1. Описание измерительного комплекса NETELAB	2
2. Включение комплекса, монтаж схемы, подключение измерительных приборов	10
3. Задание на проведение эксперимента	13
4. Предварительная подготовка к выполнению работы	17
5. Вопросы для самопроверки и подготовке к защите работы	18
ЛИТЕРАТУРА	19

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 Е1;
- 2. Источника постоянного напряжения Е2;
- 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 « □□□ » 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 Входы измерительных приборов

Рисунок 3 – Измерительный модуль комплекса NETELAB

Монтажное поле

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

Оглавление

4

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 от +1 до +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 от -5 до +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.

<u>Период следования импульсов</u> ( $T_{G1}$ ) 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 « |||| Период».

<u>Длительность импульсов</u> ( $\tau_{G1}$ ) 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 « •••!!! Длительность» устанавливается требуемая длительность импульсов в выбранном рабочем диапазоне.

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, равное следования импульсов  $T_{G1}$ . По этой же причине длительность импульсов, устанавливаемая энкодером «11] 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.

<u>Частота колебаний</u> ( $f_{G2}$ ) 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 « +++++ Частота» устанавливается требуемая частота колебаний в выбранном рабочем диапазоне.

<u>Амплитуда колебаний</u> ( $U_{mG2}$ ) регулируется энкодером « III 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 – таблица 1. Такие же пиктограммы изображены на передней панели приборного модуля

E1 E2 G1 G2 Источник Источник Генератор Генератор постоянного импульсных гармонических постоянного напряжения Е1 напряжения Е2 сигналов G1 сигналов G2

Таблица 1 – Пиктограммы на приборном модуле

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  $u_A(t) = U_A \sin(\omega t + \psi_A)$  и  $u_B(t) = U_B \sin(\omega t + \psi_B)$  одинаковой частоты, одновременно подаваемых соответственно на опорный (A) и измерительный (B) входы фазометра. Из формального определения разности фаз  $\varphi = \psi_B - \psi_A$  следует, что разность фаз численно равна величине аргумента гармонической функции сигнала  $u_B(t)$  в момент времени t, когда аргумент гармонической функции сигнала  $u_A(t)$  равен нулю – рисунок 4, а. Этот случай соответствует положительному значению разности фаз ( $\varphi > 0$ ) – говорят, что сигнал  $u_B(t)$  опережает по фазе сигнал  $u_A(t)$ . На рисунке 4,6 представлены графики сигналов, соответствующие случаю, когда сигнал  $u_B(t)$  отстает по фазе от сигнала  $u_A(t)$  и  $\varphi < 0$ .

Результат измерения разности фаз сигналов и его знак отображаются на цифровом индикаторе фазометра.



Рисунок 4 – Разность фаз между двумя гармоническими сигналами: а) сигнал  $u_B(t)$  опережает по фазе сигнал  $u_A(t)$ ; б) сигнал  $u_B(t)$  отстает по фазе от сигнала  $u_A(t)$ 

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

**Цифровой осциллограф-характериограф** 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 Оглавление

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 «оо 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, и 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»).

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 АС» (или «Канал 1 DС»), 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 АС» (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. Такие же пиктограммы изображены на передней панели приборного модуля.

Таблица 2 – Пиктограммы на измерительном модуле

		AL		
Вольтметр V1	Вольтметр V2	Фазометр	Измерительный канал 1 осциллографа- характериографа	Измерительный канал 2 осциллографа- характериографа

**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.

Следует помнить о различиях в используемых обозначениях на схеме электрической принципиальной и соответствующей ей эквивалентной схеме, часто просто называемой «схема электрическая» – рисунок 5.



Рисунок 5 – Схемы электрические: принципиальная (а) и эквивалентная (б)

На схеме электрической принципиальной в соответствии с ГОСТ 2.710-81 указывают позиционные обозначения элементов, состоящие из одной или нескольких букв (G, R, C, L и т.п.) и порядкового номера элемента. Назначение схемы – показать необходимые электрические соединения элементов. Рядом с позиционным обозначением элементов R, C и L указывают их номинальные значения. Сопротивление от 0 до 999 Ом указывают числом без обозначения единицы измерения, от 1 до 999 кОм – числом со строчной буквой «к», а сопротивления от 1 до 999 МОм – числом с прописной буквой «М». Емкость от 0 до 999 пФ указывают числом без обозначения единицы измерения. Большее значение емкости указывают числом, обозначающим емкость в долях микрофарад, например: 0,033 (33 нФ); 2,2 (2,2 мкФ). Величину индуктивности обозначают числом, рядом с которым проставляется единица измерения.

На эквивалентной схеме указывают токи и направления их протекания, приложенные или регистрируемые напряжения. Элементы обозначают соответствующими буквенными символами с индексами – рисунок 5, б.

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:

 В соответствии с ранее подготовленной схемой электрической принципиальной выполняется соединение элементов.

– 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).

- 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 имеют 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 нулю.

**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 6.



Рисунок 6 – Измерение напряжения на резисторе *R*<sub>1</sub>: измерение невозможно (а); измерение возможно после перекоммутации элементов схемы (б)

#### 3. Задание на проведение эксперимента

Задание 1 Подключите вход канала 1 осциллографа к выходу генератора G1. Используя органы управления генератора G1, установите период следования импульсов 10 мс, длительность импульсов 2 мс 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?

<u>Задание 2</u> 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.

<u>Задание 3</u> 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 3. Оцените величину относительного среднеквадратичного отклонения  $\sigma^2$  результатов измерений от истинных значений, используя известную формулу:

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

Номер	Амплитуда	Рассчитанное значение	Измеренное значение
измерения	гармонического	действующего	действующего значения
i	сигнала, В	напряжения $U_i$ , В	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		

Таблица 3 – Результаты измерений действующего значения напряжения вольтметром V1

<u>Задание 4</u> Смонтируйте цепь, схема электрическая принципиальная которой представлена на рисунке 7. 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.

<u>Задание 5</u> Смонтируйте цепь, схема электрическая принципиальная которой представлена на рисунке 8, а. Последовательно подключайте измерительные приборы – осциллограф (рисунок 8, б) и фазометр (рисунок 8, в).



Рисунок 7 – Схема электрическая принципиальная цепи для экспериментального определения величины сопротивления R2

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).

G2

A



B

R1 200







Рисунок 8 – Схемы электрические принципиальные: исследуемой цепи (a); цепи и подключенного к ней осциллографа (б); цепи и подключенного к ней фазометра (в) и соответствующие им монтажные схемы

Указание: Для оценки разности фаз с помощью осциллографических измерений воспользуйтесь свойством пропорции (см. рисунок 9)

$$T \to 360^{\circ}$$
$$\tau \to \varphi.$$

Используйте органы управления осциллографа для получения изображения 1 – 2 колебаний для каждого установленного значения частоты, после чего выполняйте измерения. Помните, что сигнал В отстает по



Рисунок 9 – Осциллографический метод измерения разности фаз

фазе от опорного сигнала A и в этом случае  $\varphi < 0$ , а сигнал B' опережает опорный сигнал A и  $\varphi > 0$ .

Параметры элементов *L*–*R* звена, условия проведения измерений и результаты измерений занесите в таблицу 4. Рассчитайте величину тока в цепи для различных значений частоты сигнала *f*:

$$I=\frac{U_{R_1}}{R_1}.$$

Сравните полученные значения с результатами теоретических расчетов:

$$I = \frac{U_{G2}}{Z} = \frac{U_{G2}}{\sqrt{\left(R + R_{L_1}\right)^2 + \left(2\pi f \cdot L_1\right)^2}}.$$

Сделайте вывод относительно преимуществ и недостатков каждого из методов измерений.

Таблица 4 – Результаты оценки параметров сигналов *L*–*R* звена

Условия проведения эксперимента						
	$U_{\rm G2} =$	B, $L_1 =$	мГн, $R_{L_1} =$	Ом, $R_1 =$	Ом.	
Параметр	р Средства измерений		$f$ , к $\Gamma$ ц			
	или способ расчета		1	2	4	6
$U_{R_1}$ , B	Вольтметр V1					

arphi, град	Фазометр		
	Осциллограф		
	Расчет по результатам		
<i>I</i> , мА	эксперимента		
	Теоретический расчет		

#### 4. Предварительная подготовка к выполнению работы

Предварительная подготовка включает изучение материала, выполнение необходимых расчетов, оформление отчета.

Отчет оформляется на листах писчей бумаги формата А4. Листы заполняются только с одной стороны. При заполнении выдерживаются поля: левое – 25 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее – по 20 мм. Границы полей не отображаются.

Отчет должен содержать:

- титульный лист (только на нем вычерчивается рамка);

– описание цели работы;

- конспект теоретической части;

– результаты необходимых предварительных расчетов (параметров элементов цепей, сигналов и т.п.)

- схемы электрические принципиальные всех исследуемых цепей;

– заготовки таблиц.

Все схемы, рисунки и таблицы выполняются с помощью карандаша, линейки и циркуля. Рекомендуется использовать линейки-трафареты, упрощающие вычерчивание элементов схем.

При оформлении вычислений записывается формула, в нее подставляются необходимые значения и приводится конечный результат с указанием единицы измерения. Подробные выкладки не приводятся. Пример:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 60}{30 + 60} = 20 \text{ Om}$$

Внимание! При невыполнении указанных требований, а также в случае небрежного оформления отчета студент к лабораторной работе не допускается.

### 5. Вопросы для самопроверки и подготовке к защите работы

- 5.1 Перечислите измерительные приборы, входящие в состав комплекса NETELAB.
- 5.2 Каковы особенности задания параметров импульсов генератора G1?
- 5.3 Каково назначение органов управления «смещение» и «с/деление» осциллографа?
- 5.4 Как измерить действующее значение тока в цепи с помощью приборов комплекса?
- 5.5 Какие параметры электрических сигналов могут быть определены с помощью осциллографа? Назовите основные режимы работы осциллографа.
- 5.6 Какими органами управления осциллографа можно регулировать размер изображения по вертикали?
- 5.7 Как с помощью осциллографа оценить параметры сигнала, подаваемого на его вход?
- 5.8 Для чего необходимы средства синхронизации в осциллографе?
- 5.9 Объясните понятие «Действующее значение напряжения» и приведите метод его расчета.
- 5.10 Вследствие чего действующее напряжение на выходе генератора гармонических сигналов G1, измеренное вольтметром V1 или вольтметром V2, может отличаться от значения, рассчитанного в соответствии с установленной величиной амплитуды гармонического сигнала?
- 5.11 Как определить амплитуду гармонического сигнала, используя осциллограф? Используя вольтметр?
- 5.12 Как с помощью осциллографа оценить параметры импульсного периодического сигнала?

# ЛИТЕРАТУРА

- Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс) / Дьяченко К.П., Зорин Д.И., Новицкий П.В. и др. Под ред. Е.Г. Шрамкова. – М.: Высш. школа, 1972. – 520 с.
- 2 Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи. М.: Энергия, 1978. 591 с.
- 3 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высш. школа, 1996. – 638 с.