain devices blocking to prevent equipment damage if laboratory work is carried by newbies
  - – complexing of measurement and generating tools to provide operation of NETELAB as multifunctional curve-tracer allowing to demonstrate experimental characteristics curves $u_{\text{ВХ}}(f)$, $u_{\text{ВЫХ}}(u_{\text{ВХ}})$, $u_{\text{ВХ}}(i_{\text{ВХ}})$ to intensify studying process of frequency response, resonance phenomena, nonlinear elements characteristics and various circuit, containing nonlinear elements.
  - – results deminstration on common presentation display equipment (optional)
  - – resulting oscillogram images transfer through wireless network (optional)

Characteristics

DC voltage offset supply

Output voltage adjustment range, V	−5 … +5
Output impedance , Ohm	0.1
Max output current, A	0.1
Current value limiting control	yes

DC voltage power supply

Output voltage adjustment range, V	+1 … +9
Output impedance , Ohm	0.1
Max output current, A	0.1
Current value limiting control	yes

Sine-wave signal generator

Operating frequency range, kHz	0.100 … 99.9
Signal amplitude, V	0.05 … 5.0
Output impedance , Ohm	0.1
Max output current, A	0.3
Current value limiting control	yes

Pulse generator

Pulse repetition interval, ms	0.200 … 999.0
Pulse duration, ms	0.100 … 9.980
Pulse amplitude, V	0.05 … 5.0
Output impedance , Ohm	0.1
Max output current, A	0.3
Current value limiting control	yes

Voltmeters A and B

Measured voltages range, V	0.1 … 100
Input impedance, Mohm	1

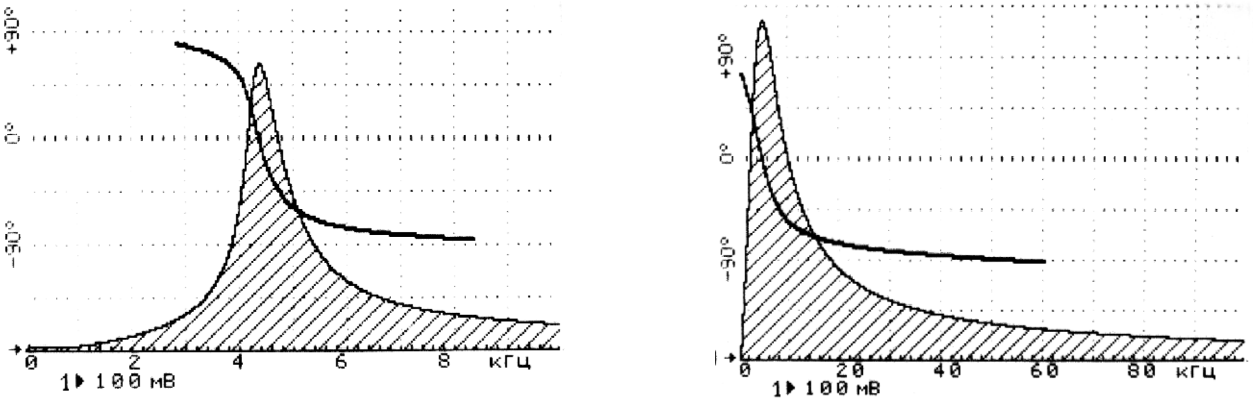
Phasemeter

Operating frequency range, kHz	0.010 … 100
Accuracy, deg., not worse	1
Sign indication	yes

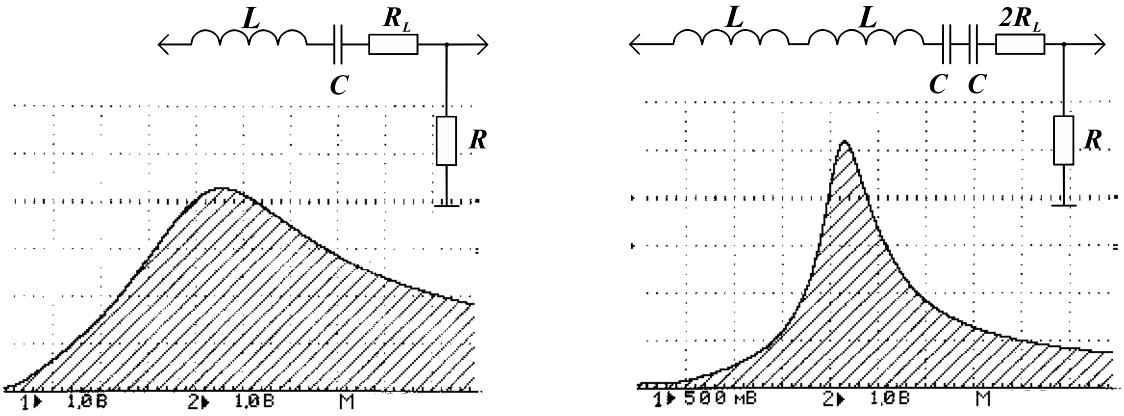
Oscilloscope and curve-tracer

Channels	2
Screen resolution, pixels	320 x 240
Vertical graduating mark, V	10, 5, 2.5 … 0.025, 0.01
Horizontal graduating mark, s	0.5, 0.25, 0.1 … 10x10^{-6}

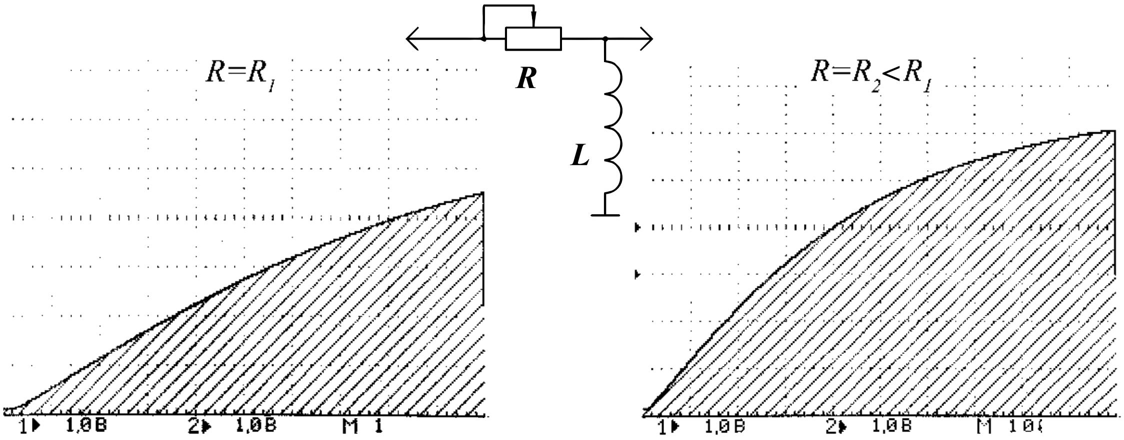
- **Essential new features** - automatic measuring and plotting of amplitude-frequency and phase-frequency characteristics - allows to significantly increase student's practical skill thanks to training process intensification and vivid demonstration of scheme's elements parameters (variable resistance, inductance and capacity) influence on resulting amplitude-frequency and phase-frequency characteristics. This features allowed to enhance effectiveness of studying resonance phenomena and frequency response of electrical circuits.



Measured amplitude–frequency and phase–frequency characteristics



Significant variations of Q factor is caused by minor variations of resonant frequency in series oscillatory circuit with L–C and 2L–C/2 elements respectively



Images from oscilloscope screen in frequency analysis process of R–L circuit for different R values in frequency range 0,1 … 100,0 kHz

Procedural guidelines

- To provide integration of NETELAB functionality in generic training course «Theoretical basics of electronic engineering» the procedural guidelines for laboratory works were developed.

Laboratory work
«Acquiring a skill in digital measurement tools operation»

Лабораторная работа

Приобретение навыков работы
с цифровыми измерительными приборами

Цель работы – ознакомление с устройством измерительного комплекса, выполнение измерений параметров сигналов.

1. Описание измерительного комплекса NETELAB

Комплекс NETELAB (рисунок 1) состоит из двух модулей – приборного и измерительного.

Рисунок 1 – Комплекс NETELAB

Приборный модуль (рисунок 2) содержит устройства индикации и органы управления следующих приборов:

1. Источника постоянного напряжения E1;
2. Источника постоянного напряжения E2;
3. Генератора импульсных сигналов G1;
4. Генератора гармонических сигналов G2;
5. Вольтметра V1;
6. Вольтметра V2;
7. Фазометра;
8. Цифрового осциллографа-характериографа.

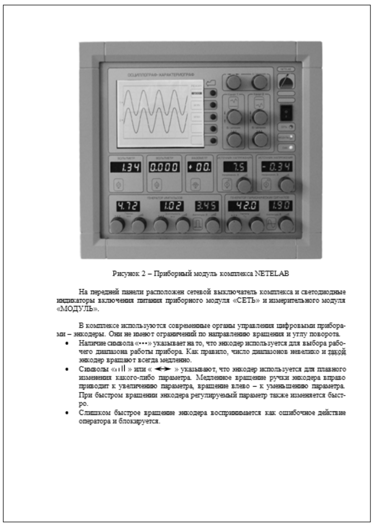


Рисунок 2 – Приборный модуль комплекса NETELAB

На передней панели расположен сетевой выключатель комплекса и светодиодные индикаторы включения питания приборного модуля «СЕТЬ» и измерительного модуля «МОДУЛЬ».

В комплексе используются современные органы управления цифровыми приборами – энкодеры. Они не имеют ограничений по направлению вращения и углу поворота.

- Наличие символа «•••» указывает на то, что энкодер используется для выбора рабочего диапазона работы прибора. Как правило, число диапазонов невелико и такой энкодер вращают всегда медленно.
- Символы «ıll» или «◄►» указывают, что энкодер используется для плавного изменения какого-либо параметра. Медленное вращение ручки энкодера вправо приводит к увеличению параметра, вращение влево – к уменьшению параметра. При быстром вращении энкодера регулируемый параметр также изменяется быстро.
- Слишком быстрое вращение энкодера воспринимается как ошибочное действие оператора и блокируется.

Выходы источников напряжений и генераторов сигналов

Монтажное поле

Входы измерительных приборов

Рисунок 3 – Измерительный модуль комплекса NETELAB

На левой панели измерительного модуля (рисунок 3) смонтированы разъемы для подключения к исследуемой электрической цепи источников напряжения, генераторов и измерительных приборов. Электрическая цепь собирается из элементов, выводы которых подключены к разъемам монтажного поля. На правой панели смонтированы разъемы для подключения к элементам цепи входов измерительных приборов.

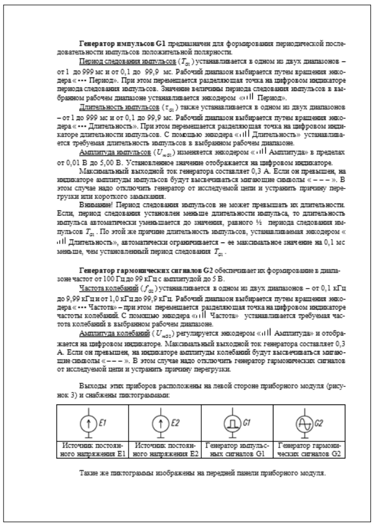
Для соединения элементов, подключения источников напряжения, генераторов и измерительных приборов используются гибкие соединительные провода с наконечниками.

Источник постоянного напряжения E1 обеспечивает формирование постоянного напряжения (U_{E1}) в диапазоне +1…+9 В. Значение установленного энкодером напряжения отображается на цифровом индикаторе.

Максимальный выходной ток источника – 0,1 А. Если он превышен или возникло короткое замыкание, на индикаторе выходного напряжения будут высвечиваться мигающие символы « – – – ».

Источник постоянного напряжения E2 обеспечивает формирование постоянного напряжения (U_{E2}) в диапазоне –5 … +5 В. Знак и значение установленного энкодером напряжения отображается на цифровом индикаторе.

Максимальный выходной ток источника – 0,1 А. Если он превышен или возникло короткое замыкание, на индикаторе выходного напряжения будут высвечиваться мигающие символы « – – – ».



Генератор импульсов G1 предназначен для формирования периодической последовательности импульсов положительной полярности.

Период следования импульсов (T_{G1}) устанавливается в одном из двух диапазонов – от 1 до 999 мс и от 0,1 до 99,9 мс. Рабочий диапазон выбирается путем вращения энкодера «••• Период». При этом перемещается разделяющая точка на цифровом индикаторе периода следования импульсов. Значение величины периода следования импульсов в выбранном рабочем диапазоне устанавливается энкодером «ıll Период».

Длительность импульсов (τ_{G1}) также устанавливается в одном из двух диапазонов – от 1 до 999 мс и от 0,1 до 99,9 мс. Рабочий диапазон выбирается путем вращения энкодера «••• Длительность». При этом перемещается разделяющая точка на цифровом индикаторе длительности импульсов. С помощью энкодера «ıll Длительность» устанавливается требуемая длительность импульсов в выбранном рабочем диапазоне.

Амплитуда импульсов (U_{mG1}) изменяется энкодером «ıll Амплитуда» в пределах от 0,01 В до 5,00 В. Установленное значение отображается на цифровом индикаторе.

Максимальный выходной ток генератора составляет 0,3 А. Если он превышен, на индикаторе амплитуды импульсов будут высвечиваться мигающие символы « – – – ». В этом случае надо отключить генератор от исследуемой цепи и устранить причину перегрузки или короткого замыкания.

Внимание! Период следования импульсов не может превышать их длительности. Если, период следования установлен меньше длительности импульса, то длительность импульса автоматически уменьшается до значения, равного ½ периода следования импульсов T_{G1}. По этой же причине длительность импульсов, устанавливаемая энкодером «ıll Длительность», автоматически ограничивается – ее максимальное значение на 0,1 мс меньше, чем установленный период следования T_{G1}.

Генератор гармонических сигналов G2 обеспечивает их формирование в диапазоне частот от 100 Гц до 99 кГц с амплитудой до 5 В.

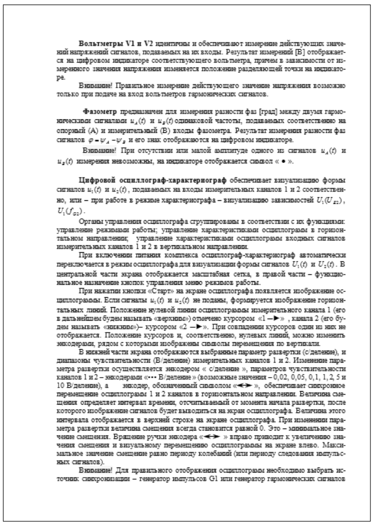
Частота колебаний (f_{G2}) устанавливается в одном из двух диапазонов – от 0,1 кГц до 9,99 кГц и от 1,0 кГц до 99,9 кГц. Рабочий диапазон выбирается путем вращения энкодера «••• Частота» – при этом перемещается разделяющая точка на цифровом индикаторе частоты колебаний. С помощью энкодера «ıll Частота» устанавливается требуемая частота колебаний в выбранном рабочем диапазоне.

Амплитуда колебаний (U_{mG2}) регулируется энкодером «ıll Амплитуда» и отображается на цифровом индикаторе. Максимальный выходной ток генератора составляет 0,3 А. Если он превышен, на индикаторе амплитуды колебаний будут высвечиваться мигающие символы « – – – ». В этом случае надо отключить генератор гармонических сигналов от исследуемой цепи и устранить причину перегрузки.

Выходы этих приборов расположены на левой стороне приборного модуля (рисунок 3) и снабжены пиктограммами:

E1	E2	G1	G2
Источник постоянного напряжения E1	Источник постоянного напряжения E2	Генератор импульсных сигналов G1	Генератор гармонических сигналов G2

Такие же пиктограммы изображены на передней панели приборного модуля.



Вольтметры V1 и V2 идентичны и обеспечивают измерение действующих значений напряжений сигналов, подаваемых на их входы. Результат измерений [В] отображается на цифровом индикаторе соответствующего вольтметра, причем в зависимости от измеренного значения напряжения изменяется положение разделяющей точки на индикаторе.

Внимание! Правильное измерение действующего значение напряжения возможно только при подаче на вход вольтметров гармонических сигналов.

Фазометр предназначен для измерения разности фаз [град] между двумя гармоническими сигналами $u_A(t)$ и $u_B(t)$ одинаковой частоты, подаваемых соответственно на опорный (А) и измерительный (В) входы фазометра. Результат измерения разности фаз сигналов $\varphi = \psi_A - \psi_B$ и его знак отображаются на цифровом индикаторе.

Внимание! При отсутствии или малой амплитуде одного из сигналов $u_A(t)$ и $u_B(t)$ измерения невозможны, на индикаторе отображается символ « • ».

Цифровой осциллограф-характерограф обеспечивает визуализацию формы сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$, подаваемых на входы измерительных каналов 1 и 2 соответственно, или – при работе в режиме характериографа – визуализацию зависимостей $U_1(U_{E2})$, $U_1(f_{G2})$.

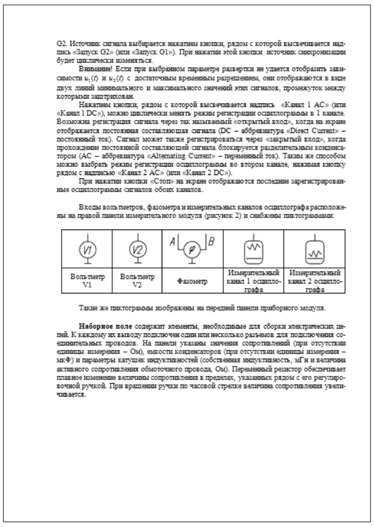
Органы управления осциллографа сгруппированы в соответствии с их функциями: управление режимами работы; управление характеристиками осциллограмм в горизонтальном направлении; управление характеристиками осциллограмм входных сигналов измерительных каналов 1 и 2 в вертикальном направлении.

При включении питания комплекса осциллограф-характериограф автоматически переключается в режим осциллографа для визуализации формы сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$. В центральной части экрана отображается масштабная сетка, в правой части – функциональное назначение кнопок управления меню режимов работы.

При нажатии кнопки «Старт» на экране осциллографа появляется изображение осциллограммы. Если сигналы $u_1(t)$ и $u_2(t)$ не поданы, формируется изображение горизонтальных линий. Положение нулевой линии осциллограммы измерительного канала 1 (его в дальнейшем будем называть «верхним») отмечено курсором «1 —►», канала 2 (его будем называть «нижним»)– курсором «2 —►». При совпадении курсоров один из них не отображается. Положение курсоров и, соответственно, нулевых линий, можно изменить энкодерами, рядом с которыми изображены символы перемещения по вертикали.

В нижней части экрана отображаются выбранные параметр развертки (с/деление), и диапазоны чувствительности (В/деление) измерительных каналов 1 и 2. Изменение параметра развертки осуществляется энкодером « с/деление », параметров чувствительности каналов 1 и 2 – энкодерами «••• В/деление » (возможные значения – 0,02, 0,05, 0,1, 1, 2, 5 и 10 В/деление), а энкодер, обозначенный символом «◄► », обеспечивает синхронное перемещение осциллограмм 1 и 2 каналов в горизонтальном направлении. Величина смещения определяет интервал времени, отсчитываемый от момента начала развертки, после которого изображение сигналов будет выводиться на экран осциллографа. Величина этого интервала отображается в верхней строке на экране осциллографа. При изменении параметра развертки величина смещения всегда становится равной 0. Это – минимальное значение смещения. Вращение ручки энкодера «◄► » вправо приводит к увеличению значения смещения и визуальному перемещению осциллограммы на экране влево. Максимальное значение смещение равно периоду колебаний (или периоду следования импульсных сигналов).

Внимание! Для правильного отображения осциллограмм необходимо выбрать источник синхронизации – генератор импульсов G1 или генератор гармонических сигналов



G2. Источник сигнала выбирается нажатием кнопки, рядом с которой высвечивается надпись «Запуск G2» (или «Запуск G1»). При нажатии этой кнопки источник синхронизации будет циклически изменяться.

Внимание! Если при выбранном параметре развертки не удается отобразить зависимости $u_1(t)$ и $u_2(t)$ с достаточным временным разрешением, они отображаются в виде двух линий минимального и максимального значений этих сигналов, промежуток между которыми заштрихован.

Нажатием кнопки, рядом с которой высвечивается надпись «Канал 1 AC» (или «Канал 1 DC»), можно циклически менять режим регистрации осциллограммы в 1 канале. Возможна регистрация сигнала через так называемый «открытый вход», когда на экране отображается постоянная составляющая сигнала (DC – аббревиатура «Direct Current» – постоянный ток). Сигнал может также регистрироваться через «закрытый вход», когда прохождение постоянной составляющей сигнала блокируется разделительным конденсатором (AC – аббревиатура «Alternating Current» – переменный ток). Таким же способом можно выбрать режим регистрации осциллограммы во втором канале, нажимая кнопку рядом с надписью «Канал 2 AC» (или «Канал 2 DC»).

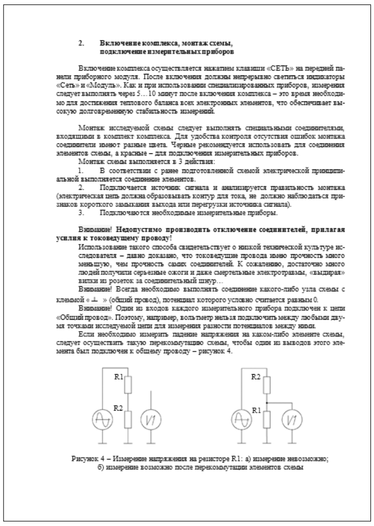
При нажатии кнопки «Стоп» на экране отображаются последние зарегистрированные осциллограммы сигналов обоих каналов.

Входы вольтметров, фазометра и измерительных каналов осциллографа расположены на правой панели измерительного модуля (рисунок 2) и снабжены пиктограммами:

V1	V2	A φ B		
Вольтметр V1	Вольтметр V2	Фазометр	Измерительный канал 1 осциллографа	Измерительный канал 2 осциллографа

Такие же пиктограммы изображены на передней панели приборного модуля.

Наборное поле содержит элементы, необходимые для сборки электрических цепей. К каждому их выводу подключен один или несколько разъемов для подключения соединительных проводов. На панели указаны значения сопротивлений (при отсутствии единицы измерения – Ом), емкости конденсаторов (при отсутствии единицы измерения – мкФ) и параметры катушек индуктивностей (собственная индуктивность, мГн и величина активного сопротивления обмоточного провода, Ом). Переменный резистор обеспечивает плавное изменение величины сопротивления в пределах, указанных рядом с его регулировочной ручкой. При вращении ручки по часовой стрелке величина сопротивления увеличивается.



2. Включение комплекса, монтаж схемы, подключение измерительных приборов

Включение комплекса осуществляется нажатием клавиши «СЕТЬ» на передней панели приборного модуля. После включения должны непрерывно светиться индикаторы «Сеть» и «Модуль». Как и при использовании специализированных приборов, измерения следует выполнять через 5…10 минут после включения комплекса – это время необходимо для достижения теплового баланса всех электронных элементов, что обеспечивает высокую долговременную стабильность измерений.

Монтаж исследуемой схемы следует выполнять специальными соединителями, входящими в комплект комплекса. Для удобства контроля отсутствия ошибок монтажа соединители имеют разные цвета. Черные рекомендуется использовать для соединения элементов схемы, а красные – для подключения измерительных приборов.

Монтаж схемы выполняется в 3 действия:

1. В соответствии с ранее подготовленной схемой электрической принципиальной выполняется соединение элементов.
2. Подключается источник сигнала и анализируется правильность монтажа (электрическая цепь должна образовывать контур для тока, не должно наблюдаться признаков короткого замыкания выхода или перегрузки источника сигнала).
3. Подключаются необходимые измерительные приборы.

Внимание! **Недопустимо производить отключение соединителей, прилагая усилия к токоведущему проводу!**

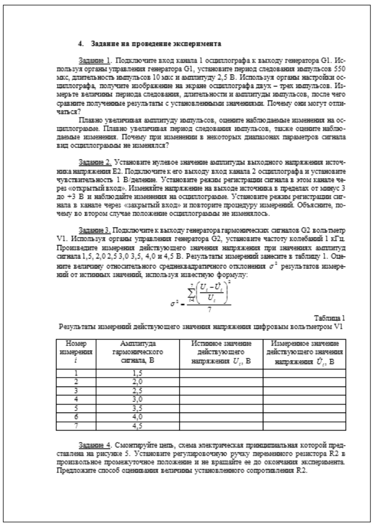
Использование такого способа свидетельствует о низкой технической культуре исследователя – давно доказано, что токоведущие провода имею прочность много меньшую, чем прочность самих соединителей. К сожалению, достаточно много людей получили серьезные ожоги и даже смертельные электротравмы, «выдирая» вилки из розеток за соединительный шнур…

Внимание! Всегда необходимо выполнять соединение какого-либо узла схемы с клеммой « ⊥ » (общий провод), потенциал которого условно считается равным 0.

Внимание! Один из входов каждого измерительного прибора подключен к цепи «Общий провод». Поэтому, например, вольтметр нельзя подключить между любыми двумя точками исследуемой цепи для измерения разности потенциалов между ними.

Если необходимо измерить падение напряжения на каком-либо элементе схемы, следует осуществить такую перекоммутацию схемы, чтобы один из выводов этого элемента был подключен к общему проводу – рисунок 4.

Рисунок 4 – Измерение напряжения на резисторе R1: а) измерение невозможно; б) измерение возможно после перекоммутации элементов схемы



4. Задание на проведение эксперимента

Задание 1. Подключите вход канала 1 осциллографа к выходу генератора G1. Используя органы управления генератора G1, установите период следования импульсов 550 мкс, длительность импульсов 10 мкс и амплитуду 2,5 В. Используя органы настройки осциллографа, получите изображение на экране осциллографа двух – трех импульсов. Измерьте величины периода следования, длительности и амплитуды импульсов, после чего сравните полученные результаты с установленными значениями. Почему они могут отличаться?

Плавно увеличивая амплитуду импульсов, оцените наблюдаемые изменения на осциллограмме. Плавно увеличивая период следования импульсов, также оцените наблюдаемые изменения. Почему при изменении в некоторых диапазонах параметров сигнала вид осциллограммы не изменялся?

Задание 2. Установите нулевое значение амплитуды выходного напряжения источника напряжения E2. Подключите к его выходу вход канала 2 осциллографа и установите чувствительность 1 В/деление. Установите режим регистрации сигнала в этом канале через «открытый вход». Изменяйте напряжение на выходе источника в пределах от минус 3 до +3 В и наблюдайте изменения на осциллограмме. Установите режим регистрации сигнала в канале через «закрытый вход» и повторите процедуру измерений. Объясните, почему во втором случае положение осциллограммы не изменялось.

Задание 3. Подключите к выходу генератора гармонических сигналов G2 вольтметр V1. Используя органы управления генератора G2, установите частоту колебаний 1 кГц. Произведите измерения действующего значения напряжения при значениях амплитуд сигнала 1,5, 2,0 2,5 3,0 3,5, 4,0 и 4,5 В. Результаты измерений занесите в таблицу 1. Оцените величину относительного среднеквадратичного отклонения σ^2 результатов измерений от истинных значений, используя известную формулу:

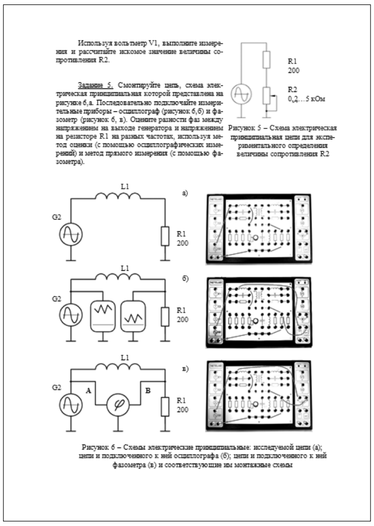
$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{7}\left(\frac{U_i - \hat{U}_i}{U_i}\right)^2}{7}$$

Таблица 1

Результаты измерений действующего значения напряжения цифровым вольтметром V1

Номер измерения i	Амплитуда гармонического сигнала, В	Истинное значение действующего напряжения U_i, В	Измеренное значение действующего значения напряжения $\hat{U}_i$, В
1	1,5		
2	2,0		
3	2,5		
4	3,0		
5	3,5		
6	4,0		
7	4,5		

Задание 4. Смонтируйте цепь, схема электрическая принципиальная которой представлена на рисунке 5. Установите регулировочную ручку переменного резистора R2 в произвольное промежуточное положение и не вращайте ее до окончания эксперимента. Предложите способ оценивания величины установленного сопротивления R2.



Используя вольтметр V1, выполните измерения и рассчитайте искомое значение величины сопротивления R2.

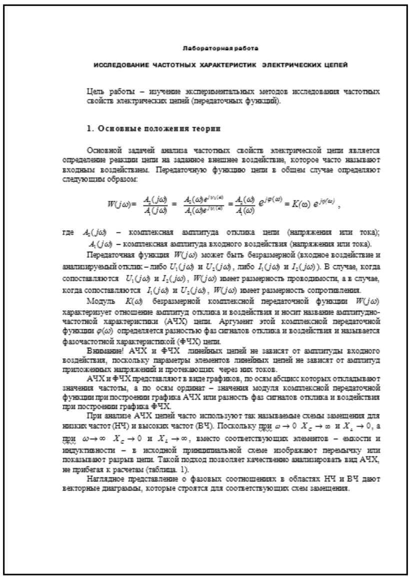
Задание 5. Смонтируйте цепь, схема электрическая принципиальная которой представлена на рисунке 6,а. Последовательно подключайте измерительные приборы – осциллограф (рисунок 6,б) и фазометр (рисунок 6, в). Оцените разности фаз между напряжением на выходе генератора и напряжением на резисторе R1 на разных частотах, используя метод оценки (с помощью осциллографических измерений) и метод прямого измерения (с помощью фазометра).

Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная цепи для экспериментального определения величины сопротивления R2

Рисунок 6 – Схемы электрические принципиальные: исследуемой цепи (а); цепи и подключенного к ней осциллографа (б); цепи и подключенного к ней фазометра (в) и соответствующие им монтажные схемы

Procedural guidelines

Laboratory work
«Researches of frequency response of electrical curcuits»



Лабораторная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Цель работы – изучение экспериментальных методов исследования частотных свойств электрических цепей (передаточных функций).

1. Основные положения теории

Основной задачей анализа частотных свойств электрической цепи является определение реакции цепи на заданное внешнее воздействие, которое часто называют входным воздействием. Передаточную функцию цепи в общем случае определяют следующим образом:

$$W(j\omega)=\frac{A_2(j\omega)}{A_1(j\omega)}=\frac{A_2(\omega)e^{j\psi_2(\omega)}}{A_1(\omega)e^{j\psi_1(\omega)}}=\frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)}\,e^{j\varphi(\omega)}=K(\omega)\,e^{j\varphi(\omega)},$$

где $A_2(j\omega)$ – комплексная амплитуда отклика цепи (напряжения или тока); $A_1(j\omega)$ – комплексная амплитуда входного воздействия (напряжения или тока).

Передаточная функция $W(j\omega)$ может быть безразмерной (входное воздействие и анализируемый отклик – либо $U_1(j\omega)$ и $U_2(j\omega)$, либо $I_1(j\omega)$ и $I_2(j\omega)$). В случае, когда сопоставляются $U_1(j\omega)$ и $I_2(j\omega)$, $W(j\omega)$ имеет размерность проводимости, а в случае, когда сопоставляются $I_1(j\omega)$ и $U_2(j\omega)$, $W(j\omega)$ имеет размерность сопротивления.

Модуль $K(\omega)$ безразмерной комплексной передаточной функции $W(j\omega)$ характеризует отношение амплитуд отклика и воздействия и носит название амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) цепи. Аргумент этой комплексной передаточной функции $\varphi(\omega)$ определяется разностью фаз сигналов отклика и воздействия и называется фазочастотной характеристикой (ФЧХ) цепи.

Внимание! АЧХ и ФЧХ линейных цепей не зависят от амплитуды входного воздействия, поскольку параметры элементов линейных цепей не зависят от амплитуд приложенных напряжений и протекающих через них токов.

АЧХ и ФЧХ представляют в виде графиков, по осям абсцисс которых откладывают значения частоты, а по осям ординат – значения модуля комплексной передаточной функции при построении графика АЧХ или разность фаз сигналов отклика и воздействия при построении графика ФЧХ.

При анализе АЧХ цепей часто используют так называемые схемы замещения для низких частот (НЧ) и высоких частот (ВЧ). Поскольку при $\omega\to 0$ $X_C\to\infty$ и $X_L\to 0$, а при $\omega\to\infty$ $X_C\to 0$ и $X_L\to\infty$, вместо соответствующих элементов – емкости и индуктивности – в исходной принципиальной схеме изображают перемычку или показывают разрыв цепи. Такой подход позволяет качественно анализировать вид АЧХ, не прибегая к расчетам (таблица. 1).

Наглядное представление о фазовых соотношениях в областях НЧ и ВЧ дают векторные диаграммы, которые строятся для соответствующих схем замещения.

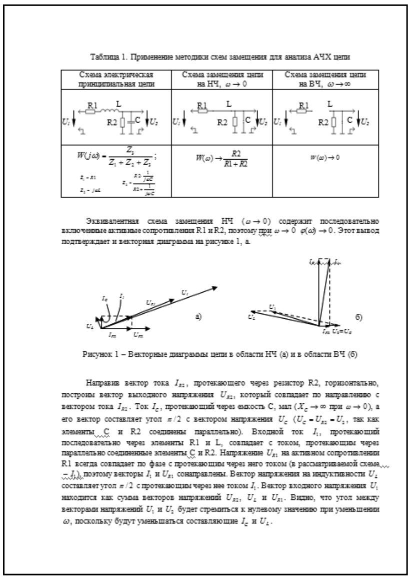


Таблица 1. Применение методики схем замещения для анализа АЧХ цепи

Схема электрическая принципиальная цепи	Схема замещения цепи на НЧ, $\omega\to 0$	Схема замещения цепи на ВЧ, $\omega\to\infty$
$W(j\omega)=\frac{Z_3}{Z_1+Z_2+Z_3}$; $Z_1=R1$ $Z_2=j\omega L$ $Z_3=\frac{R2\cdot\frac{1}{j\omega C}}{R2+\frac{1}{j\omega C}}$	$W(\omega)\to\frac{R2}{R1+R2}$	$W(\omega)\to 0$

Эквивалентная схема замещения НЧ ($\omega\to 0$) содержит последовательно включенные активные сопротивления R1 и R2, поэтому при $\omega\to 0$ $\varphi(\omega)\to 0$. Этот вывод подтверждает и векторная диаграмма на рисунке 1, а.

Рисунок 1 – Векторные диаграммы цепи в области НЧ (а) и в области ВЧ (б)

Направив вектор тока I_{R2}, протекающего через резистор R2, горизонтально, построим вектор выходного напряжения U_{R2}, который совпадает по направлению с вектором тока I_{R2}. Ток I_C, протекающий через емкость C, мал ($X_C\to\infty$ при $\omega\to 0$), а его вектор составляет угол $\pi/2$ с вектором напряжения U_C ($U_C=U_{R2}=U_2$, так как элементы C и R2 соединены параллельно). Входной ток I_1, протекающий последовательно через элементы R1 и L, совпадает с током, протекающим через параллельно соединенные элементы C и R2. Напряжение U_{R1} на активном сопротивлении R1 всегда совпадает по фазе с протекающим через него током (в рассматриваемой схеме – I_1), поэтому векторы I_1 и U_{R1} сонаправлены. Вектор напряжения на индуктивности U_L составляет угол $\pi/2$ с протекающим через нее током I_1. Вектор входного напряжения U_1 находится как сумма векторов напряжений U_{R2}, U_L и U_{R1}. Видно, что угол между векторами напряжений U_1 и U_2 будет стремиться к нулевому значению при уменьшении ω, поскольку будут уменьшаться составляющие I_C и U_L.

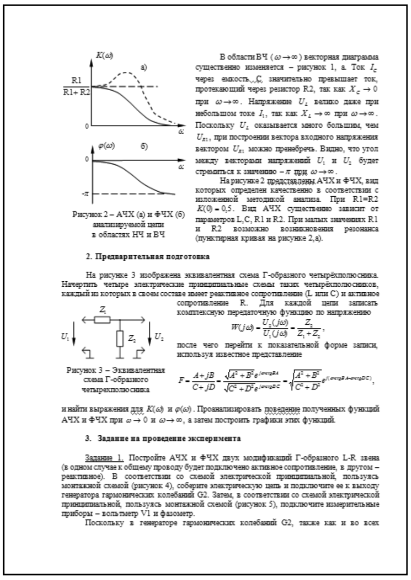


Рисунок 2 – АЧХ (а) и ФЧХ (б) анализируемой цепи в областях НЧ и ВЧ

В области ВЧ ($\omega\to\infty$) векторная диаграмма существенно изменяется – рисунок 1, а. Ток I_C через емкость C значительно превышает ток, протекающий через резистор R2, так как $X_C\to 0$ при $\omega\to\infty$. Напряжение U_L велико даже при небольшом токе I_1, так как $X_L\to\infty$ при $\omega\to\infty$. Поскольку U_L оказывается много большим, чем U_{R1}, при построении вектора входного напряжения вектором U_{R1} можно пренебречь. Видно, что угол между векторами напряжений U_1 и U_2 будет стремиться к значению $-\pi$ при $\omega\to\infty$.

На рисунке 2 представлены АЧХ и ФЧХ, вид которых определен качественно в соответствии с изложенной методикой анализа. При R1=R2 $K(0)=0{,}5$. Вид АЧХ существенно зависит от параметров L, C, R1 и R2. При малых значениях R1 и R2 возможно возникновения резонанса (пунктирная кривая на рисунке 2,а).

2. Предварительная подготовка

На рисунке 3 изображена эквивалентная схема Г-образного четырёхполюсника. Начертить четыре электрические принципиальные схемы таких четырёхполюсников, каждый из которых в своем составе имеет реактивное сопротивление (L или C) и активное сопротивление R. Для каждой цепи записать комплексную передаточную функцию по напряжению

$$W(j\omega)=\frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)}=\frac{Z_2}{Z_1+Z_2},$$

после чего перейти к показательной форме записи, используя известное представление

$$F=\frac{A+jB}{C+jD}=\frac{\sqrt{A^2+B^2}\,e^{j\operatorname{arctg}B/A}}{\sqrt{C^2+D^2}\,e^{j\operatorname{arctg}D/C}}=\sqrt{\frac{A^2+B^2}{C^2+D^2}}\,e^{j(\operatorname{arctg}B/A-\operatorname{arctg}D/C)},$$

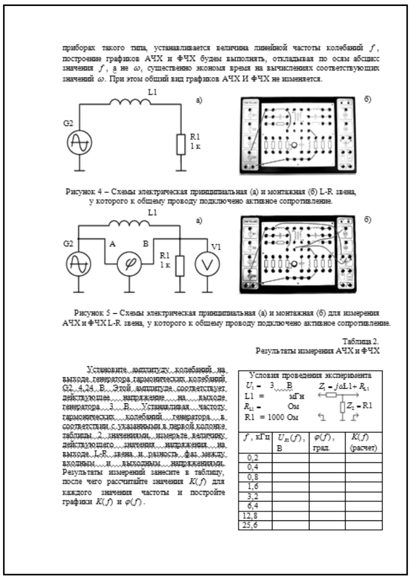
Рисунок 3 – Эквивалентная схема Г-образного четырехполюсника

и найти выражения для $K(\omega)$ и $\varphi(\omega)$. Проанализировать поведение полученных функций АЧХ и ФЧХ при $\omega\to 0$ и $\omega\to\infty$, а затем построить графики этих функций.

3. Задание на проведение эксперимента

Задание 1. Постройте АЧХ и ФЧХ двух модификаций Г-образного L-R звена (в одном случае к общему проводу будет подключено активное сопротивление, в другом – реактивное). В соответствии со схемой электрической принципиальной, пользуясь монтажной схемой (рисунок 4), соберите электрическую цепь и подключите ее к выходу генератора гармонических колебаний G2. Затем, в соответствии со схемой электрической принципиальной, пользуясь монтажной схемой (рисунок 5), подключите измерительные приборы – вольтметр V1 и фазометр.

Поскольку в генераторе гармонических колебаний G2, также как и во всех



приборах такого типа, устанавливается величина линейной частоты колебаний f, построение графиков АЧХ и ФЧХ будем выполнять, откладывая по осям абсцисс значения f, а не ω, существенно экономя время на вычислениях соответствующих значений ω. При этом общий вид графиков АЧХ И ФЧХ не изменяется.

Рисунок 4 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) L-R звена, у которого к общему проводу подключено активное сопротивление.

Рисунок 5 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) для измерения АЧХ и ФЧХ L-R звена, у которого к общему проводу подключено активное сопротивление.

Установите амплитуду колебаний на выходе генератора гармонических колебаний G2 4,24 В. Этой амплитуде соответствует действующее напряжение на выходе генератора 3 В. Устанавливая частоту гармонических колебаний генератора в соответствии с указанными в первой колонке таблицы 2 значениями, измерьте величину действующего значения напряжения на выходе L-R звена и разность фаз между входным и выходным напряжениями. Результаты измерений занесите в таблицу, после чего рассчитайте значения $K(f)$ для каждого значения частоты и постройте графики $K(f)$ и $\varphi(f)$.

Таблица 2.
Результаты измерения АЧХ и ФЧХ

Условия проведения эксперимента

$U_1=$ 3 В
L1 = мГн
$R_{L1}=$ Ом
R1 = 1000 Ом

$Z_1=j\omega L1+R_{L1}$
$Z_2=R1$

f, кГц	$U_{R1}(f)$, В	$\varphi(f)$, град.	$K(f)$ (расчет)
0,2			
0,4			
0,8			
1,6			
3,2			
6,4			
12,8			
25,6			

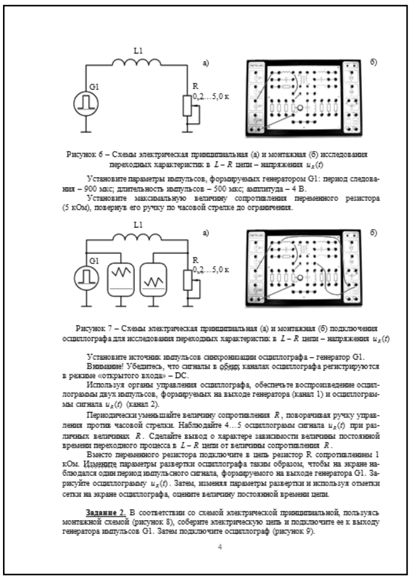


Рисунок 6 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) исследования переходных характеристик в $L-R$ цепи – напряжения $u_R(t)$

Установите параметры импульсов, формируемых генератором G1: период следования – 900 мкс; длительность импульсов – 500 мкс; амплитуда – 4 В.

Установите максимальную величину сопротивления переменного резистора (5 кОм), повернув его ручку по часовой стрелке до ограничения.

Рисунок 7 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) подключения осциллографа для исследования переходных характеристик в $L-R$ цепи – напряжения $u_R(t)$

Установите источник импульсов синхронизации осциллографа – генератор G1.

Внимание! Убедитесь, что сигналы в обеих каналах осциллографа регистрируются в режиме «открытого входа» – DC.

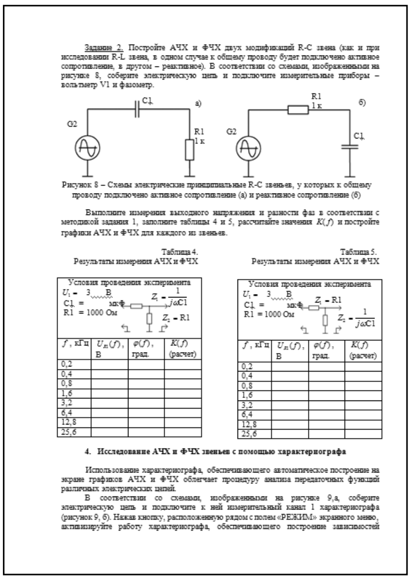
Используя органы управления осциллографа, обеспечьте воспроизведение осциллограммы двух импульсов, формируемых на выходе генератора (канал 1) и осциллограммы сигнала $u_R(t)$ (канал 2).

Периодически уменьшайте величину сопротивления R, поворачивая ручку управления против часовой стрелки. Наблюдайте 4…5 осциллограмм сигнала $u_R(t)$ при различных величинах R. Сделайте вывод о характере зависимости величины постоянной времени переходного процесса в $L-R$ цепи от величины сопротивления R.

Вместо переменного резистора подключите в цепь резистор R сопротивлением 1 кОм. Измените параметры развертки осциллографа таким образом, чтобы на экране наблюдался один период импульсного сигнала, формируемого на выходе генератора G1. Зарисуйте осциллограмму $u_R(t)$. Затем, изменяя параметры развертки и используя отметки сетки на экране осциллографа, оцените величину постоянной времени цепи.

Задание 2. В соответствии со схемой электрической принципиальной, пользуясь монтажной схемой (рисунок 8), соберите электрическую цепь и подключите ее к выходу генератора импульсов G1. Затем подключите осциллограф (рисунок 9).

4



Задание 2. Постройте АЧХ и ФЧХ двух модификаций R-C звена (как и при исследовании R-L звена, в одном случае к общему проводу будет подключено активное сопротивление, в другом – реактивное). В соответствии со схемами, изображенными на рисунке 8, соберите электрическую цепь и подключите измерительные приборы – вольтметр V1 и фазометр.

Рисунок 8 – Схемы электрические принципиальные R-C звеньев, у которых к общему проводу подключено активное сопротивление (а) и реактивное сопротивление (б)

Выполните измерения выходного напряжения и разности фаз в соответствии с методикой задания 1, заполните таблицы 4 и 5, рассчитайте значения $K(f)$ и постройте графики АЧХ и ФЧХ для каждого из звеньев.

Таблица 4.
Результаты измерения АЧХ и ФЧХ

Условия проведения эксперимента

$U_1=$ 3 В
C1 = мкФ
R1 = 1000 Ом

$Z_1=\frac{1}{j\omega C1}$
$Z_2=R1$

f, кГц	$U_{R1}(f)$, В	$\varphi(f)$, град.	$K(f)$ (расчет)
0,2			
0,4			
0,8			
1,6			
3,2			
6,4			
12,8			
25,6			

Таблица 5.
Результаты измерения АЧХ и ФЧХ

Условия проведения эксперимента

$U_1=$ 3 В
C1 = мкФ
R1 = 1000 Ом

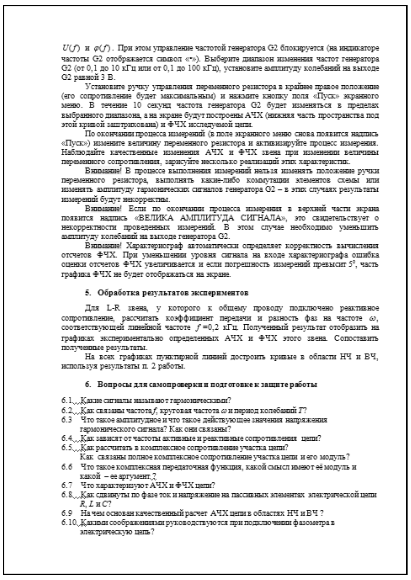
$Z_1=R1$
$Z_2=\frac{1}{j\omega C1}$

f, кГц	$U_{R1}(f)$, В	$\varphi(f)$, град.	$K(f)$ (расчет)
0,2			
0,4			
0,8			
1,6			
3,2			
6,4			
12,8			
25,6			

4. Исследование АЧХ и ФЧХ звеньев с помощью характерографа

Использование характериографа, обеспечивающего автоматическое построение на экране графиков АЧХ и ФЧХ облегчает процедуру анализа передаточных функций различных электрических цепей.

В соответствии со схемами, изображенными на рисунке 9,а, соберите электрическую цепь и подключите к ней измерительный канал 1 характериографа (рисунок 9, б). Нажав кнопку, расположенную рядом с полем «РЕЖИМ» экранного меню, активизируйте работу характериографа, обеспечивающего построение зависимостей



$U(f)$ и $\varphi(f)$. При этом управление частотой генератора G2 блокируется (на индикаторе частоты G2 отображается символ «-»). Выберите диапазон изменения частот генератора G2 (от 0,1 до 10 кГц или от 0,1 до 100 кГц), установите амплитуду колебаний на выходе G2 равной 3 В.

Установите ручку управления переменного резистора в крайнее правое положение (его сопротивление будет максимальным) и нажмите кнопку поля «Пуск» экранного меню. В течение 10 секунд частота генератора G2 будет изменяться в пределах выбранного диапазона, а на экране будут построены АЧХ (нижняя часть пространства под этой кривой заштрихована) и ФЧХ исследуемой цепи.

По окончании процесса измерений (в поле экранного меню снова появится надпись «Пуск») измените величину переменного резистора и активизируйте процесс измерения. Наблюдайте качественные изменения АЧХ и ФЧХ звена при изменении величины переменного сопротивления, зарисуйте несколько реализаций этих характеристик.

Внимание! В процессе выполнения измерений нельзя изменять положение ручки переменного резистора, выполнять какие-либо коммутации элементов схемы или изменять амплитуду гармонических сигналов генератора G2 – в этих случаях результаты измерений будут некорректны.

Внимание! Если по окончании процесса измерения в верхней части экрана появится надпись «ВЕЛИКА АМПЛИТУДА СИГНАЛА», это свидетельствует о некорректности проведенных измерений. В этом случае необходимо уменьшить амплитуду колебаний на выходе генератора G2.

Внимание! Характериограф автоматически определяет корректность вычисления отсчетов ФЧХ. При уменьшении уровня сигнала на входе характериографа ошибка оценки отсчетов ФЧХ увеличивается и если погрешность измерений превысит 5°, часть графика ФЧХ не будет отображаться на экране.

5. Обработка результатов экспериментов

Для L-R звена, у которого к общему проводу подключено реактивное сопротивление, рассчитать коэффициент передачи и разность фаз на частоте ω, соответствующей линейной частоте f=0,2 кГц. Полученный результат отобразить на графиках экспериментально определенных АЧХ и ФЧХ этого звена. Сопоставить полученные результаты.

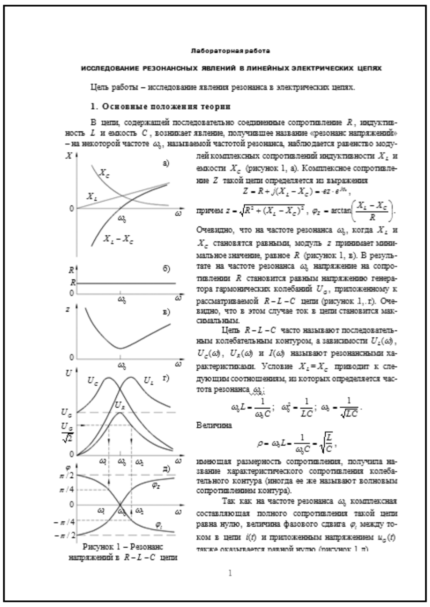
На всех графиках пунктирной линией достроить кривые в области НЧ и ВЧ, используя результаты п. 2 работы.

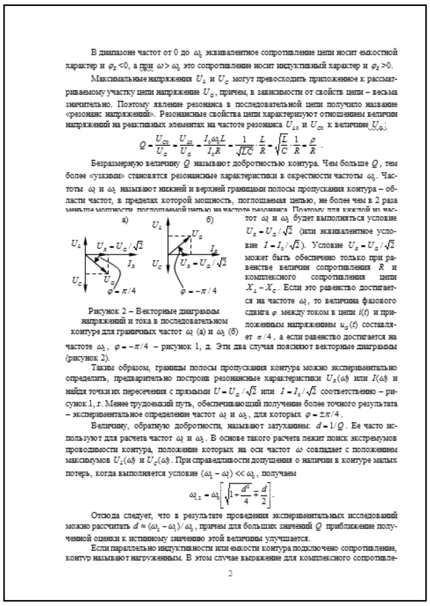
6. Вопросы для самопроверки и подготовке к защите работы

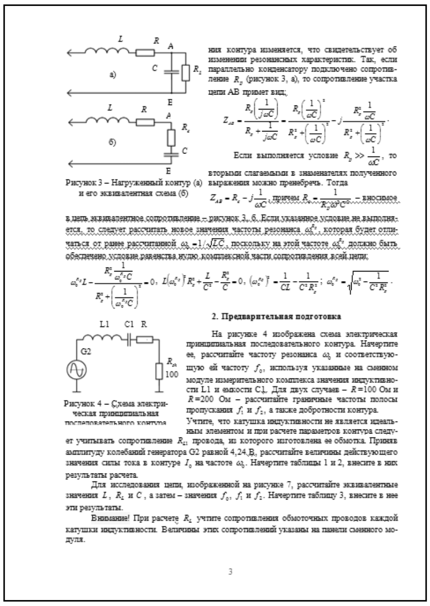
6.1. Какие сигналы называют гармоническими?
6.2. Как связаны частота f, круговая частота ω и период колебаний T?
6.3 Что такое амплитудное и что такое действующее значения напряжения гармонического сигнала? Как они связаны?
6.4. Как зависят от частоты активные и реактивные сопротивления цепи?
6.5. Как рассчитать в комплексное сопротивление участка цепи?
Как связаны полное комплексное сопротивление участка цепи и его модуль?
6.6 Что такое комплексная передаточная функция, какой смысл имеют её модуль и какой – ее аргумент.?
6.7 Что характеризуют АЧХ и ФЧХ цепи?
6.8. Как сдвинуты по фазе ток и напряжение на пассивных элементах электрической цепи R, L и C?
6.9 На чем основан качественный расчет АЧХ цепи в областях НЧ и ВЧ ?
6.10. Какими соображениями руководствуются при подключении фазометра в электрическую цепь?

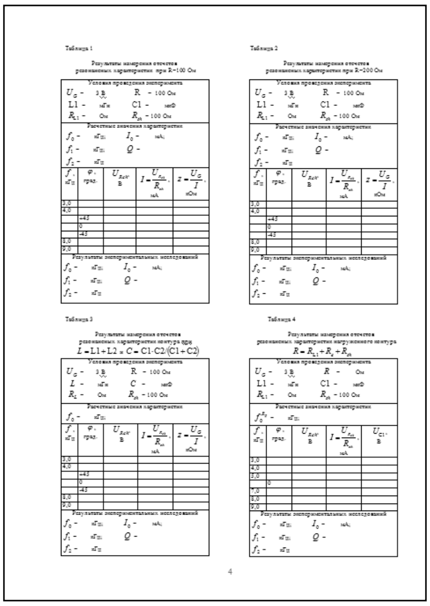
Procedural guidelines

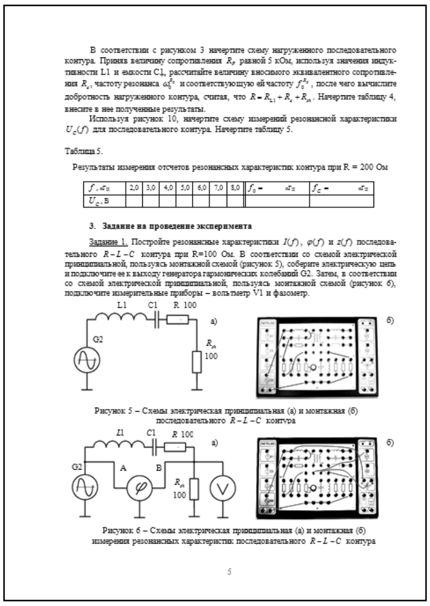
Laboratory work
«Researches of resonance phenomena in linear electric circuits»

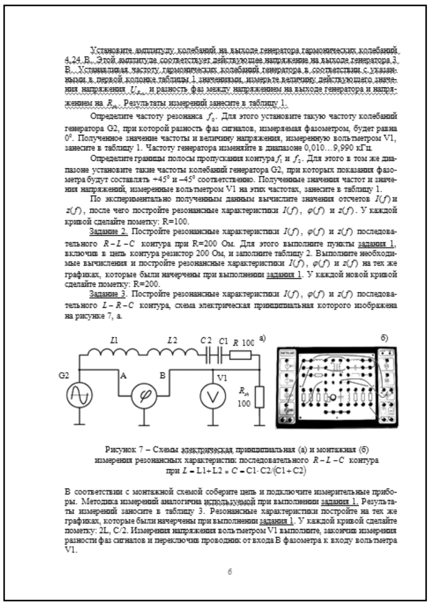


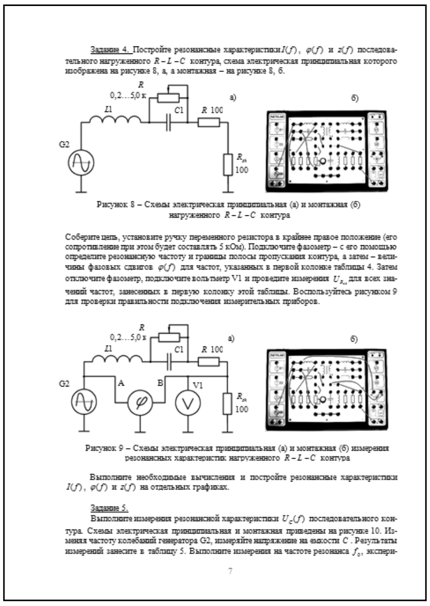


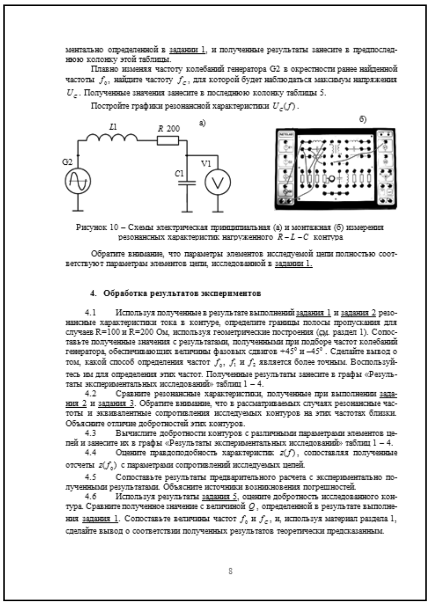


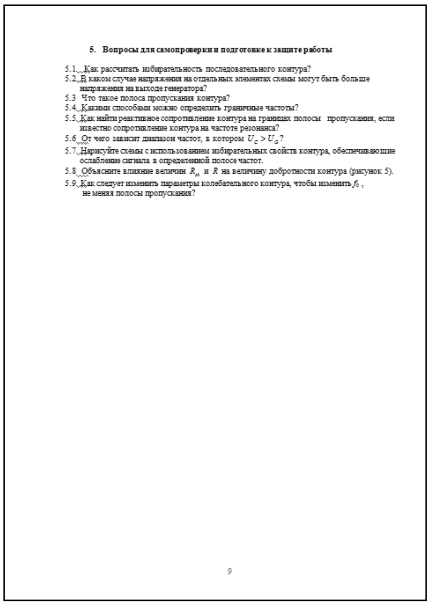




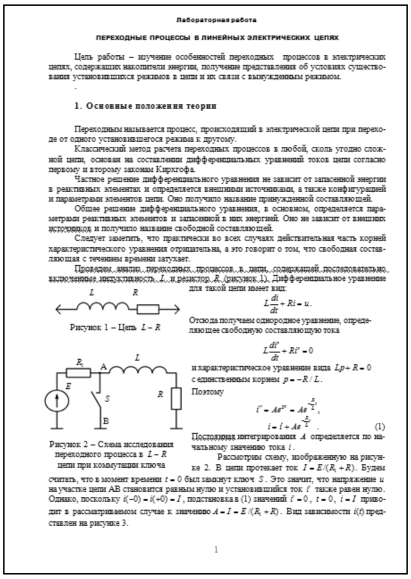








Laboratory work
«Transient processes in linear electrical circuits»



Лабораторная работа

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Цель работы – изучение особенностей переходных процессов в электрических цепях, содержащих накопители энергии, получение представления об условиях существования установившихся режимов в цепи и их связи с вынужденным режимом.

1. Основные положения теории

Переходным называется процесс, происходящий в электрической цепи при переходе от одного установившегося режима к другому.

Классический метод расчета переходных процессов в любой, сколь угодно сложной цепи, основан на составлении дифференциальных уравнений токов цепи согласно первому и второму законам Кирхгофа.

Частное решение дифференциального уравнения не зависит от запасенной энергии в реактивных элементах и определяется внешними источниками, а также конфигурацией и параметрами элементов цепи. Оно получило название принужденной составляющей.

Общее решение дифференциального уравнения, в основном, определяется параметрами реактивных элементов и запасенной в них энергией. Оно не зависит от внешних источников и получило название свободной составляющей.

Следует заметить, что практически во всех случаях действительная часть корней характеристического уравнения отрицательна, а это говорит о том, что свободная составляющая с течением времени затухает.

Проведем анализ переходных процессов в цепи, содержащей последовательно включенные индуктивность L и резистор R (рисунок 1). Дифференциальное уравнение для такой цепи имеет вид:

$$L\frac{di}{dt}+Ri=u.$$

Отсюда получаем однородное уравнение, определяющее свободную составляющую тока

$$L\frac{di''}{dt}+Ri''=0$$

и характеристическое уравнение вида $Lp+R=0$ с единственным корнем $p=-R/L$.

Поэтому

$$i''=Ae^{pt}=Ae^{-\frac{R}{L}t},$$

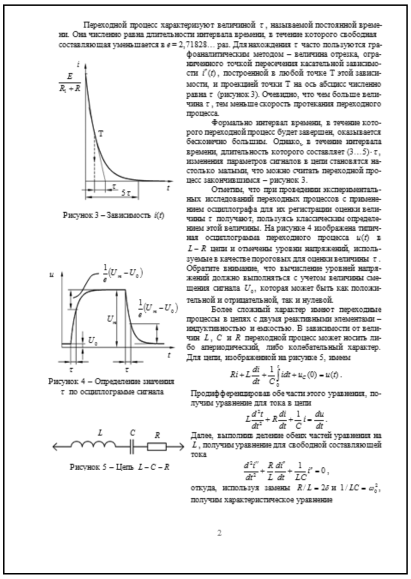
$$i=i'+Ae^{-\frac{R}{L}t}. \qquad (1)$$

Рисунок 1 – Цепь $L-R$

Рисунок 2 – Схема исследования переходного процесса в $L-R$ цепи при коммутации ключа

Постоянная интегрирования A определяется по начальному значению тока i.

Рассмотрим схему, изображенную на рисунке 2. В цепи протекает ток $I=E/(R_1+R)$. Будем считать, что в момент времени $t=0$ был замкнут ключ S. Это значит, что напряжение u на участке цепи АВ становится равным нулю и установившийся ток i' также равен нулю. Однако, поскольку $i(-0)=i(+0)=I$, подстановка в (1) значений $i'=0$, $t=0$, $i=I$ приводит в рассматриваемом случае к значению $A=I=E/(R_1+R)$. Вид зависимости $i(t)$ представлен на рисунке 3.



Переходной процесс характеризуют величиной τ, называемой постоянной времени. Она численно равна длительности интервала времени, в течение которого свободная составляющая уменьшается в $e=2{,}71828...$ раз. Для нахождения τ часто пользуются графоаналитическим методом – величина отрезка, ограниченного точкой пересечения касательной зависимости $i''(t)$, построенной в любой точке Т этой зависимости, и проекцией точки Т на ось абсцисс численно равна τ (рисунок 3). Очевидно, что чем больше величина τ, тем меньше скорость протекания переходного процесса.

Формально интервал времени, в течение которого переходной процесс будет завершен, оказывается бесконечно большим. Однако, в течение интервала времени, длительность которого составляет $(3...5)\cdot\tau$, изменения параметров сигналов в цепи становятся настолько малыми, что можно считать переходной процесс закончившимся – рисунок 3.

Отметим, что при проведении экспериментальных исследований переходных процессов с применением осциллографа для их регистрации оценки величины τ получают, пользуясь классическим определением этой величины. На рисунке 4 изображена типичная осциллограмма переходного процесса $u(t)$ в $L-R$ цепи и отмечены уровни напряжений, используемые в качестве пороговых для оценки величины τ. Обратите внимание, что вычисление уровней напряжений должно выполняться с учетом величины смещения сигнала U_0, которая может быть как положительной и отрицательной, так и нулевой.

Более сложный характер имеют переходные процессы в цепях с двумя реактивными элементами – индуктивностью и емкостью. В зависимости от величин L, C и R переходной процесс может носить либо апериодический, либо колебательный характер. Для цепи, изображенной на рисунке 5, имеем

$$Ri+L\frac{di}{dt}+\frac{1}{C}\int_0^t i\,dt+u_C(0)=u(t).$$

Продифференцировав обе части этого уравнения, получим уравнение для тока в цепи

$$L\frac{d^2t}{dt^2}+R\frac{di}{dt}+\frac{1}{C}i=\frac{du}{dt}.$$

Далее, выполнив деление обеих частей уравнения на L, получим уравнение для свободной составляющей тока

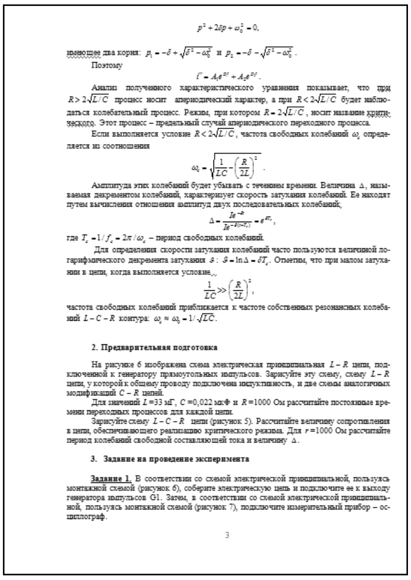
$$\frac{d^2i''}{dt^2}+\frac{R}{L}\frac{di''}{dt}+\frac{1}{LC}i''=0,$$

откуда, используя замены $R/L=2\delta$ и $1/LC=\omega_0^2$, получим характеристическое уравнение

Рисунок 3 – Зависимость $i(t)$

Рисунок 4 – Определение значения τ по осциллограмме сигнала

Рисунок 5 – Цепь $L-C-R$



$$p^2+2\delta p+\omega_0^2=0,$$

имеющее два корня: $p_1=-\delta+\sqrt{\delta^2-\omega_0^2}$ и $p_2=-\delta-\sqrt{\delta^2-\omega_0^2}$.

Поэтому

$$i''=A_1e^{p_1t}+A_2e^{p_2t}.$$

Анализ полученного характеристического уравнения показывает, что при $R>2\sqrt{L/C}$ процесс носит апериодический характер, а при $R<2\sqrt{L/C}$ будет наблюдаться колебательный процесс. Режим, при котором $R=2\sqrt{L/C}$, носит название критического. Этот процесс – предельный случай апериодического переходного процесса.

Если выполняется условие $R<2\sqrt{L/C}$, частота свободных колебаний ω_c определяется из соотношения

$$\omega_c=\sqrt{\frac{1}{LC}-\left(\frac{R}{2L}\right)^2}.$$

Амплитуда этих колебаний будет убывать с течением времени. Величина Δ, называемая декрементом колебаний, характеризует скорость затухания колебаний. Ее находят путем вычисления отношения амплитуд двух последовательных колебаний,

$$\Delta=\frac{Ie^{-\delta t}}{Ie^{-\delta(t+T_c)}}=e^{\delta T_c},$$

где $T_c=1/f_c=2\pi/\omega_c$ – период свободных колебаний.

Для определения скорости затухания колебаний часто пользуются величиной логарифмического декремента затухания ϑ: $\vartheta=\ln\Delta=\delta T_c$. Отметим, что при малом затухании в цепи, когда выполняется условие

$$\frac{1}{LC}>>\left(\frac{R}{2L}\right)^2,$$

частота свободных колебаний приближается к частоте собственных резонансных колебаний $L-C-R$ контура: $\omega_c\approx\omega_0=1/\sqrt{LC}$.

2. Предварительная подготовка

На рисунке 6 изображена схема электрическая принципиальная $L-R$ цепи, подключенной к генератору прямоугольных импульсов. Зарисуйте эту схему, схему $L-R$ цепи, у которой к общему проводу подключена индуктивность, и две схемы аналогичных модификаций $C-R$ цепей.

Для значений L=33 мГ, C=0,022 мкФ и R=1000 Ом рассчитайте постоянные времени переходных процессов для каждой цепи.

Зарисуйте схему $L-C-R$ цепи (рисунок 5). Рассчитайте величину сопротивления в цепи, обеспечивающего реализацию критического режима. Для r=1000 Ом рассчитайте период колебаний свободной составляющей тока и величину Δ.

3. Задание на проведение эксперимента

Задание 1. В соответствии со схемой электрической принципиальной, пользуясь монтажной схемой (рисунок 6), соберите электрическую цепь и подключите ее к выходу генератора импульсов G1. Затем, в соответствии со схемой электрической принципиальной, пользуясь монтажной схемой (рисунок 7), подключите измерительный прибор – осциллограф.

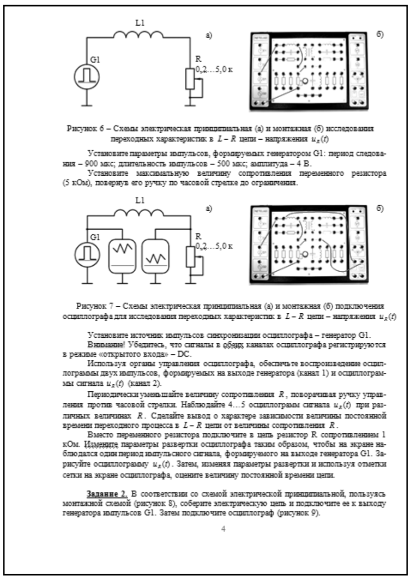


Рисунок 6 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) исследования переходных характеристик в $L-R$ цепи – напряжения $u_R(t)$

Установите параметры импульсов, формируемых генератором G1: период следования – 900 мкс; длительность импульсов – 500 мкс; амплитуда – 4 В.

Установите максимальную величину сопротивления переменного резистора (5 кОм), повернув его ручку по часовой стрелке до ограничения.

Рисунок 7 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) подключения осциллографа для исследования переходных характеристик в $L-R$ цепи – напряжения $u_R(t)$

Установите источник импульсов синхронизации осциллографа – генератор G1.

Внимание! Убедитесь, что сигналы в обеих каналах осциллографа регистрируются в режиме «открытого входа» – DC.

Используя органы управления осциллографа, обеспечьте воспроизведение осциллограммы двух импульсов, формируемых на выходе генератора (канал 1) и осциллограммы сигнала $u_R(t)$ (канал 2).

Периодически уменьшайте величину сопротивления R, поворачивая ручку управления против часовой стрелки. Наблюдайте 4…5 осциллограмм сигнала $u_R(t)$ при различных величинах R. Сделайте вывод о характере зависимости величины постоянной времени переходного процесса в $L-R$ цепи от величины сопротивления R.

Вместо переменного резистора подключите в цепь резистор R сопротивлением 1 кОм. Измените параметры развертки осциллографа таким образом, чтобы на экране наблюдался один период импульсного сигнала, формируемого на выходе генератора G1. Зарисуйте осциллограмму $u_R(t)$. Затем, изменяя параметры развертки и используя отметки сетки на экране осциллографа, оцените величину постоянной времени цепи.

Задание 2. В соответствии со схемой электрической принципиальной, пользуясь монтажной схемой (рисунок 8), соберите электрическую цепь и подключите ее к выходу генератора импульсов G1. Затем подключите осциллограф (рисунок 9).

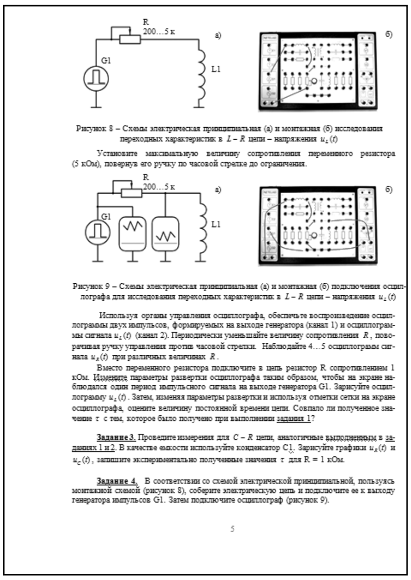


Рисунок 8 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) исследования переходных характеристик в $L-R$ цепи – напряжения $u_L(t)$

Установите максимальную величину сопротивления переменного резистора (5 кОм), повернув его ручку по часовой стрелке до ограничения.

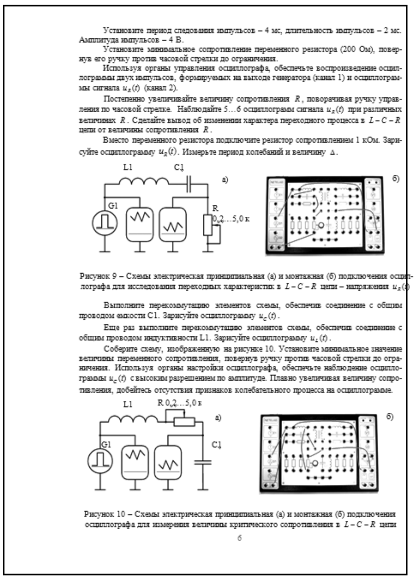
Рисунок 9 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) подключения осциллографа для исследования переходных характеристик в $L-R$ цепи – напряжения $u_L(t)$

Используя органы управления осциллографа, обеспечьте воспроизведение осциллограммы двух импульсов, формируемых на выходе генератора (канал 1) и осциллограммы сигнала $u_L(t)$ (канал 2). Периодически уменьшайте величину сопротивления R, поворачивая ручку управления против часовой стрелки. Наблюдайте 4…5 осциллограмм сигнала $u_R(t)$ при различных величинах R.

Вместо переменного резистора подключите в цепь резистор R сопротивлением 1 кОм. Измените параметры развертки осциллографа таким образом, чтобы на экране наблюдался один период импульсного сигнала на выходе генератора G1. Зарисуйте осциллограмму $u_L(t)$. Затем, изменяя параметры развертки и используя отметки сетки на экране осциллографа, оцените величину постоянной времени цепи. Совпало ли полученное значение τ с тем, которое было получено при выполнении задания 1?

Задание 3. Проведите измерения для $C-R$ цепи, аналогичные выполненным в заданиях 1 и 2. В качестве емкости используйте конденсатор С1. Зарисуйте графики $u_R(t)$ и $u_C(t)$, запишите экспериментально полученные значения τ для R = 1 кОм.

Задание 4. В соответствии со схемой электрической принципиальной, пользуясь монтажной схемой (рисунок 8), соберите электрическую цепь и подключите ее к выходу генератора импульсов G1. Затем подключите осциллограф (рисунок 9).



Установите период следования импульсов – 4 мс, длительность импульсов – 2 мс. Амплитуда импульсов – 4 В.

Установите минимальное сопротивление переменного резистора (200 Ом), повернув его ручку против часовой стрелки до ограничения.

Используя органы управления осциллографа, обеспечьте воспроизведение осциллограммы двух импульсов, формируемых на выходе генератора (канал 1) и осциллограммы сигнала $u_R(t)$ (канал 2).

Постепенно увеличивайте величину сопротивления R, поворачивая ручку управления по часовой стрелке. Наблюдайте 5…6 осциллограмм сигнала $u_R(t)$ при различных величинах R. Сделайте вывод об изменении характера переходного процесса в $L-C-R$ цепи от величины сопротивления R.

Вместо переменного резистора подключите резистор сопротивлением 1 кОм. Зарисуйте осциллограмму $u_R(t)$. Измерьте период колебаний и величину Δ.

Рисунок 9 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) подключения осциллографа для исследования переходных характеристик в $L-C-R$ цепи – напряжения $u_R(t)$

Выполните перекоммутацию элементов схемы, обеспечив соединение с общим проводом емкости С1. Зарисуйте осциллограмму $u_C(t)$.

Еще раз выполните перекоммутацию элементов схемы, обеспечив соединение с общим проводом индуктивности L1. Зарисуйте осциллограмму $u_L(t)$.

Соберите схему, изображенную на рисунке 10. Установите минимальное значение величины переменного сопротивления, повернув ручку против часовой стрелки до ограничения. Используя органы настройки осциллографа, обеспечьте наблюдение осциллограммы $u_C(t)$ с высоким разрешением по амплитуде. Плавно увеличивая величину сопротивления, добейтесь отсутствия признаков колебательного процесса на осциллограмме.

Рисунок 10 – Схемы электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) подключения осциллографа для измерения величины критического сопротивления в $L-C-R$ цепи

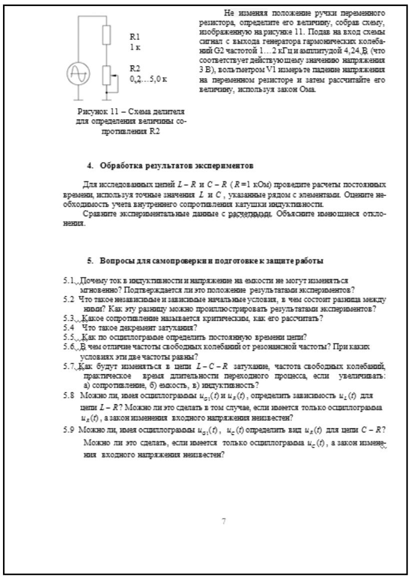


Рисунок 11 – Схема делителя для определения величины сопротивления R2

Не изменяя положение ручки переменного резистора, определите его величину, собрав схему, изображенную на рисунке 11. Подав на вход схемы сигнал с выхода генератора гармонических колебаний G2 частотой 1…2 кГц и амплитудой 4,24 В (что соответствует действующему значению напряжения 3 В), вольтметром V1 измерьте падение напряжения на переменном резисторе и затем рассчитайте его величину, используя закон Ома.

4. Обработка результатов экспериментов

Для исследованных цепей $L-R$ и $C-R$ (R=1 кОм) проведите расчеты постоянных времени, используя точные значения L и C, указанные рядом с элементами. Оцените необходимость учета внутреннего сопротивления катушки индуктивности.

Сравните экспериментальные данные с расчетными. Объясните имеющиеся отклонения.

5. Вопросы для самопроверки и подготовке к защите работы

5.1 Почему ток в индуктивности и напряжение на емкости не могут изменяться мгновенно? Подтверждается ли это положение результатами экспериментов?
5.2 Что такое независимые и зависимые начальные условия, в чем состоит разница между ними? Как эту разницу можно проиллюстрировать результатами экспериментов?
5.3 Какое сопротивление называется критическим, как его рассчитать?
5.4 Что такое декремент затухания?
5.5 Как по осциллограмме определить постоянную времени цепи?
5.6 В чем отличие частоты свободных колебаний от резонансной частоты? При каких условиях эти две частоты равны?
5.7 Как будут изменяться в цепи $L-C-R$ затухание, частота свободных колебаний, практическое время длительности переходного процесса, если увеличивать: а) сопротивление, б) емкость, в) индуктивность?
5.8 Можно ли, имея осциллограммы $u_{G1}(t)$ и $u_R(t)$, определить зависимость $u_L(t)$ для цепи $L-R$? Можно ли это сделать в том случае, если имеется только осциллограмма $u_R(t)$, а закон изменения входного напряжения неизвестен?
5.9 Можно ли, имея осциллограммы $u_{G1}(t)$, $u_C(t)$ определить вид $u_R(t)$ для цепи $C-R$? Можно ли это сделать, если имеется только осциллограмма $u_C(t)$, а закон изменения входного напряжения неизвестен?

Aprobation

- Academic department
  «Theoretical basics of electronic engineering»
  Bauman Moscow State Techical University
- ChipExpo
  Moscow, 1-3 november 1–3, 2011
- 11th All-Russian forum
  «Educational media-2009»,
  Moscow, 29 september - 2 october, 2009
- 12th All-Russian forum
  «Educational media-2010»,
  Moscow, 28 september - 1 october, 2010
- Annual magazine «Everything for education», 2011
- 2-nd Conference Education,
  Research and Development
  September, 2011, Sunny Beach, Bulgaria.
- 14th International Exposition «High technologies of
  XXI century»,
  Moscow, 24-26 april, 2013

Scientific Events 2011,
Sunny Beach Resort,
Bulgaria


Регионы
Образование.
№ 2 (11), октябрь, 2011 г.
http://obrazcity.ru

ВСЁ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ

NETELAB Лабораторный комплекс приборов для исследования характеристик электрических цепей и электронных схем

ООО "Ингениум"

www.ingeni.org


11-й Всероссийский форум
«ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА-2009»

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

ООО «ИНГЕНИУМ»

ЗА РАЗРАБОТКУ И ДЕМОНСТРАЦИЮ ПРОЕКТОВ,
НАПРАВЛЕННЫХ НА МОДЕРНИЗАЦИЮ
РОССИЙСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Руководитель
Федерального агентства
по образованию
Н.И.Булаев

29 сентября - 2 октября
Москва, Всероссийский выставочный центр


12-й Всероссийский форум
ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА-2010

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

ООО «ИНГЕНИУМ»

за активное участие и представление
инновационных образовательных технологий

Заместитель Министра образования
и науки Российской Федерации,
заместитель председателя Оргкомитета
И.М. Калина

28 сентября - 1 октября
Москва, Всероссийский выставочный центр


Министерство промышленности и торговли Российской Федерации
Департамент науки и промышленной политики г. Москвы
Московская торгово-промышленная палата

РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

ДИПЛОМ

участника выставки

ChipEXPO-2011

ИНГЕНИУМ, ООО

Генеральный директор
ЗАО "ЧипЭКСПО"
А.Биленко

Россия, Москва, Экспоцентр
1-3 Ноября
2011

Contacts

Ingenium Co. Ltd.
Business center "Don", office 305
2, Donbasskaya str., 142703, Vidnoye, Moscow region, Russia
Tel./Fax: +7 (495) 223 68 63, +7 (495) 541 88 85 (*305)

www.ingeni.org