

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
Кафедра технической эксплуатации и ремонта автомобилей

А.В. Пузаков

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Оренбург
2020

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

П 88

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Р.Х. Хасанов

Пузаков, А.В.

П 88

Анализ состояния электрических цепей переменного тока: методические указания / А.В. Пузаков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2020. – 21 с.

Методические указания содержат описание лабораторной работы и методику ее выполнения.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов при изучении дисциплины «Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования»; по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства при изучении дисциплины и «Электротехника и электрооборудование автомобилей».

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

© Пузаков А.В., 2020

© ОГУ, 2020

Содержание

1 Цель работы	4
2 Задание	4
3 Оборудование и инструмент	4
4 Порядок выполнения работы	5
4.1 Анализ последовательной цепи переменного тока	5
4.2 Анализ параллельной цепи переменного тока.....	8
5 Контрольные вопросы	13
Список использованных источников	16
Приложение А Бланк лабораторной работы	17

1 Цель работы

Приобрести практические навыки сборки последовательных, и параллельных цепей переменного тока. Получить опыт экспериментального определения параметров электрических цепей переменного тока. Убедиться в справедливости законов Ома и Кирхгофа в комплексной форме.

2 Задание

1. Собрать схему, включающую источник переменного тока, ряд последовательно соединенных элементов и контрольно-измерительные приборы.

2. Провести отладку и настройку собранной схемы таким образом, чтобы показания измерительных приборов находились в правой половине шкалы.

3. Записать показания приборов и произвести расчеты недостающих параметров.

4. Пользуясь расчетными и экспериментальными данными построить векторную диаграмму напряжений, треугольники сопротивлений и мощностей.

5. Выполнить пункты 1-3 для параллельного соединения элементов.

6. Пользуясь расчетными и экспериментальными данными построить векторную диаграмму токов, треугольники проводимостей и мощностей.

7. Сделать вывод.

3 Оборудование и инструмент

Лабораторный стенд ЛЭС-5; контрольно-измерительные приборы (амперметры, вольтметры и ваттметры), набор соединительных проводов, лабораторный автотрансформатор ЛАТР-2М.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Анализ последовательной цепи переменного тока

Последовательная цепь переменного тока состоит из резистора и катушки индуктивности, роль которой выполняет одна из фаз трансформатора. Цепь содержит один амперметр, один ваттметр и два вольтметра. Схема цепи представлена на рисунке 1.

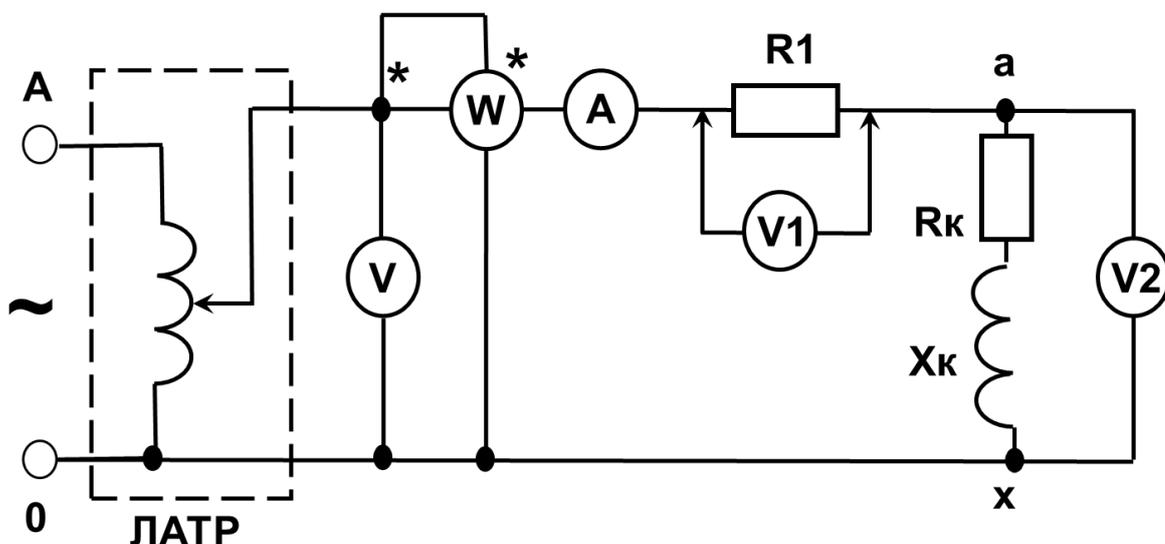


Рисунок 1 – Схема последовательной цепи

Ко входу цепи, показанной на рисунке 1, подключают регулируемый источник питания. Устанавливают входное напряжение таким образом, чтобы стрелки измерительных приборов находились в правой части измерительной шкалы и записывают показания в таблицу по форме таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты измерения параметров последовательной цепи

Весь участок			Участок с резистором		Участок с катушкой	
U	I	P	U_R	P_R	U_K	P_K
В	А	Вт	В	Вт	В	Вт

По данным таблицы 1 производится расчет недостающих параметров (активных, реактивных и полных сопротивлений элементов).

Результаты вычисления заносят в таблицу по форме таблицы 2.

Полная мощность цепи S , ВА

$$S = U \cdot I , \quad (1)$$

где U – напряжение всего участка, В;

I – ток цепи, А.

Активное сопротивление участка цепи R_i , Ом

$$R_i = P_i / I^2 , \quad (2)$$

где P_i – активная мощность i -того участка цепи, Вт.

Угол сдвига фаз участка с катушкой индуктивности и цепи в целом φ_K (φ), градусов

$$\varphi_K(\varphi) = \arccos \frac{P_K(P)}{U_K(U) \cdot I} , \quad (3)$$

где U_k – напряжение на участке с катушкой индуктивности, В.

Реактивное сопротивление участка с катушкой индуктивности X_k , Ом и цепи в целом X , Ом

$$X = X_k = \operatorname{tg} \varphi_K \cdot R_K \quad (4)$$

Полное сопротивление участка с катушкой индуктивности Z_K , Ом и цепи в целом Z , Ом

$$Z_K(Z) = \sqrt{R_k(R)^2 + X_k(X)^2} \quad (5)$$

Реактивная мощность участка с катушкой индуктивности Q_K , ВАр и цепи в целом Q , ВАр

$$Q = Q_K = X_K \cdot I^2 \quad (6)$$

Таблица 2 – Результаты вычисления параметров последовательной цепи

Весь участок							Участок с катушкой				
S	Z	R	φ	Q	X	R1	Zk	R _K	φ_K	X _K	Q _K
ВА	Ом	Ом	град	ВАр	Ом	Ом	Ом	Ом	град	Ом	ВАр

По данным таблицы 2 строят векторную диаграмму напряжений и токов последовательной цепи. Вначале в масштабе откладывают вектор напряжения на резистивном элементе, располагая его параллельно действительной оси.

Затем из конечной точки вектора напряжения на резисторе откладывают вектор напряжения на катушке индуктивности с учётом рассчитанного угла сдвига фаз (φ_K). Вектор напряжения в цепи получают путем суммирования двух вышеперечисленных векторов.

Угол сдвига фаз полученного вектора должен совпадать с ранее вычисленным (φ). Пример построения векторной диаграммы приведен на рисунке 2.

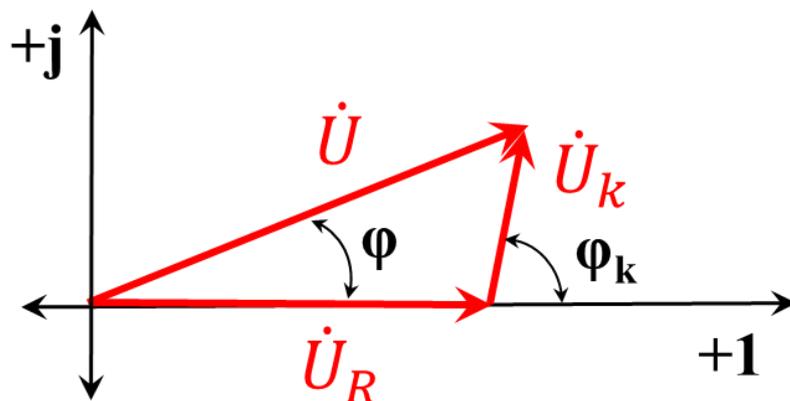


Рисунок 2 – Векторная диаграмма напряжений последовательной цепи

Аналогично производится построение треугольника сопротивлений (рисунок 3) и треугольника мощностей (рисунок 4).

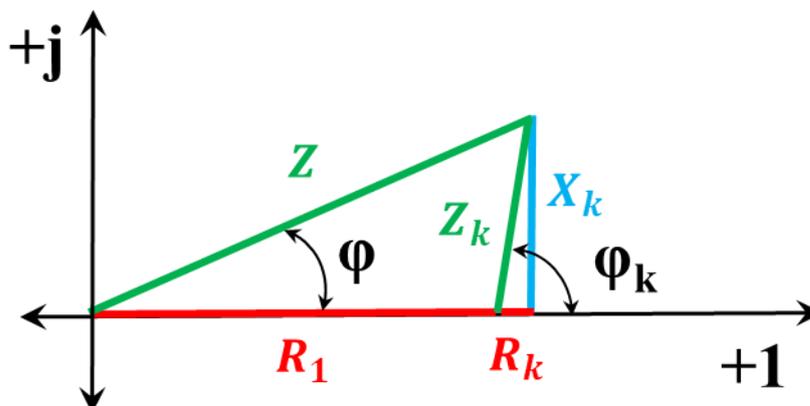


Рисунок 3 – Треугольник сопротивлений последовательной цепи

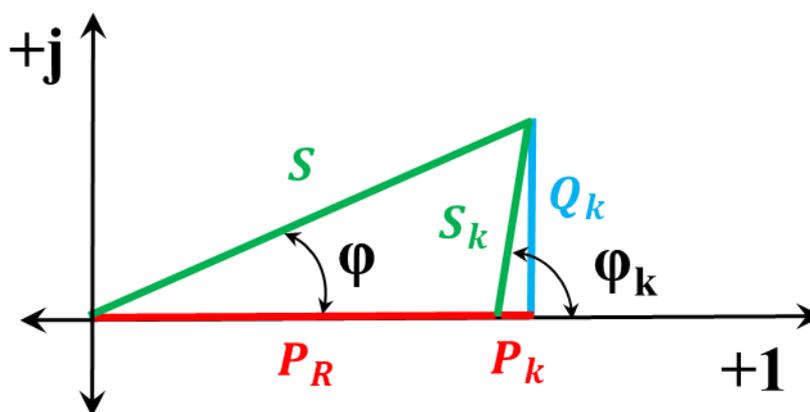


Рисунок 4 – Треугольник мощностей последовательной цепи

4.2 Анализ параллельной цепи переменного тока

Параллельная цепь переменного тока состоит из резистора, катушки индуктивности и конденсатора. Цепь содержит четыре амперметра: общий и по одному для каждой из ветвей. Кроме того, каждая из ветвей содержит ваттметр. Вольтметр общий для всей цепи. Схема цепи представлена на рисунке 5.

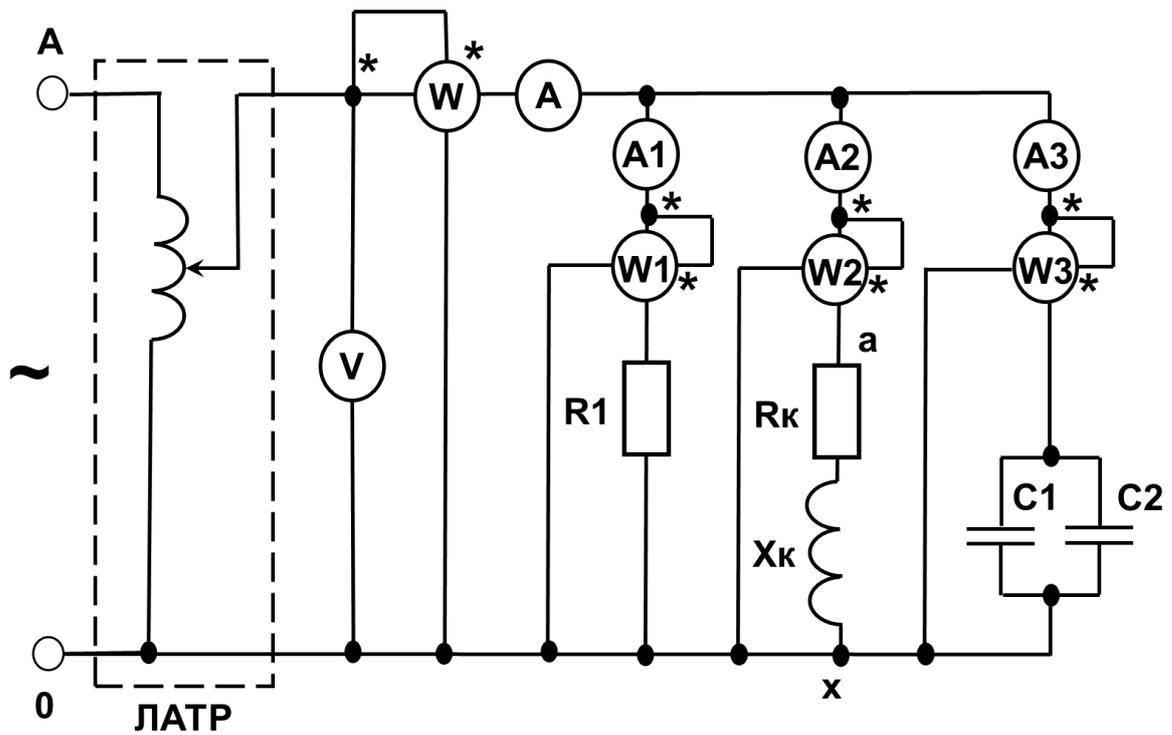


Рисунок 5 – Схема параллельной цепи

Подключение и настройка схемы выполняется аналогично пункту 4.1. Результаты измерения записывают в таблицу по форме таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты измерения параметров параллельной цепи

Весь участок			Ветвь с резистором		Ветвь с катушкой		Ветвь с конденсатором	
U	I	P	I_R	P_R	I_K	P_K	I_C	P_C
В	А	Вт	А	Вт	А	Вт	А	Вт

По данным таблицы 3 производится расчет недостающих параметров (активных, реактивных и полных проводимостей элементов). Сопротивления, угол сдвига фаз и мощности катушки индуктивности и цепи в целом рассчитываются по формулам (1) – (6). Результаты вычисления заносят в таблицу по форме таблицы 4.

Реактивное сопротивление участка с конденсатором X_C , Ом

$$X_c = U/I_c , \quad (7)$$

где I_c – сила тока ветви с конденсатором, А.

Реактивная мощность участка с конденсатором Q_c , ВАр

$$Q_c = X_c \cdot I_c^2 \quad (8)$$

Активная проводимость участка с резистором g_R , См

$$g_R = I_R/U , \quad (9)$$

где I_R – сила тока ветви с резистором, А.

Активная проводимость участка с катушкой индуктивности g_k , См

$$g_k = R_k/Z_k^2 \quad (10)$$

Активная проводимость всей цепи g_Σ , См

$$g_\Sigma = \sum g_R + g_k \quad (11)$$

Реактивная проводимость участка с катушкой индуктивностью b_k , См

$$b_k = X_k/Z_k^2 \quad (12)$$

Реактивная проводимость участка с конденсатором b_c , См

$$b_c = 1/X_c \quad (13)$$

Реактивная проводимость всей цепи b_{Σ} , См

$$b_{\Sigma} = b_k - b_c \quad (14)$$

Полная проводимость всей цепи y_{Σ} , См

$$y_{\Sigma} = \sqrt{g_{\Sigma}^2 + b_{\Sigma}^2} \quad (15)$$

Реактивная мощность всей цепи Q , ВАр

$$Q = Q_k - Q_c \quad (16)$$

Полная мощность всей цепи S , ВА

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (17)$$

Таблица 4 – Результаты вычисления параметров параллельной цепи

Ветвь с резистором		Ветвь с катушкой					
R		φ_k	R_k	X_k	Z_k	Q_k	
Ом		град	Ом	Ом	Ом	ВАр	
Ветвь с конденсатором		Вся цепь					
X_c	Q_c	φ	Z	R	X	Q	S
Ом	ВАр	град	Ом	Ом	Ом	ВАр	ВА

По данным таблицы 4 строят векторную диаграмму токов параллельной цепи. Вначале в масштабе откладывают вектор тока в резистивном элементе, располагая его параллельно действительной оси. Вектор тока в конденсаторе сдвинут относительно напряжения (и тока на

резисторе) на 90° . Вектор тока в катушке индуктивности откладывают с учётом рассчитанного угла сдвига фаз (φ_k).

Затем производят суммирование векторов. Для этого из конечной точки вектора тока в катушке индуктивности откладывают вектор тока в резисторе, а из конечной точки вектора тока в резисторе откладывают вектор тока в конденсаторе.

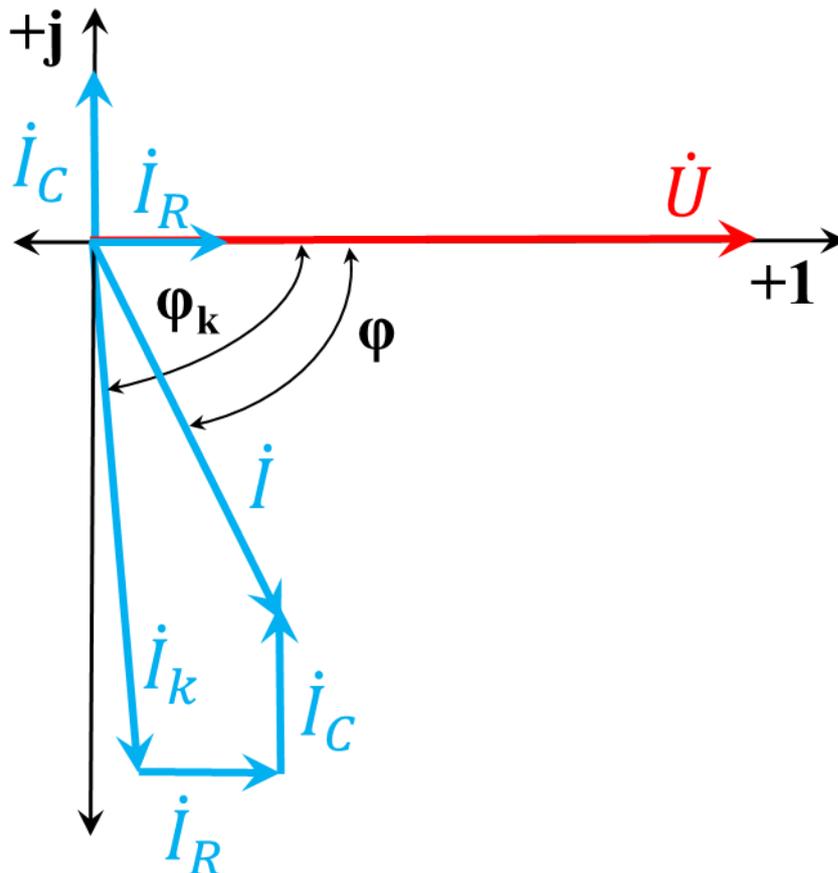


Рисунок 6 – Векторная диаграмма токов параллельной цепи

Вектор тока в неразветвленной части цепи лежит между началом координат и конечной точкой суммы векторов отдельных ветвей. Угол сдвига фаз полученного вектора должен совпадать с ранее вычисленным (φ). Пример построения векторной диаграммы приведен на рисунке 6.

Аналогично производится построение треугольника проводимостей (рисунок 7) и треугольника мощностей (рисунок 8).

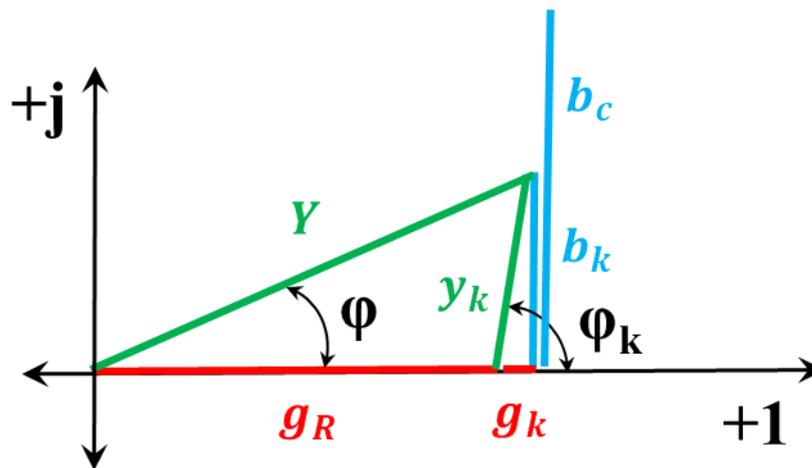


Рисунок 7 – Треугольник проводимостей параллельной цепи

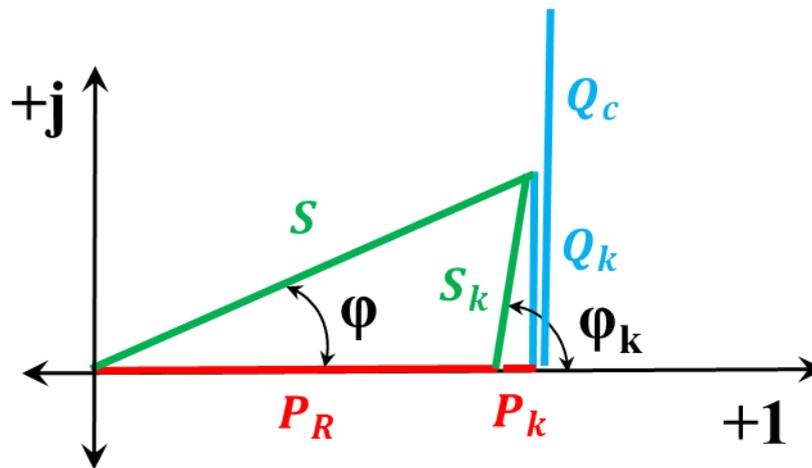


Рисунок 8 – Треугольник мощностей параллельной цепи

5 Контрольные вопросы

1. Что такое активное сопротивление?
2. Что такое коэффициент мощности?
3. Что такое индуктивное и ёмкостное сопротивление и от чего они зависят?
4. Как экспериментально определить активное, реактивное и полное сопротивление цепи?
5. При каких условиях и в каких цепях возникает резонанс напряжений?

6. Почему напряжение на катушке индуктивности при резонансе не равно напряжению на ёмкости?
7. Какую мощность потребляет цепь при резонансе?
8. Чему равно полное сопротивление цепи при резонансе?
9. Может ли напряжение на зажимах катушки или конденсатора быть больше общего напряжения, при каком условии и почему?
10. Как влияет изменение частоты синусоидального напряжения на величину реактивных сопротивлений катушки индуктивности, ёмкости и всей цепи?
11. Что можно сказать про сдвиг фаз тока относительно напряжения на зажимах активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений?
12. Что такое треугольники сопротивлений, мощности, напряжений?
13. Где используется явление резонанса?
14. Что такое реактивная мощность?
15. Чему равна реактивная мощность при резонансе?
16. Изменением каких величин можно добиться резонанса напряжений?
17. Что такое действующее и среднее значения переменного синусоидального тока?
18. Чему равен ток при резонансе?
19. Дайте объяснение энергетическим процессам, происходящим в цепи при последовательном соединении.
20. Напишите формулы для определения активной, индуктивной, ёмкостной и полной проводимостей электрической цепи.
21. Зависит ли реактивная проводимость катушки индуктивности от величины её активного сопротивления?
22. Поясните, изменится ли активная проводимость катушки при изменении её индуктивности и неизменном активном сопротивлении.
23. Дайте определение резонанса токов в электрической цепи.

24. В какой цепи и при каких условиях наступает резонанс токов?
25. Чем отличается резонанс токов от резонанса напряжений?
26. Поясните, оказывает ли влияние на потребляемую активную мощность параллельно включённая в электрическую цепь ёмкость.
27. Объясните способ повышения коэффициента мощности электрической цепи при параллельном включении ёмкости и потребителя с активно-индуктивной нагрузкой.
28. Поясните технико-экономическое значение повышения коэффициента мощности электрической цепи.

Список использованных источников

1. Касаткин, А.С. Электротехника: учеб. для студентов неэлектротехн. специальностей вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
2. Хернер, А. Автомобильная электрика и электроника /А. Хернер, Х-Ю. Риль; перевод с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2013. – 624 с.
3. Wyatt, D. Aircraft Electrical and Electronic Systems / D. Wyatt, M. Tooley. – Second Edition – NY, Routledge, 2018. – 439 p.
4. Bell, J.A. Modern Diesel Technology: Electricity & Electronics / J.A. Bell - Second Edition – NY, Delmar, 2014. – 546 p.

Приложение А (рекомендуемое)

Бланк лабораторной работы

Анализ состояния электрических цепей переменного тока

А.1 Цель работы: _____

А.2 Анализ последовательной цепи переменного тока

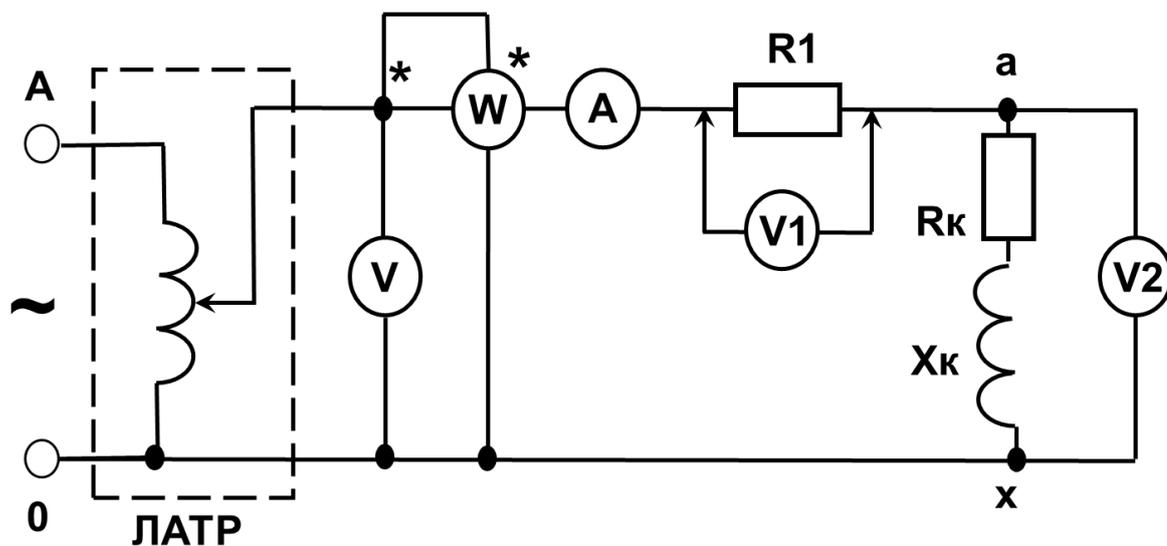


Рисунок А.1 – Схема последовательной цепи

Таблица А.1 – Результаты измерения параметров последовательной цепи

Весь участок			Участок с резистором		Участок с катушкой	
U	I	P	U_R	P_R	U_K	P_K
В	А	Вт	В	Вт	В	Вт

Таблица А.2 – Результаты вычисления параметров последовательной цепи

Весь участок							Участок с катушкой				
S	Z	R	φ	Q	X	R1	Z _k	R _k	φ_k	X _k	Q _k
В·А	Ом	Ом	град	Вар	Ом	Ом	Ом	Ом	град	Ом	Вар



Рисунок А.2 – Векторная диаграмма последовательной цепи



Рисунок А.3 – Треугольник сопротивлений

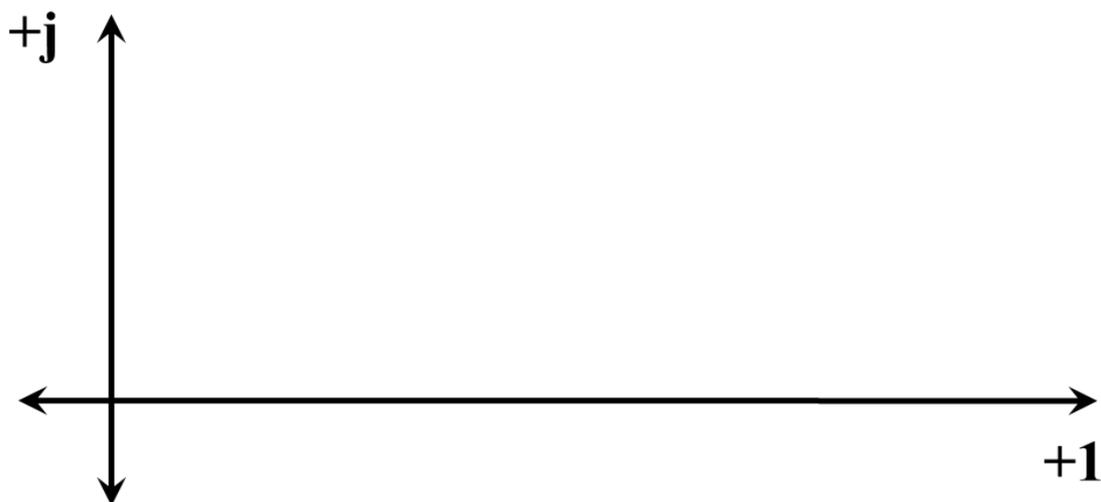


Рисунок А.4 – Треугольник мощностей

А.3 Анализ параллельной цепи переменного тока

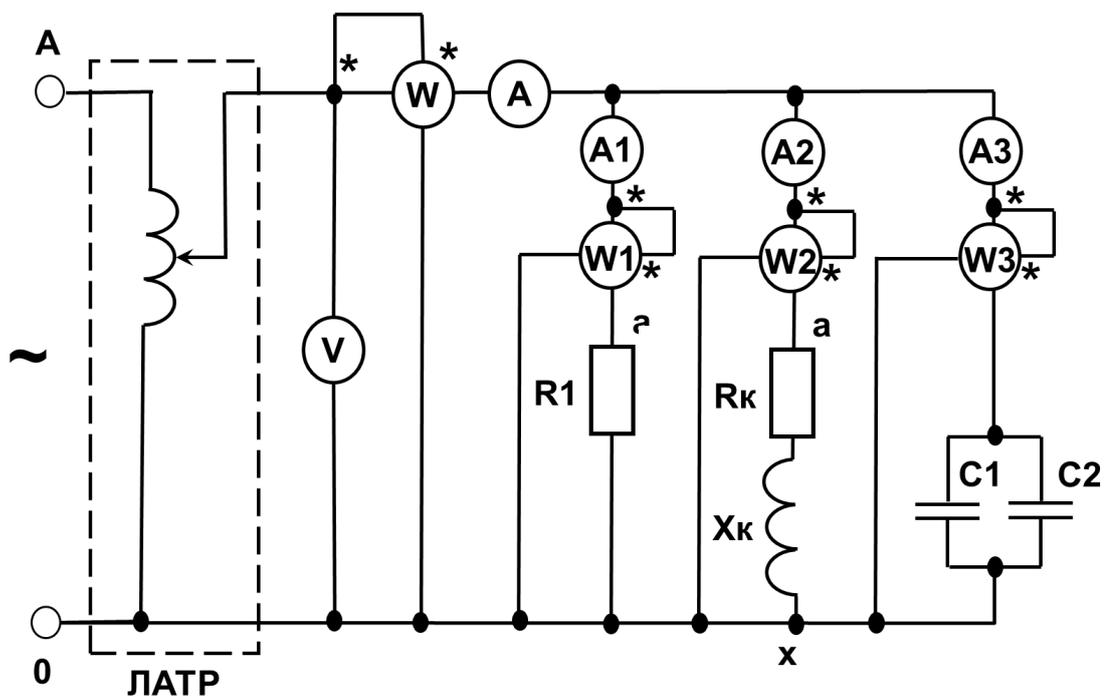


Рисунок А.5 – Схема параллельной цепи

Таблица А.3 – Результаты измерения параметров параллельной цепи

Весь участок			Ветвь с резистором		Ветвь с катушкой		Ветвь с конденсатором	
U	I	P	I_R	P_R	I_k	P_k	I_c	P_c
B	A	Bт	A	Bт	A	Bт	A	Bт

Таблица А.4 – Результаты вычисления параметров параллельной цепи

Ветвь с резистором	Ветвь с катушкой					Ветвь с конденсатором		Вся цепь					
	φ_k	R_k	X_k	Z_k	Q_k	X_c	Q_c	φ	Z	R	X	Q	S
Ом	град	Ом	Ом	Ом	вар	Ом	вар	град	Ом	Ом	Ом	вар	ВА

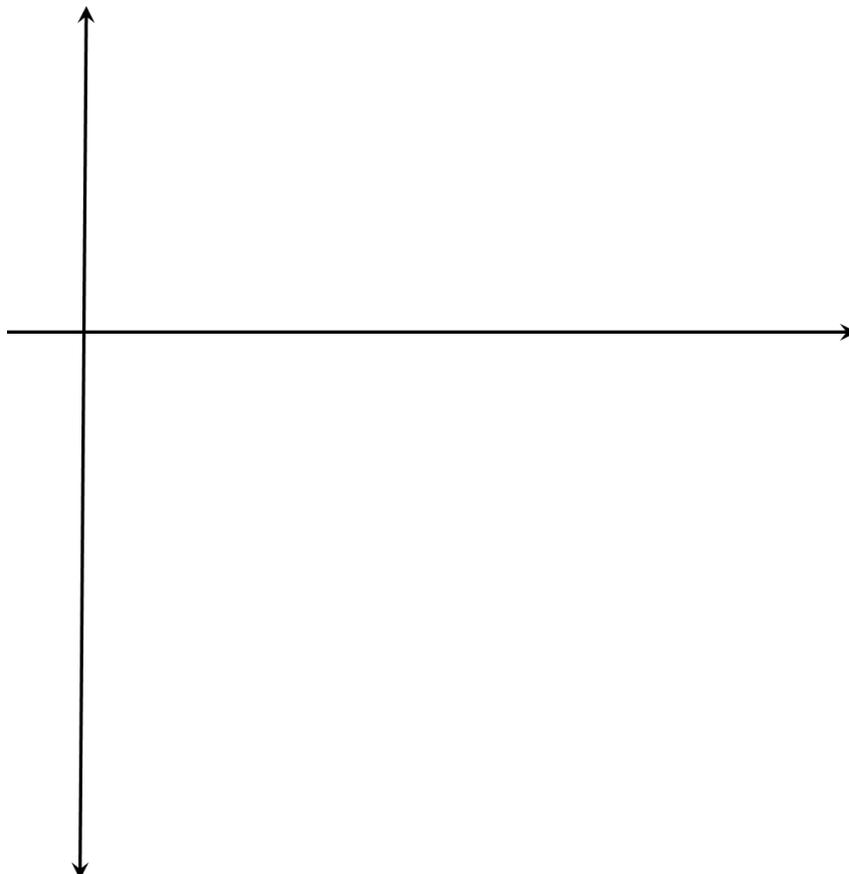


Рисунок А.6 – Векторная диаграмма параллельной цепи



Рисунок А.7 – Треугольник проводимостей



Рисунок А.8 – Треугольник мощностей

А.4 Выводы и анализ полученных результатов
