

Информация для группы 2125

Дисциплина – Электротехника.

Перечень учебно-методического обеспечения:

1. Усольцев А.А. Общая электротехника: Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 305 с. (<http://www.ets.ifmo.ru/usolzev/intmod/index.htm>).
2. Толмачев В.А., Усольцев А.А., Лукичев Д.В., Никитина М.В. Общая электротехника: Методические рекомендации по выполнению домашних заданий. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 94 с. <http://ets.ifmo.ru/textbook.list#de> (раздел Электротехника и ТОЭ, подраздел Скачать методические указания к выполнению домашних заданий, [[doc](#)] [[pdf](#)] (new) Толмачев В.А., Усольцев А.А., Лукичев Д.В., Никитина М.В. Методические рекомендации по выполнению домашних заданий).
3. Толмачев В.А., Усольцев А.А., Лукичев Д.В., Никитина М.В. Общая электротехника: Методические указания к лабораторному практикуму. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 69 с. (<http://ets.ifmo.ru/textbook.list#de> – раздел Электротехника и ТОЭ, подраздел Скачать методические указания к выполнению лабораторных работ, [[doc](#)] [[pdf](#)] (new) Толмачев В.А., Усольцев А.А., Лукичев Д.В., Никитина М.В. Методические указания к лабораторному практикуму).

Примечание: все пособия выложены на сайте www.ets.ifmo.ru в разделе «Деятельность» → «Учебный процесс» → Электротехника и ТОЭ; там же выложена программа «[\(exe.zip\)](#) Калькулятор. (zip-35Kb) Автор: А.А. Усольцев» (подраздел Скачать методические указания к выполнению домашних заданий), позволяющая решать системы линейных уравнений.

Примерный план занятий

№ нед.	Тема
Модуль 5 (1) – Электротехника. Часть 1.	
1-2	Анализ цепей постоянного тока с использованием законов Кирхгофа
2	Законы и элементы электрических цепей.
2	Анализ цепей постоянного тока методом контурных токов и методом узловых напряжений.
3-4	Анализ цепей постоянного тока методом эквивалентных преобразований.
4	Анализ цепей постоянного тока методом эквивалентного генератора. Баланс мощностей в цепях постоянного тока.
4	Переходные процессы в электрических цепях.
5-6	Лабораторные работы 1-2 «Исследование характеристик источника электрической энергии постоянного тока» и «Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях с источниками постоянного тока».
6	Анализ переходных процессов в цепях первого порядка.
7-8	Защита лабораторных работ 1-2.
Модуль 6 (2) – Электротехника. Часть 2.	
8	Синусоидальные напряжения и токи и их основные характеристики. Мощность в ЭЦ синусоидального тока.
8	Анализ цепей однофазного синусоидального тока в установившемся режиме.
9-10	Л/р 3 «Исследование явлений резонанса в линейных электрических цепях».
10	Резонанс в электрических цепях.
10	Электрические цепи трехфазного синусоидального тока.
11-12	Защита лабораторной работы 3
12	Электрические цепи несинусоидального тока
12	Анализ цепей с несинусоидальными источниками энергии
13-14	Л/р 4 «Исследование трехфазных цепей».
14	Нелинейные электрические цепи
15-16	Защита лабораторной работы 4
16	Магнитные цепи
17	Зачет

Примечание: номера разделов пособия [1] для самостоятельного изучения – 1.7.1, 1.7.5, 2.1.2, 2.1.5, 2.2.3, 2.2.4, 2.2.7, 3.1, 5.3.3, 5.3.4, 5.4.3, 6, 7, 8

Формирование итоговой оценки

Формы контроля	Баллы		Контроль-ные сроки	Примечания
	Мин	Макс		
Модуль 5 (1)				
Тест 1	2	3	03.10.14	сдается в ЦДО
Рубежный контроль (Тест 2)	6	10	31.10.14	
Контрольная работа 1	0.5	1	<i>каждое лекционное занятие</i>	0б – КР не выполнена или выполнена неверно; мин б – КР выполнена с незначительными ошибками; макс б – КР выполнена верно. Сумма баллов за все КР заносится в графу «Работа на лекции в пятом модуле»
Контрольная работа 2	0.5	1		
Контрольная работа 3	0.5	1		
Контрольная работа 4	0.5	1		
Домашнее задание 1	3	5	06.10.14	3Е – 3б; 3Д – 3.5б; 4С – 4б; 4В – 4.5б; 5А – 5б.
Домашнее задание 2	3	5	20.10.14	Если работа сдана <u>после контрольного срока</u> – мин б.
Лабораторная работа 1	3	5	21.10.14	0б – меньше 2 правильных ответов на тест защиты; 3б – 2 правильных ответа на тест защиты; 4б – 3 правильных ответа на тест защиты; 5б – 4 правильных ответа на тест защиты. Если работа защищена <u>после контрольного срока</u> – мин б.
Лабораторная работа 2	3	5	21.10.14	
Личностные качества	3	5	–	0б – если не сданы все ЛР и ДЗ модуля. При сданных всех ЛР и ДЗ модуля пересчет баллов по формуле: округление до целого $(2 \cdot X + 1) / 15$, где X – сумма баллов за модуль без личностных качеств.
ИТОГО по модулю 5 (1)	25	42		–
Модуль 6 (2)				
Тест 3	2	3	28.11.14	сдается в ЦДО
Рубежный контроль (Тест 4)	6	10	26.12.14	
Контрольная работа 5	0.5	1	<i>каждое лекционное занятие</i>	0б – КР не выполнена или выполнена неверно; мин б – КР выполнена с незначительными ошибками; макс б – КР выполнена верно. Сумма баллов за все КР заносится в графу «Работа на лекции в шестом модуле»
Контрольная работа 6	0.5	1		
Контрольная работа 7	0.5	1		
Контрольная работа 8	0.5	1		
Домашнее задание 3	2	4	03.11.14	3Е – 2б; 3Д – 2.5б; 4С – 3б; 4В – 3.5б; 5А – 4б.
Домашнее задание 4	2	4	15.12.14	Если работа сдана <u>после контрольного срока</u> – мин б.
Лабораторная работа 3	3	4	18.11.14	0б – меньше 2 правильных ответов на тест защиты; 3б – 2 правильных ответа на тест защиты; 3,5б – 3 правильных ответа на тест защиты;
Лабораторная работа 4	3	4	15.12.14	4б – 4 правильных ответа на тест защиты. Если работа защищена <u>после контрольного срока</u> – мин б.
Личностные качества	3	5	–	0б – если не сданы все ЛР и ДЗ модуля. При сданных всех ЛР и ДЗ модуля пересчет баллов по формуле: округление до целого $(2 \cdot X - 1) / 13$, где X – сумма баллов за модуль без личностных качеств.
ИТОГО по модулю 6 (2)	23	38		–
ИТОГО по мод. 5(1) и 6(2)	48	80		–
Зачет (тест 5)	12	20	26.12.14	сдается в ЦДО
ВСЕГО	60	100		–

Студенты, набравшие не менее 60 баллов, получают оценку «зачет».

Домашние задания

Перечень тем домашних заданий

Вариант всех домашних заданий назначается преподавателем и остается неизменным (см. приложение). Исходные схемы и параметры к заданиям находятся в пособии (2) перечня учебно-методического обеспечения.

ВНИМАНИЕ: из пособия (2) используем только схему и параметры к ней, а ТЕКСТ каждого домашнего задания приведен ниже. В тексте домашних заданий указываются номера страниц из пособия (2).

Домашнее задание 1 «Расчет цепей постоянного тока»

Исходная схема находится на стр.21, а параметры к ней на стр.22, (табл.1.2.1). *Необходимо:* а) скомпоновать схему согласно своему варианту; б) найти все неизвестные токи, используя законы Кирхгофа; в) найти все неизвестные токи, используя метод контурных токов или метод узловых напряжений; г) найти ток через любой источник ЭДС, используя метод эквивалентных преобразований или метод эквивалентного генератора; д) осуществить проверку, составив баланс мощностей.

Домашнее задание №2 «Расчет переходных процессов в цепях первого порядка»

Исходная схема находится на стр.33, а параметры к ней на стр.34-35 (табл.2.1.1). *Необходимо:* а) скомпоновать схему согласно своему варианту; б) найти мгновенное значение величин, указанных в табл., классическим методом расчета; в) найти мгновенное значение величин, указанных в табл., операторным методом расчета; д) представить найденные величины графиками на интервале времени $[-\tau, 4\cdot\tau]$, где τ – постоянная времени цепи. *Внимание:* в таблице в графе «Ключ при $t<0$ » указано положение ключа ДО КОММУТАЦИИ, т.е. если в графе – «З», то до коммутации ключ замкнут, в момент коммутации – размыкается, если в графе – «Р», то до коммутации ключ разомкнут, в момент коммутации – замыкается.

Домашнее задание №3 «Расчет цепей синусоидального тока»

Исходная схема находится на стр.65, а параметры к ней на стр.66 (табл.3.2.1). *Необходимо:* а) скомпоновать схему согласно своему варианту; б) найти мгновенное значение всех токов, напряжений на всех пассивных элементах и источника ЭДС методом комплексных амплитуд; в) построить векторные диаграммы для любого контура и любого узла; г) осуществить проверку, составив баланс мощностей.

Домашнее задание №4 «Расчет цепей с несинусоидальными источниками энергии»

Исходная схема находится на стр.84, а параметры к ней на стр. 75-77 и 85-86 (табл.4.1). *Необходимо:* а) скомпоновать схему согласно своему варианту; б) найти действующее и мгновенное значения величины, указанной в табл., используя **первые пять слагаемых** несинусоидального источника энергии. *Внимание:* номер варианта и номер функции разложения в ряд Фурье источника энергии НЕ СОВПАДАЮТ (за исключением некоторых вариантов).

Требования к оформлению домашних заданий

- ✓ домашняя работа должна содержать титульный лист;
- ✓ каждую новую страницу домашнего задания следует оформлять на новом листе (т.е. не должно быть листов, исписанных с двух сторон);
- ✓ домашняя работа должна содержать пункты «Дано:», «Найти:», «Решение:», «Ответ:»;
- ✓ принимаются **ТОЛЬКО** рукописные работы.

Примечание: пример оформления домашнего задания приведен в приложении 2

Критерии оценивания домашних заданий

Правильно выполненное и сданное до контрольного срока домашнее задание оценивается в **макс баллов**.

Основания для снижения количества баллов в пределах от **макс** до **мин**: небрежное выполнение, нарушение требований к оформлению домашнего задания, низкое качество графического материала, несвоевременность сдачи домашнего задания.

Домашнее задание не может быть принято и подлежит доработке в случае: отсутствия необходимых разделов и/или графического материала, неверного решения, выполнения задания не своего варианта.

Лабораторные работы

Перечень лабораторных работ

Порядок выполнения лабораторных работ описан в пособии (3) перечня учебно-методического обеспечения.

Лабораторная работа №1. Исследование характеристик источника электрической энергии постоянного тока.

Лабораторная работа №2. Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях с источниками постоянного тока.

Лабораторная работа №3. Исследование явлений резонанса в линейных электрических цепях.

Лабораторная работа №4. Исследование трехфазных цепей.

Требования к оформлению отчетов по лабораторным работам

- ✓ отчет по лабораторной работе должен содержать титульный лист;
- ✓ каждую новую страницу отчета следует оформлять на новом листе (т.е. не должно быть листов, исписанных с двух сторон);
- ✓ отчет должен содержать все позиции, предусмотренные пунктом «Содержание отчета»;
- ✓ весь графический материал отчета должен быть выполнен с обязательной оцифровкой и обозначением осей;
- ✓ принимаются **ТОЛЬКО** рукописные отчеты;
- ✓ к отчету обязательно должен быть приложен лист измерений.

Примечание: листы измерений (черновики) ко всем лабораторным работам представлены в приложении 3, примеры отчетов к лабораторным работам приведены в приложениях 4.1-4.4

Защита лабораторных работ

К защите допускаются студенты, выполнившие лабораторную работу и представившие отчет по ней. Отчет не может быть принят и подлежит доработке и последующей защите в случае несоответствия всем требованиям к оформлению отчета по лабораторным работам.

Защита лабораторных работ проходит в форме письменного тестирования (4 вопроса по каждой лабораторной работе).

В случае если оформление отчета соответствует всем требованиям к оформлению отчетов по лабораторным работам и студентом даны правильные ответы на все вопросы теста, студент получает **макс** баллов.

Основания для снижения количества баллов за защиту отчета в пределах от **макс** до **мин**: небрежное выполнение, низкое качество графического материала, несвоевременность защиты, неверные ответы на один или два вопроса теста.

В случае если студентом дано меньше двух правильных ответов на вопросы теста, защита лабораторной работы оценивается в **0** баллов и студенту предстоит последующая устная защита в консультационные часы.

Контрольные работы

Перечень тем контрольных работ

КР 1 – Свойства элементов электрических цепей (разделы 1.3, 1.4 пособия [1]).

КР 2 – Законы Ома и Кирхгофа (раздел 1.5 пособия [1]).

КР 3 – Переходные процессы в цепях первого порядка (разделы 5.1-5.4 пособия [1]).

КР 4 – Переходные процессы в цепях второго порядка (раздел 5.5 пособия [1]).

КР 5 – Характеристики синусоидальных напряжений и токов (раздел 2.1 пособия [1]).

КР 6 – Резонанс в цепях синусоидального тока (раздел 2.2 пособия [1]).

КР 7 – Трехфазные электрические цепи (раздел 3 пособия [1]).

КР 8 – Цепи несинусоидального периодического тока (раздел 4 пособия [1]).

Примечание: все контрольные работы выполняются на лекционных занятиях письменно, в конце модуля можно сдать контрольные работы устно в консультационные часы при условии, что сданы ВСЕ лабораторные и домашние задания модуля.

Компьютерное тестирование

Перечень тестов

Тест 1 – Электрические цепи постоянного тока в статическом режиме (раздел 1 пособия [1]).

Тест 2 – Электротехника. Часть 1. Рубежный (разделы 1 и 5 пособия [1]).

Тест 3 – Электрические цепи однофазного переменного синусоидального тока (раздел 2 пособия [1]).

Тест 4 – Электротехника. Часть 2. Рубежный (разделы 2-4, 6 пособия [1]).

Тест 5 – Электротехника. Итоговый (разделы 1-8 пособия [1]).

Примечание: все вопросы тестов освещены в пособии [1], на каждый тест выделено 3 попытки; преподаватель может добавить ОДНУ попытку на тесты, которая потратится на первый открытый студентом тест; тест 5 содержит две ступени (ступень 1 – минимум баллов, ступень 2 – от минимума до максимума баллов, ступень 2 «открывается» только при «положительной» аттестации ступени 1).

Расписание консультаций

С расписанием консультаций можно ознакомиться на сайте кафедры ЭТ и ПЭМС в разделе «Консультации» (<http://ets.ifmo.ru/consult.text>).

Свой вопрос можно задать через систему de.ifmo.ru (Сетевое общение, Почта) и/или isu.ifmo.ru (Личный кабинет, Сообщения).

Группа 2125

	ФИО студента	№ варианта
1	Авраменко Илья Владимирович	3
2	Александров Александр Игоревич	6
3	Ануфриенко Юлия Викторовна	7
4	Бонковски Патрик	8
5	Бриль Марина Игоревна	9
6	Голендухин Денис Валерьевич	10
7	Ефимова Елена Андреевна	11
8	Кобзарев Дмитрий Вадимович	12
9	Коновалов Николай Александрович	13
10	Назарьев Сергей Сергеевич	15
11	Новомлинов Денис Алексеевич	16
12	Орлов Владислав Романович	17
13	Петров Михаил Михайлович	18
14	Прокошина Екатерина Георгиевна	19
15	Рожкина Анастасия Николаевна	21
16	Тихонова Екатерина Денисовна	22
17	Фомин Евгений Михайлович	23
18	Фролов Сергей Александрович	25
19	Хайруллин Вадим Алексеевич	26
20	Халанский Дмитрий Владимирович	27
21	Чечулин Никита Сергеевич	28
22		29
23		30

Университет ИТМО

Кафедра ЭТ и ПЭМС

Домашнее задание

Расчет цепей постоянного тока

Группа XXXX.

Вариант X.

Работу выполнил: *студ. Иванов И.И.*

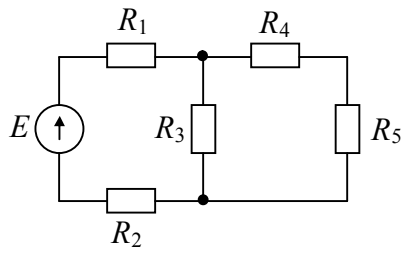
Дата сдачи:

Контрольный срок сдачи: (см. табл. «Формирование итоговой оценки»)

Оценка:

Количество баллов:

СПб – 2014



Дано: $E = 100 \text{ В}$; $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 15 \text{ Ом}$; $R_3 = 40 \text{ Ом}$; $R_4 = 35 \text{ Ом}$; $R_5 = 85 \text{ Ом}$.

Найти: все неизвестные токи, используя законы Кирхгофа, метод контурных токов, метод узловых напряжений; составить баланс мощностей.

Решение:

Расчет по законам Кирхгофа

1) определяем топологию цепи
общее количество ветвей $p^* = 3$

количество ветвей с источниками тока $p_{\text{ит}} = 0$

количество узлов $q = 2$

количество ветвей с неизвестными токами $p = (p^* - p_{\text{ит}}) = 3 - 0 = 3$

количество независимых контуров $n = p - (q - 1) = 3 - (2 - 1) = 2$

2) составляем $(q - 1)$ узловых уравнений по первому закону Кирхгофа

узел 2: $-I_1 + I_2 + I_3 = 0$

составляем n контурных уравнений по второму закону Кирхгофа

контур I: $(R_1 + R_2) \cdot I_1 + R_3 \cdot I_2 = E$

контур II: $R_3 \cdot I_2 - (R_4 + R_5) \cdot I_3 = 0$

объединяем узловые и контурные уравнения в систему

$$\begin{cases} -I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ (R_1 + R_2) \cdot I_1 + R_3 \cdot I_2 = E \\ R_3 \cdot I_2 - (R_4 + R_5) \cdot I_3 = 0 \end{cases}$$

представляем полученную систему уравнений в матричной форме $A \cdot X = F$

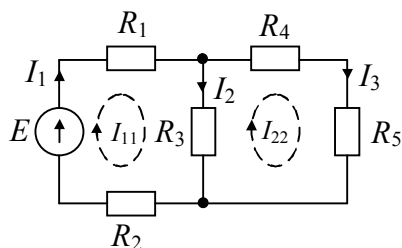
$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ R_1 + R_2 & R_3 & 0 \\ 0 & R_3 & -(R_4 + R_5) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ E \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ подставив численные значения, получаем}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 20 & 40 & 0 \\ 0 & 40 & -120 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix}$$

б) решение системы уравнений ищем в виде $X = A^{-1} \times F$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 20 & 40 & 0 \\ 0 & 40 & -120 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} \text{ А.}$$

Расчет методом контурных токов



1) определяем собственные и общие сопротивления

$R_{11} = R_1 + R_2 + R_3 = 5 + 15 + 40 = 60 \text{ Ом}$

$R_{22} = R_3 + R_4 + R_5 = 40 + 35 + 85 = 160 \text{ Ом}$

$R_{12} = R_{21} = -R_3 = -40 \text{ Ом}$

2) определяем контурные ЭДС

$E_{11} = E = 100 \text{ В}$; $E_{22} = 0 \text{ В}$

3) составляем систему уравнений

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{11} + R_{12} \cdot I_{22} = E_{11} \\ R_{21} \cdot I_{11} + R_{22} \cdot I_{22} = E_{22} \end{cases} \text{ и представляем ее в матричной форме}$$

$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{11} \\ I_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} \\ E_{22} \end{bmatrix}, \text{ подставив численные значения, получаем } \begin{bmatrix} 60 & -40 \\ -40 & 160 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{11} \\ I_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

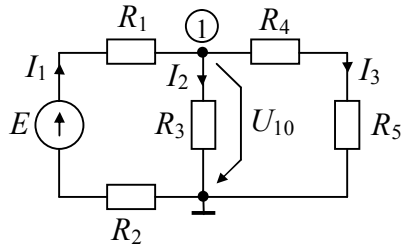
4) ищем решение системы уравнений

$$\begin{bmatrix} I_{11} \\ I_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 60 & -40 \\ -40 & 160 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 100 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0.5 \end{bmatrix} \text{ А.}$$

5) определяем неизвестные токи через контурные

$$I_1 = I_{11} = 2 \text{ А} \quad I_2 = I_{11} - I_{22} = 2 - 0.5 = 1.5 \text{ А} \quad I_3 = I_{22} = 0.5 \text{ А}$$

Расчет методом узловых напряжений



1) определяем собственные и общие проводимости

$$g_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5} = \frac{1}{5+15} + \frac{1}{40} + \frac{1}{35+85} = \frac{1}{12} = 0.083 \text{ См}$$

2) определяем токи, обусловленные источниками энергии в ветвях узлов цепи $J_{11} = E/(R_1 + R_2) = 100/(5+15) = 5 \text{ А}$

3) составляем систему уравнений

$$g_{11} \cdot U_{10} = J_{11}, \text{ подставив численные значения получаем}$$

$$U_{10}/12 = 5.$$

4) ищем решение системы уравнений $U_{10} = 60 \text{ В}$

5) определяем искомые токи через узловые напряжения

$$I_1 = (E - U_{10})/(R_1 + R_2) = (100 - 60)/(5+20) = 2 \text{ А}$$

$$I_2 = U_{10}/R_3 = 60/40 = 1.5 \text{ А}$$

$$I_3 = U_{10}/(R_4 + R_5) = 60/(35+85) = 0.5 \text{ А}$$

Баланс мощностей

Осуществим проверку, составив баланс мощностей.

Мощность источников $P_{\text{и}} = P_E = E \cdot I_1 = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Вт.}$

Мощность потребителей $P_{\text{п}} = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} + P_{R4} + P_{R5} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_1^2 + R_3 \cdot I_2^2 + R_4 \cdot I_3^2 + R_5 \cdot I_3^2 = 5 \cdot 2^2 + 15 \cdot 2^2 + 40 \cdot 1.5^2 + 35 \cdot 0.5^2 + 85 \cdot 0.5^2 = 200 \text{ Вт.}$

Мощность источников равна мощности потребителей $P_{\text{и}} = P_{\text{п}} = 200 \text{ Вт}$, следовательно, баланс мощностей сошелся.

Ответ: $I_1 = 2 \text{ А}$, $I_2 = 1.5 \text{ А}$, $I_3 = 0.5 \text{ А}$, $P_{\text{и}} = P_{\text{п}} = 200 \text{ Вт.}$

Лист измерений к лабораторной работе 1
«Исследование характеристик источника электрической энергии постоянного тока»

Выполнил студ. _____ гр. _____ Провел _____ Дата _____

k	Измерения	
	$R_{н}, \text{ Ом}$	$U_{н}, \text{ В}$
0	∞	$U_0 = \underline{\hspace{2cm}}$
	$R_{i3} = \underline{\hspace{2cm}}$	$U_0/2 = \underline{\hspace{2cm}}$
1	5000	
2	2000	
3	1000	
4	500	
5	300	

Лист измерений к лабораторной работе 2
 «Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях»

Выполнил студ. _____ гр. _____ Провел _____ Дата _____

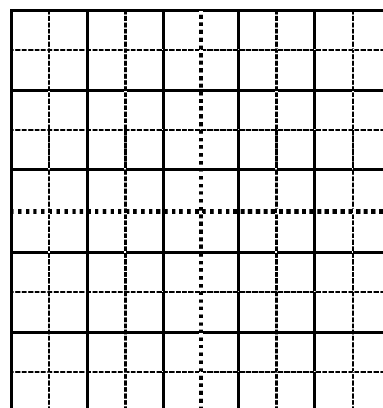
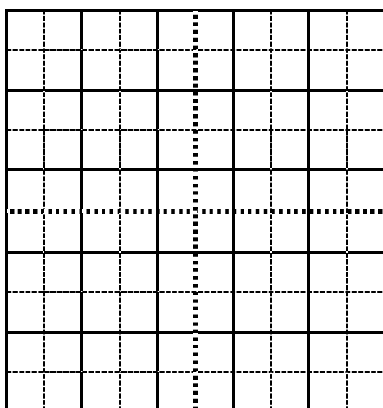
1. Исследование переходного процесса в RC -цепи.

R	C	$i(0_+)$	$i(\infty)$	$u_c(\infty)$	τ
Ом	мкФ	мА		В	мкс

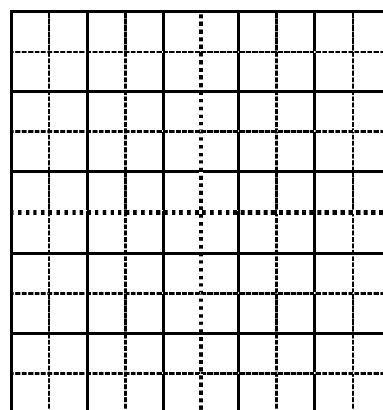
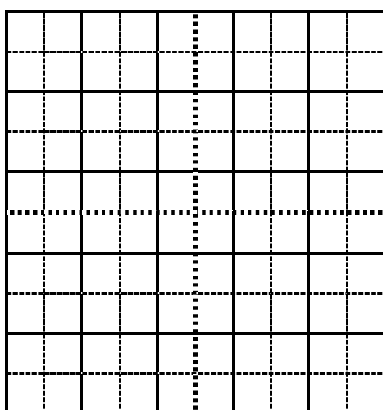
2. Исследование переходного процесса в RL -цепи.

R	L	$i(0_+)$	$i(\infty)$	$u_L(0_+)$	τ
Ом	мГн	мА		В	мкс

Осциллограммы п. 1.1



Осциллограммы п. 1.2



Лист измерений к лабораторной работе 3
«Исследование явлений резонанса в линейных электрических цепях»

Выполнил студ. _____ гр. _____ Провел _____ Дата _____

Параметры цепи и питающего напряжения

U	ψ_u	R_1	L_k	R_k	C
В	градус	Ом	мГн	Ом	мкФ

Последовательная RLC -цепь

f , Гц	φ , градус	I , А	U_{R1} , В	U_k , В	U_c , В
$f_{рез} =$	0				

Лист измерений к лабораторной работе 4 «Исследование трехфазных цепей»

Выполнил студ. _____ гр. _____ Провел _____ Дата _____

- Опыт 1 – Равномерная нагрузка без нулевого провода
- Опыт 2 – Равномерная нагрузка с нулевым проводом
- Опыт 3 – Неравномерная нагрузка без нулевого провода
- Опыт 4 – Неравномерная нагрузка с нулевым проводом
- Опыт 5 – Обрыв линейного провода без нулевого провода
- Опыт 6 – Обрыв линейного провода с нулевым проводом

№ п/п		U_a	U_b	U_c	I_a	I_b	I_c	P_a	P_b	P_c	U_{00}	I_0	$U_{л}$	z_a	z_b	z_c	φ
		В			А			Вт			В	А	В	Ом			град
1	Изм												75				37
	Выч																
2	Изм																
	Выч																
3	Изм																
	Выч																
4	Изм																
	Выч																
5	Изм																
	Выч																
6	Изм																
	Выч																

Университет ИТМО

Кафедра ЭТ и ПЭМС

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе

Исследование характеристик источника электрической энергии постоянного тока

Группа XXXX.

Работу выполнил: *студ. Иванов И.И.*

Дата защиты:

Контрольный срок защиты: (см. табл. «Формирование итоговой оценки»)

Количество баллов:

СПб – 2014

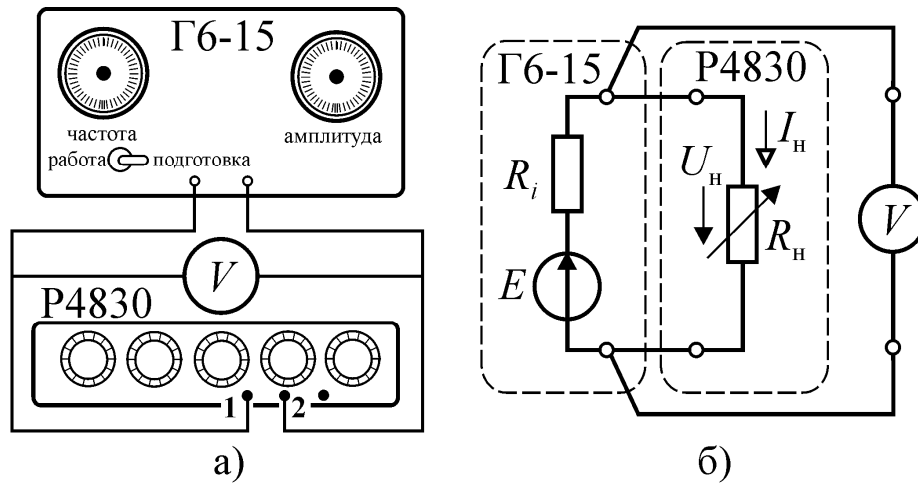
Лист измерений к лабораторной работе 1
«Исследование характеристик источника электрической энергии постоянного тока»

Выполнил студ. Иванов И.И. гр. XXXX Провел _____ Дата _____

k	Измерения	
	$R_H, \text{ Ом}$	$U_H, \text{ В}$
0	∞	$U_0 = 20$
	$R_{i_3} = 592$	$U_0/2 = 10$
1	5000	17.9
2	2000	15.4
3	1000	12.6
4	500	9.2
5	250	6

Цель работы – исследование режимов работы и экспериментальное определение параметров схемы замещения источника электрической энергии.

I. Схема эксперимента (а) и схема замещения источника электрической энергии (б).



II. Таблица 1.1.

k	Измерения		Расчёт $R_i = 598,61 \text{ Ом}; E = 20 \text{ В}; I_{кз} = 33,921 \text{ мА}$			
	$R_H, \text{ Ом}$	$U_H, \text{ В}$	$I_H, \text{ мА}$	$P_H, \text{ мВт}$	η	$R_{ik}, \text{ Ом}$
0	∞	20	0	0	1,0	
	592	10	16.892	168.919	0,501	
1	5000	17.9	3.58	64.082	0,895	593,454
2	2000	15.4	7.7	118.58	0,772	606,796
3	1000	12.6	12.6	158.76	0,629	571,429
4	500	9.2	18.4	169.28	0,459	586,207
5	250	6	24	144	0,289	

Расчеты:

$$I_{Hk} = 1000 \cdot U_{Hk} / R_{Hk}, \text{ [мА]}$$

$$I_{H0} = 1000 \cdot 10 / 592 = 16.892, \text{ [мА]};$$

$$I_{H1} = 1000 \cdot 17.9 / 5000 = 3.58, \text{ [мА]};$$

$$I_{H2} = 1000 \cdot 15.4 / 2000 = 7.7, \text{ [мА]};$$

$$I_{H3} = 1000 \cdot 12.2 / 1000 = 12.6, \text{ [мА]};$$

$$I_{H4} = 1000 \cdot 9.2 / 500 = 18.4, \text{ [мА]};$$

$$I_{H5} = 1000 \cdot 6 / 250 = 24, \text{ [мА]};$$

$$P_{Hk} = 1000 \cdot U_{Hk}^2 / R_{Hk}, \text{ [мВт]}$$

$$P_{H0} = 1000 \cdot 10^2 / 592 = 168.919, \text{ [мВт]};$$

$$P_{H1} = 1000 \cdot 17.9^2 / 5000 = 64.082, \text{ [мВт]};$$

$$P_{H2} = 1000 \cdot 15.4^2 / 2000 = 118.58, \text{ [мВт]};$$

$$P_{H3} = 1000 \cdot 12.6^2 / 1000 = 158.76, \text{ [мВт]};$$

$$P_{H4}=1000 \cdot 9.2^2 / 500 = 169.28, \text{ [МВт]};$$

$$P_{H5}=1000 \cdot 6^2 / 250 = 144, \text{ [МВт]}.$$

$$R_{ik}=1000 \cdot (U_{Hk} - U_{Hk+1}) / (I_{Hk+1} - I_{Hk})$$

$$R_{i1}=1000 \cdot (17.9 - 15.4) / (7.7 - 3.58) = 593.454, \text{ [Ом]};$$

$$R_{i2}=1000 \cdot (15.4 - 12.6) / (12.6 - 7.7) = 606.796, \text{ [Ом]};$$

$$R_{i3}=1000 \cdot (12.6 - 9.2) / (18.4 - 12.6) = 571.429, \text{ [Ом]};$$

$$R_{i4}=1000 \cdot (9.2 - 6) / (24 - 18.4) = 586.207, \text{ [Ом]}.$$

$$R_i = \sqrt{\sum_{k=1}^4 R_{ik}^2} / 2 = \sqrt{593.454^2 + 606.796^2 + 571.429^2 + 586.207^2} / 2 = 589.61, \text{ [Ом]}.$$

$$I_{K3} = 1000 \cdot E / R_i = 1000 \cdot 20 / 589.61 = 33.921, \text{ [мА]}.$$

$$\eta_k = R_{Hk} / (R_i + R_{Hk})$$

$$\eta_1 = 592 / (589.61 + 592) = 0.501;$$

$$\eta_2 = 5000 / (589.61 + 5000) = 0.895;$$

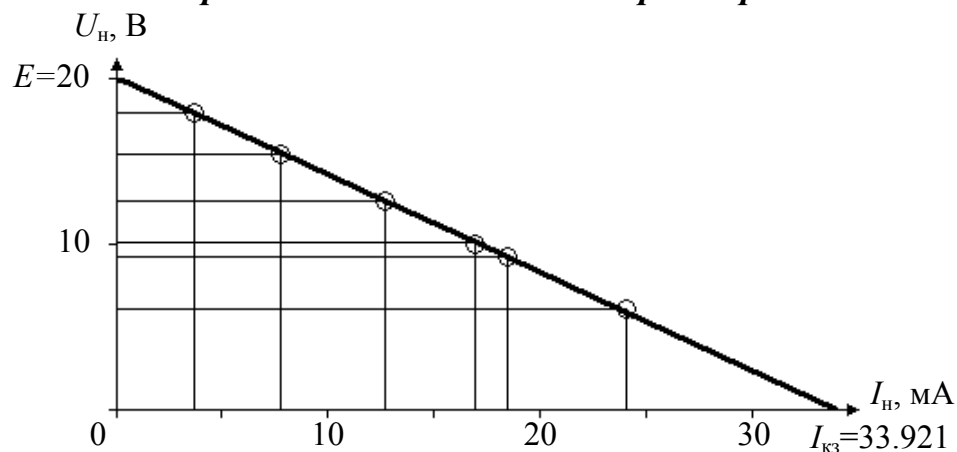
$$\eta_3 = 2000 / (589.61 + 2000) = 0.772;$$

$$\eta_4 = 1000 / (589.61 + 1000) = 0.629;$$

$$\eta_5 = 500 / (589.61 + 500) = 0.459;$$

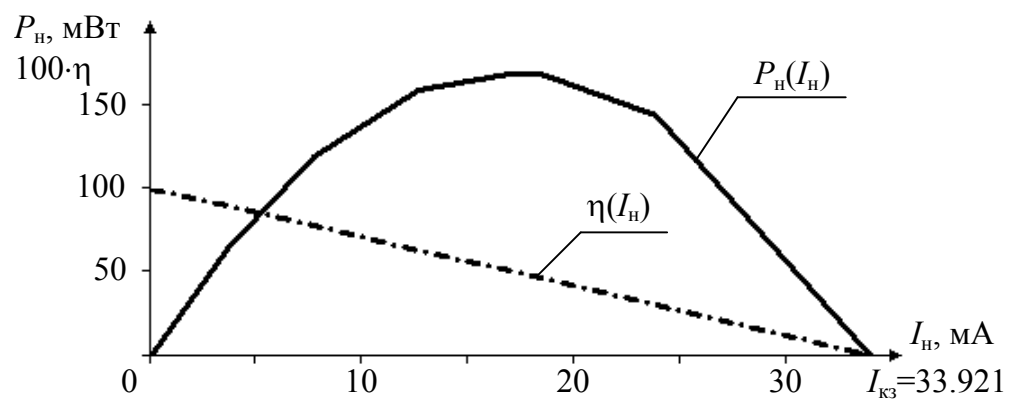
$$\eta_6 = 250 / (589.61 + 592) = 0.298.$$

III. Расчётная и экспериментальная внешние характеристики источника.



На рисунке изображены расчетная внешняя характеристика источника (жирная линия) и точки экспериментальной внешней характеристики (обозначены окружностями).

IV. Графики зависимостей $P_H(I_H)$ и $\eta(I_H)$.



V. Выводы по работе.

...

Университет ИТМО

Кафедра ЭТ и ПЭМС

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе

Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях с источниками постоянного тока

Группа XXXX.

Работу выполнил: *студ. Иванов И.И.*

Дата защиты:

Контрольный срок защиты: (см. табл. «Формирование итоговой оценки»)

Количество баллов:

СПб – 2014

«Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях с источниками постоянного тока»

Выполнил студ. Иванов И.И. гр. 0000 Провел _____ Дата _____

1. Исследование переходных процессов в цепях первого порядка.

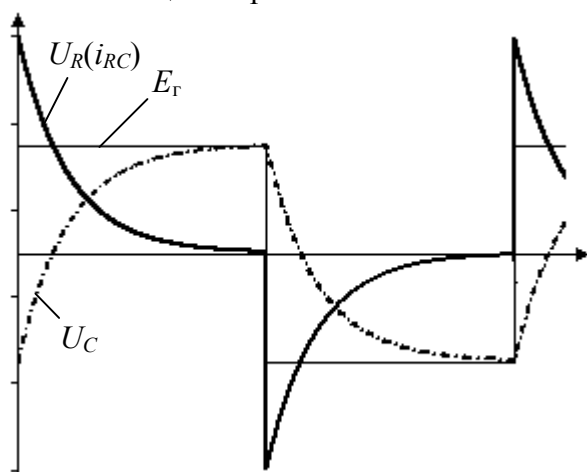
1.1. Исследование переходного процесса в RC -цепи.

R	C	$i(0_+)$	$i(\infty)$	$u_C(\infty)$	τ
Ом	мкФ	мА		В	мкс
500	4	19	0	4.9	2100

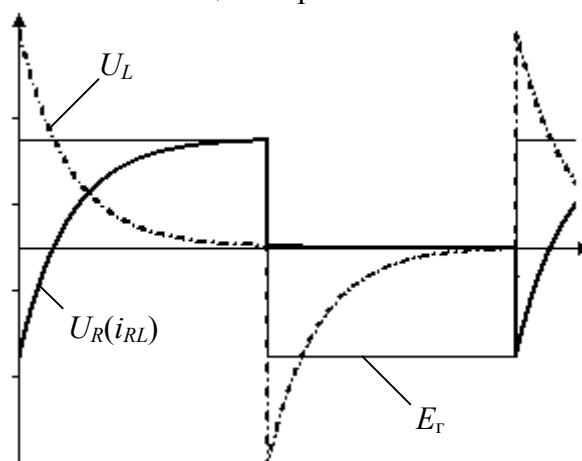
1.2. Исследование переходного процесса в RL -цепи.

R	L	$i(0_+)$	$i(\infty)$	$u_L(0_+)$	τ
Ом	мГн	мА		В	мкс
200	30	-26	26	10.5	155

Осциллограммы п.1.1



Осциллограммы п.1.2

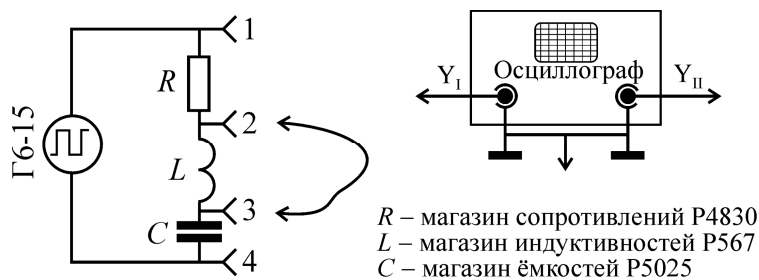


Цель работы – экспериментальное исследование переходных процессов в простейших электрических цепях первого порядка с источником постоянного напряжения.

I. Перечень приборов и оборудования.

- Генератор сигналов специальной формы Г6 -15;
- Осциллограф двухканальный С1-83;
- Магазин сопротивлений Р4830;
- Магазин емкостей Р5025;
- Магазин индуктивностей Р567.

II. Схемы проведения опытов.



III. Расчетные формулы и результаты.

а) для RC-цепи

$$i(0_+) = 2 \cdot U_m / R = 2 \cdot 5 / 500 = 20 \text{ [мА]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (20 - 19) / 20 = 5 \text{ [%]};$$

$$i(\infty) = 0 \text{ [мА]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (0 - 0) / 0 = 0 \text{ [%]};$$

$$u_C(\infty) = U_m = 5 \text{ [В]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (5 - 4.9) / 5 = 2 \text{ [%]};$$

$$\tau = R \cdot C = 500 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 2000 \text{ [мкс]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (2000 - 2100) / 2000 = -5 \text{ [%]}.$$

б) для RL-цепи

$$i(0_+) = -U_m / R = -5 / 200 = -25 \text{ [мА]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (-25 + 26) / (-25) = -4 \text{ [%]};$$

$$i(\infty) = U_m / R = 5 / 200 = 25 \text{ [мА]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (25 - 26) / 25 = -4 \text{ [%]};$$

$$u_L(0_+) = 2 \cdot U_m = 2 \cdot 5 = 10 \text{ [В]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (10 - 10.5) / 10 = -5 \text{ [%]};$$

$$\tau = L / R = 30 \cdot 10^{-3} / 200 = 150 \text{ [мкс]}, \quad \varepsilon = 100 \cdot (\text{расч.} - \text{эксп.}) / \text{расч.} = 100 \cdot (150 - 155) / 150 = -3.333 \text{ [%]}.$$

IV. Заполненная таблица 2.5.

R	C	L	Тип данных	$i(0_+)$	$i(\infty)$	$u_C(\infty)$	$u_L(0_+)$	τ
				мА		В		мкс
500	4		эксп.	19	0	4.9		2100
			расч.	20	0	5		2000
			ε [%]	5	0	2		5
200		30	эксп.	-26	26		10.5	155
			расч.	-25	25		10	150
			ε [%]	4	4		5	3.333

V. Выводы по работе.

.....

Университет ИТМО

Кафедра ЭТ и ПЭМС

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе

Исследование явлений резонанса в линейных электрических цепях

Группа XXXX.

Работу выполнил: *студ. Иванов И.И.*

Дата защиты:

Контрольный срок защиты: (см. табл. «Формирование итоговой оценки»)

Количество баллов:

СПб – 2014

Лист измерений к лабораторной работе 3
 «Исследование явлений резонанса в линейных электрических цепях»

Выполнил студ. Иванов И.И. гр. XXXX Провел _____ Дата _____

Параметры цепи и питающего напряжения

U	ψ_u	R_1	L_k	R_k	C
В	градус	Ом	мГн	Ом	мкФ
50	135	70	41	30	2.2

Последовательная RLC -цепь

f , Гц	φ , градус	I , А	U_{R1} , В	U_k , В	U_c , В
280	-63	0.25	16	18	61
380	-45	0.38	26	38	70
480	-18	0.49	34	61	73
$f_p = 530$	0	0.5	35	70	68
580	15	0.49	34	74	61
680	36	0.42	29	73	44
780	48	0.35	24	70	31

Цель работы – экспериментальное исследование частотных характеристик линейных двухполюсников, содержащих индуктивный и емкостной элементы и анализ резонансных режимов их работы.

I. Схемы измерений и перечень приборов

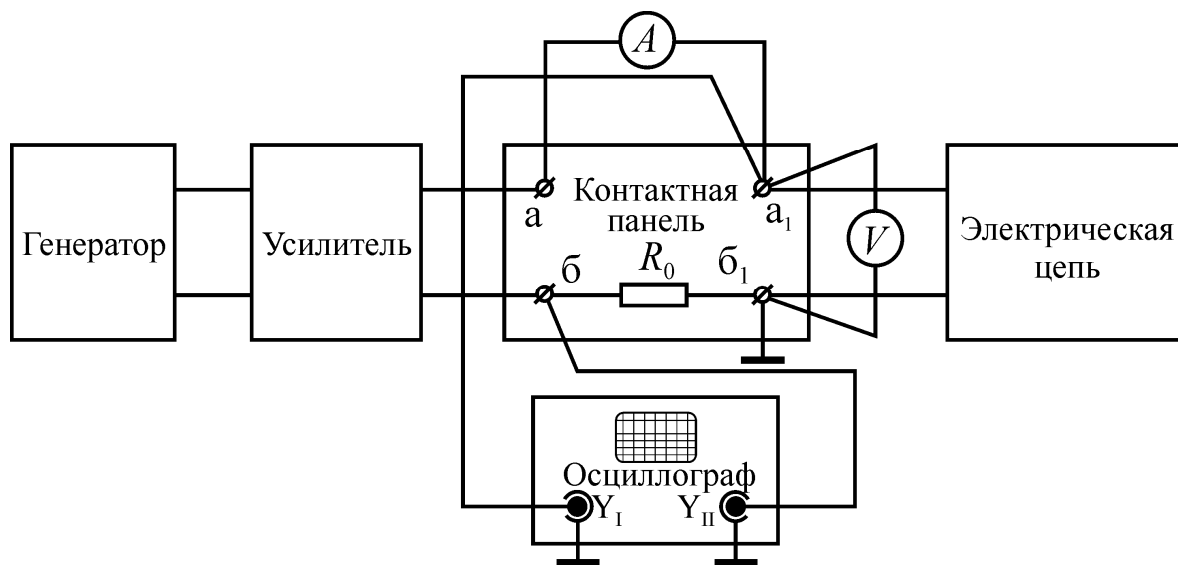
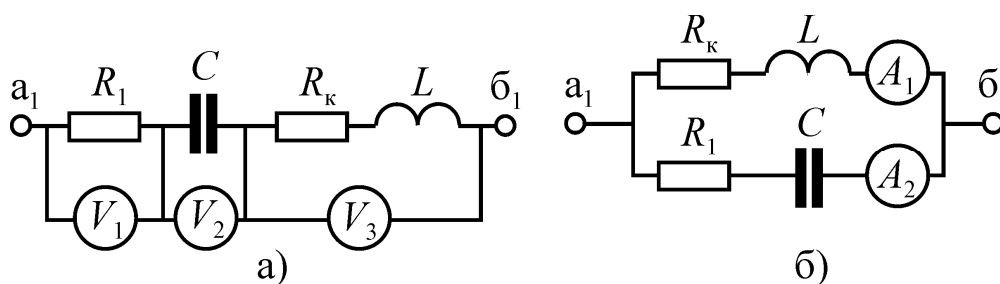


Схема лабораторной установки



Схемы измерений

Лабораторная установка содержит генератор типа Г6-15, усилитель типа 100У-101, амперметр, вольтметр, двухканальный осциллограф типа С1-83 и контактную панель. Схемы двухполюсников собирают с помощью магазина сопротивлений Р4830, магазина индуктивностей Р567 и магазина конденсаторов Р5025.

При выполнении лабораторной работы к зажимам «а₁» и «б₁» контактной панели стенда (см. *Схема лабораторной установки*) подключаются электрические цепи, собранные по схемам, представленным на (см. *Схемы измерений*).

II. Заполненные таблицы. Расчетные формулы и расчеты.

f	$U=50$ В; $R_1=70$ Ом; $R_k=30$ Ом; $L=41$ мГн; $C=2.2$ мкФ									
	Расчет					Эксперимент				
	$f_{0p}=529.9$ Гц; $Q_p=1.365$					$f_{0э}=530$ Гц; $Q_э=1.36$				
	φ	I	U_{R1}	U_k	U_C	φ	I	U_{R1}	U_k	U_C
Гц	град	А	В			град	А	В		
280	-61.8	0.237	16.6	18.5	61.1	-63	0.25	16	18	61
380	-42.8	0.367	25.7	37.6	69.9	-45	0.38	26	38	70
480	-15.1	0.483	33.8	61.4	72.7	-18	0.49	34	61	73
530	0	0.5	35	70	68.2	0	0.5	35	70	68
580	13.9	0.485	34	74	60.5	15	0.49	34	74	61
680	34.5	0.412	28.8	73.2	43.8	36	0.42	29	73	44
780	47.3	0.339	23.8	69	31.5	48	0.35	24	70	31

$$f_{0p}=1/(2\cdot\pi\cdot\sqrt{L\cdot C})=1/(2\cdot\pi\cdot\sqrt{41\cdot 10^{-3}\cdot 2.2\cdot 10^{-6}})=529.9 \text{ [Гц]}$$

$$Q_p=(\sqrt{L/C})/(R_1+R_k)=\sqrt{41\cdot 10^{-3}/2.2\cdot 10^{-6}}/(70+30)=1.365$$

$$Q_э=U_{C0}/U=68/50=1.36$$

$$\omega=2\cdot\pi\cdot f \text{ [рад/с]}, X_L=\omega\cdot L \text{ [Ом]}, X_C=1/(\omega\cdot C) \text{ [Ом]}, R=R_1+R_k \text{ [Ом]}, X=X_L-X_C \text{ [Ом]},$$

$$z=\sqrt{R^2+X^2} \text{ [Ом]}, I=U/z \text{ [А]}, \varphi=\arctg(X/R) \text{ [}^\circ\text{]}, U_{R1}=I\cdot R_1 \text{ [В]}, U_C=I\cdot X_C \text{ [В]},$$

$$U_k=I\cdot\sqrt{R_k^2+X_L^2} \text{ [В]}.$$

1) для $f=280$ [Гц]

$$\omega=2\cdot\pi\cdot 280=1759 \text{ [рад/с]}, X_L=1759\cdot 41\cdot 10^{-3}=72 \text{ [Ом]}, X_C=1/(1759\cdot 2.2\cdot 10^{-6})=258 \text{ [Ом]},$$

$$R=70+30=100 \text{ [Ом]}, X=72-258=-186 \text{ [Ом]}, z=\sqrt{100^2+186^2}=211 \text{ [Ом]},$$

$$I=50/211=0.237 \text{ [А]}, \varphi=\arctg(-186/100)=-61.8^\circ, U_{R1}=0.237\cdot 70=16.6 \text{ [В]},$$

$$U_C=0.237\cdot 258=61.1 \text{ [В]}, U_k=0.237\cdot\sqrt{30^2+72^2}=18.5 \text{ [В]}.$$

2) для $f=380$ [Гц]

$$\omega=2\cdot\pi\cdot 380=2388 \text{ [рад/с]}, X_L=2388\cdot 41\cdot 10^{-3}=98 \text{ [Ом]}, X_C=1/(2388\cdot 2.2\cdot 10^{-6})=190 \text{ [Ом]},$$

$$R=70+30=100 \text{ [Ом]}, X=98-190=-92 \text{ [Ом]}, z=\sqrt{100^2+92^2}=136 \text{ [Ом]},$$

$$I=50/136=0.367 \text{ [А]}, \varphi=\arctg(-92/100)=-42.8^\circ, U_{R1}=0.367\cdot 70=25.7 \text{ [В]},$$

$$U_C=0.367\cdot 190=69.9 \text{ [В]}, U_k=0.367\cdot\sqrt{30^2+98^2}=37.6 \text{ [В]}.$$

3) для $f=480$ [Гц]

$$\omega=2\cdot\pi\cdot 480=3016 \text{ [рад/с]}, X_L=3016\cdot 41\cdot 10^{-3}=124 \text{ [Ом]}, X_C=1/(3016\cdot 2.2\cdot 10^{-6})=151 \text{ [Ом]},$$

$$R=70+30=100 \text{ [Ом]}, X=124-151=-27 \text{ [Ом]}, z=\sqrt{100^2+27^2}=104 \text{ [Ом]},$$

$$I=50/104=0.483 \text{ [А]}, \varphi=\arctg(-27/100)=-15.1^\circ, U_{R1}=0.483\cdot 70=33.8 \text{ [В]},$$

$$U_C=0.483\cdot 151=72.7 \text{ [В]}, U_k=0.483\cdot\sqrt{30^2+124^2}=61.4 \text{ [В]}.$$

4) для $f=530$ [Гц]

$$\omega=2\cdot\pi\cdot 530=3330 \text{ [рад/с]}, X_L=3330\cdot 41\cdot 10^{-3}=136 \text{ [Ом]}, X_C=1/(3330\cdot 2.2\cdot 10^{-6})=136 \text{ [Ом]},$$

$$R=70+30=100 \text{ [Ом]}, X=136-136=0 \text{ [Ом]}, z=\sqrt{100^2+0^2}=100 \text{ [Ом]}, I=50/100=0.5 \text{ [А]},$$

$$\varphi=\arctg(0/100)=0^\circ, U_{R1}=0.5\cdot 70=35 \text{ [В]}, U_C=0.5\cdot 136=68 \text{ [В]},$$

$$U_k=0.5\cdot\sqrt{30^2+136^2}=70 \text{ [В]}.$$

5) для $f=580$ [Гц]

$\omega=2\cdot\pi\cdot580=3644$ [рад/с], $X_L=3644\cdot41\cdot10^{-3}=149$ [Ом], $X_C=1/(3644\cdot2.2\cdot10^{-6})=125$ [Ом],
 $R=70+30=100$ [Ом], $X=149-125=24$ [Ом], $z=\sqrt{(100^2+24^2)}=103$ [Ом],
 $I=50/103=0.485$ [А], $\varphi=\arctg(24/100)=13.9^\circ$, $U_{R1}=0.485\cdot70=34$ [В],
 $U_C=0.485\cdot125=60.5$ [В], $U_K=0.485\cdot\sqrt{(30^2+149^2)}=74$ [В].

6) для $f=680$ [Гц]

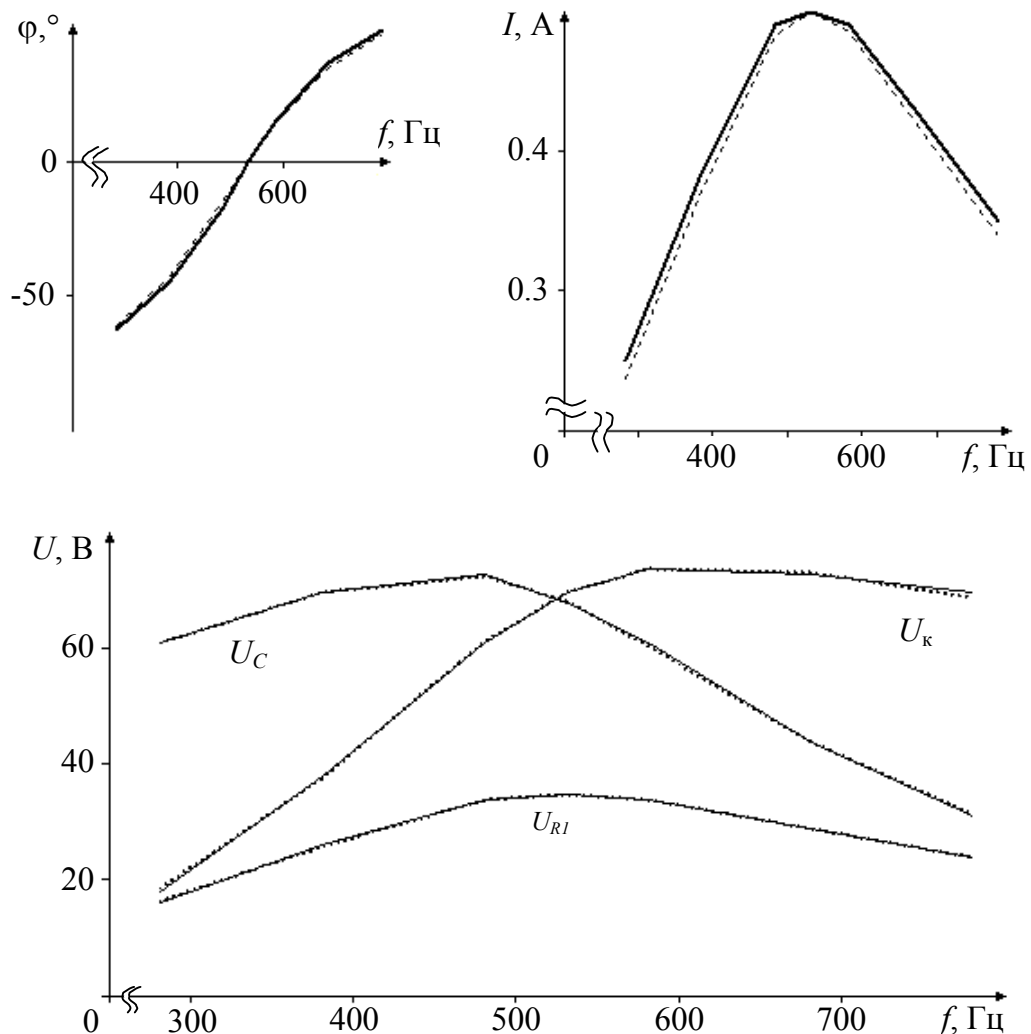
$\omega=2\cdot\pi\cdot680=4273$ [рад/с], $X_L=4273\cdot41\cdot10^{-3}=175$ [Ом], $X_C=1/(4273\cdot2.2\cdot10^{-6})=106$ [Ом],
 $R=70+30=100$ [Ом], $X=175-106=69$ [Ом], $z=\sqrt{(100^2+69^2)}=121$ [Ом],
 $I=50/121=0.412$ [А], $\varphi=\arctg(69/100)=34.5^\circ$, $U_{R1}=0.412\cdot70=28.8$ [В],
 $U_C=0.412\cdot106=43.8$ [В], $U_K=0.412\cdot\sqrt{(30^2+175^2)}=73.2$ [В].

7) для $f=780$ [Гц]

$\omega=2\cdot\pi\cdot780=4901$ [рад/с], $X_L=4901\cdot41\cdot10^{-3}=201$ [Ом], $X_C=1/(4901\cdot2.2\cdot10^{-6})=93$ [Ом],
 $R=70+30=100$ [Ом], $X=201-93=108$ [Ом], $z=\sqrt{(100^2+108^2)}=147$ [Ом],
 $I=50/147=0.339$ [А], $\varphi=\arctg(108/100)=47.3^\circ$, $U_{R1}=0.339\cdot70=23.8$ [В],
 $U_C=0.339\cdot93=31.5$ [В], $U_K=0.339\cdot\sqrt{(30^2+201^2)}=69$ [В].

III. Графики характеристик $I(f)$, $U_K(f)$, $U_C(f)$, $U_R(f)$, $\varphi(f)$

На графиках сплошной линией изображены экспериментально снятые характеристики, пунктирной линией – расчетные характеристики.



IV. Векторные диаграммы для состояния резонанса.

Отобразим на векторной диаграмме $\underline{U} = \underline{U}_{R1} + \underline{U}_C + \underline{U}_K$.

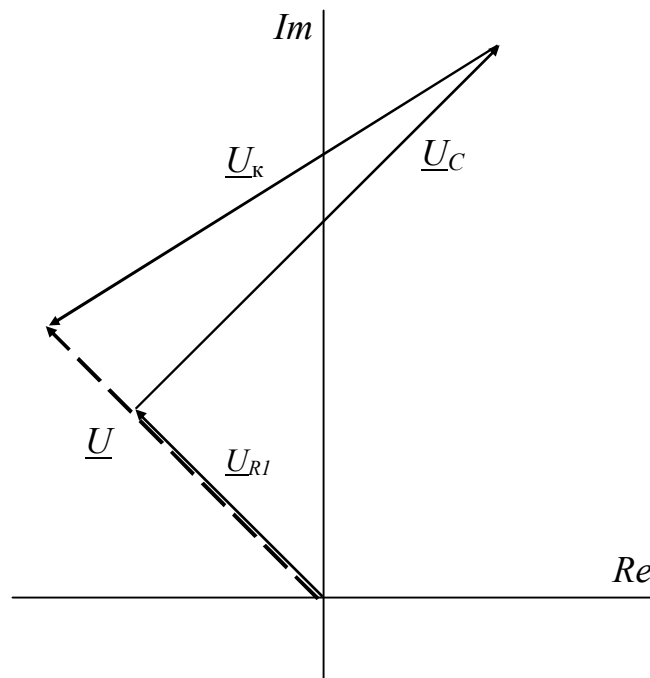
Согласно данным измерений $\underline{U} = U \cdot e^{j\psi_u} = 50 \cdot e^{j135^\circ}$ и $\varphi = 0^\circ$, тогда начальная фаза тока $\psi_i = \psi_u - \varphi = 135^\circ - 0^\circ = 135^\circ$.

Угол сдвига фаз между током и напряжением на резистивном элементе $\varphi_{R1} = 0^\circ$, тогда начальная фаза напряжения на резистивном элементе $\psi_{uR} = \varphi_{R1} + \psi_i = 0^\circ + 135^\circ = 135^\circ$, т.о. $\underline{U}_{R1} = U_{R1} \cdot e^{j\psi_{uR}} = 35 \cdot e^{j135^\circ}$.

Угол сдвига фаз между током и напряжением на емкостном элементе $\varphi_C = -90^\circ$, тогда начальная фаза напряжения на емкостном элементе $\psi_{uC} = \varphi_C + \psi_i = -90^\circ + 135^\circ = 45^\circ$, т.о. $\underline{U}_C = U_C \cdot e^{j\psi_{uC}} = 68 \cdot e^{j45^\circ}$.

Угол сдвига фаз между током и напряжением на катушке индуктивности определяется как $\varphi_K = \arctg(X_L/R_K) = \arctg(136/30) = 77^\circ$, тогда начальная фаза напряжения на катушке индуктивности $\psi_{uK} = \varphi_K + \psi_i = 77^\circ + 135^\circ = 212^\circ$, т.о. $\underline{U}_K = U_K \cdot e^{j\psi_{uK}} = 70 \cdot e^{j212^\circ} = 70 \cdot e^{-j148^\circ}$.

Представленная векторная диаграмма отображает, что $\underline{U} = \underline{U}_{R1} + \underline{U}_C + \underline{U}_K$ или $50 \cdot e^{j135^\circ} = 35 \cdot e^{j135^\circ} + 68 \cdot e^{j45^\circ} + 70 \cdot e^{-j148^\circ}$.



Векторная диаграмма, построенная по измеренным данным (расчетным данным)

V. Выводы по работе.

.....

Университет ИТМО

Кафедра ЭТ и ПЭМС

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе

Исследование трехфазных электрических цепей

Группа XXXX

Работу выполнил: *студ. Иванов И.И.*

Дата защиты:

Контрольный срок защиты: (см. табл. «Формирование итоговой оценки»)

Оценка:

Количество баллов:

СПб – 2014

Лист измерений к лабораторной работе «Исследование трехфазных цепей»

Выполнил студ. Иванов И.И. гр. XXXX Провел _____ Дата _____

Опыт 1 – Равномерная нагрузка без нулевого провода

Опыт 2 – Равномерная нагрузка с нулевым проводом

Опыт 3 – Неравномерная нагрузка без нулевого провода

Опыт 4 – Неравномерная нагрузка с нулевым проводом

Опыт 5 – Обрыв линейного провода без нулевого провода

Опыт 6 – Обрыв линейного провода с нулевым проводом

№ п/п		$U_{A0'}$	$U_{B0'}$	$U_{C0'}$	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	$U_{00'}$	I_0	$U_{л}$	Z_A	Z_B	Z_C	φ
		В			А			Вт			В	А	В	Ом			град
1	Изм	44	44	44	0.78	0.78	0.78	27	27	27	3	0	75	55.9	55.9	55.9	37
	Выч	43.3	43.3	43.3	0.775	0.775	0.775	26.8	26.8	26.8	0	0					
2	Изм	44	44	44	0.78	0.78	0.78	27	27	27	0	0.01		55.9	55.9	55.9	
	Выч	43.3	43.3	43.3	0.775	0.775	0.775	26.8	26.8	26.8	0	0					
3	Изм	39	44	48	0.7	0.65	0.57	22	23	22	5	0		55.9	67.1	84	
	Выч	39.02	43.59	47.73	0.698	0.65	0.568	21.8	22.6	21.6	5.033	0					
4	Изм	44	44	44	0.78	0.64	0.52	27	22	18	0	0.22		55.9	67.1	84	
	Выч	43.3	43.3	43.3	0.775	0.645	0.515	26.8	22.3	17.8	0	0.225					
5	Изм	30	65	45	0.54	0	0.54	13	0	19	23	0		55.9	∞	84	
	Выч	29.95	65.39	45.05	0.536	0	0.536	12.8	0	19.3	22.93	0					
6	Изм	44	44	44	0.78	0	0.52	27	0	18	0	0.68		55.9	∞	84	
	Выч	43.3	43.3	43.3	0.775	0	0.515	26.8	0	17.8	0	0.683					

Цель работы – опытная проверка основных соотношений величин в трехфазной цепи для соединений приемников звездой при равномерной и неравномерной нагрузке фаз.

I. Схемы измерений и перечень приборов

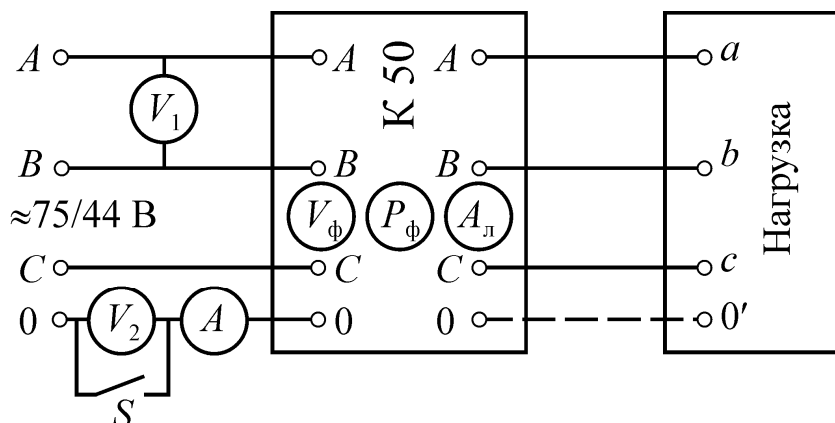
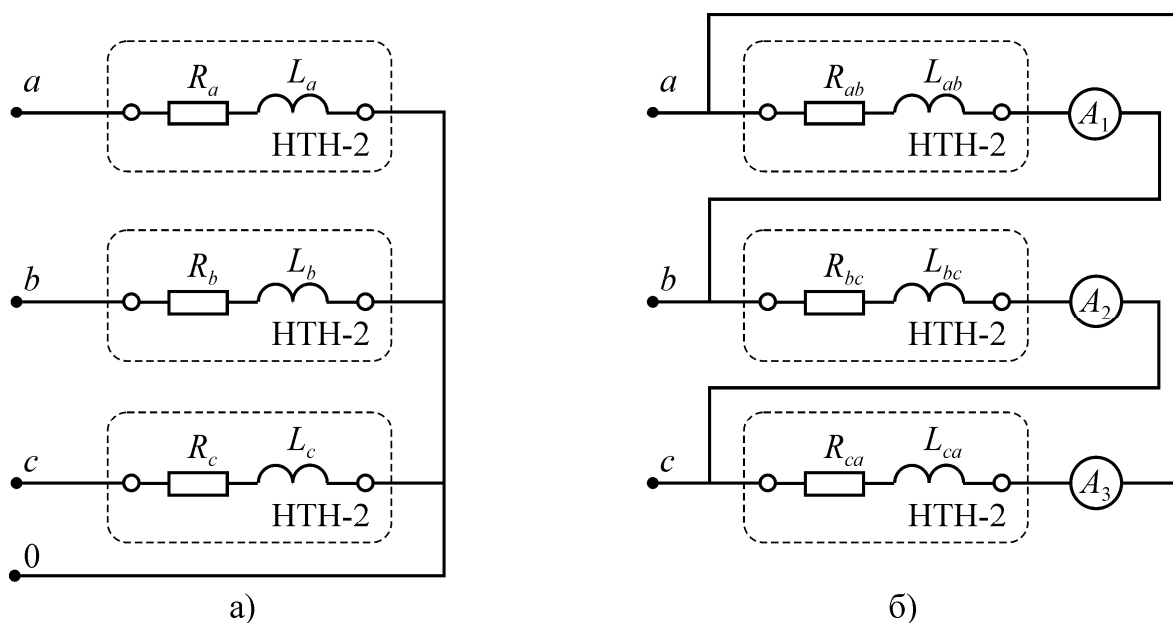


Схема лабораторной установки



Схемы соединения нагрузки

Установка питается от трёхфазного источника с напряжением 75/44 В частотой 50 Гц, клеммы которого расположены на силовом щите лабораторного стенда.

Нагрузка подключается к источнику питания через комплект измерительных приборов типа К50.

Трёхфазная нагрузка состоит из трёх магазинов типа НТН-2, соединяемых по схеме "звезда".

Вольтметр V_1 предназначен для измерения линейного напряжения $U_{л}$ трехфазного источника, а вольтметр V_2 – для измерения напряжения смещения нейтрали $U_{00'}$ при обрыве нулевого провода $00'$ в электрической цепи с нагрузкой, соединённой по схеме «звезда». Режим обрыва нулевого провода возникает при размыкании ключа S . Амперметр A служит для измерения тока I_0 в нулевом проводе $00'$ при замкнутом ключе S .

II. Заполненные таблицы. (см. Лист измерений)

III. Расчетные формулы и пояснения к ним. Сравнение результатов расчета и эксперимента.

Для всех опытов параметры трехфазной системы источников определяются как

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 75 / \sqrt{3} = 43.3 \text{ [В]}, \quad \underline{E}_A = U_{\phi} e^{j0^{\circ}} = 43.3 e^{j0^{\circ}} \text{ [В]},$$

$$\underline{E}_B = U_{\phi} e^{j120^{\circ}} = 43.3 e^{j120^{\circ}} \text{ [В]}, \quad \underline{E}_C = U_{\phi} e^{-j120^{\circ}} = 43.3 e^{-j120^{\circ}} \text{ [В]}.$$

Для всех опытов параметры трехфазной системы нагрузки определяются как

$$\underline{z}_a = z_a e^{j\varphi}, \quad \underline{z}_b = z_b e^{j\varphi}, \quad \underline{z}_c = z_c e^{j\varphi} \quad \text{или} \quad \underline{y}_a = \frac{1}{z_a} e^{-j\varphi}, \quad \underline{y}_b = \frac{1}{z_b} e^{-j\varphi}, \quad \underline{y}_c = \frac{1}{z_c} e^{-j\varphi}.$$

Для нечетных опытов напряжение смещения определяется как

$$\underline{U}_{00} = \frac{\underline{E}_A \underline{y}_a + \underline{E}_B \underline{y}_b + \underline{E}_C \underline{y}_c}{\underline{y}_a + \underline{y}_b + \underline{y}_c}.$$

Для четных опытов напряжение смещения $\underline{U}_{00} = 0$.

Для всех опытов фазные напряжения определяются как

$$\underline{U}_a = \underline{E}_A - \underline{U}_{00}, \quad \underline{U}_b = \underline{E}_B - \underline{U}_{00}, \quad \underline{U}_c = \underline{E}_C - \underline{U}_{00}.$$

Для всех опытов фазные токи определяются как

$$\underline{I}_a = \underline{U}_a \underline{y}_a, \quad \underline{I}_b = \underline{U}_b \underline{y}_b, \quad \underline{I}_c = \underline{U}_c \underline{y}_c.$$

Для четных опытов ток смещения $\underline{I}_0 = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c$, для нечетных - $\underline{I}_0 = 0$.

Мощность каждой из фаз для всех опытов определяется как

$$P_a = U_a I_a \cos \varphi, \quad P_b = U_b I_b \cos \varphi, \quad P_c = U_c I_c \cos \varphi.$$

Результаты расчета

Опыт 1 – Равномерная нагрузка без нулевого провода

$$\underline{y}_a = \frac{1}{55.9} e^{-j37^{\circ}} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^{\circ}}, \quad \underline{y}_b = \frac{1}{55.9} e^{-j37^{\circ}} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^{\circ}},$$

$$\underline{y}_c = \frac{1}{55.9} e^{-j37^{\circ}} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^{\circ}}.$$

$$\underline{U}_{00} = \frac{43.3 e^{j0^{\circ}} \cdot 17.9 e^{-j37^{\circ}} + 43.3 e^{j120^{\circ}} \cdot 17.9 e^{-j37^{\circ}} + 43.3 e^{-j120^{\circ}} \cdot 17.9 e^{-j37^{\circ}}}{17.9 e^{-j37^{\circ}} + 17.9 e^{-j37^{\circ}} + 17.9 e^{-j37^{\circ}}} = 0$$

$$\underline{U}_a = 43.3 e^{j0^{\circ}} - 0 = 43.3 e^{j0^{\circ}}$$

$$\underline{U}_b = 43.3 e^{j120^{\circ}} - 0 = 43.3 e^{j120^{\circ}}$$

$$\underline{U}_c = 43.3 e^{-j120^{\circ}} - 0 = 43.3 e^{-j120^{\circ}}$$

$$\underline{I}_a = 43.3 e^{j0^{\circ}} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^{\circ}} = 0.775 e^{-j37^{\circ}}$$

$$\underline{I}_b = 43.3 e^{j120^{\circ}} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^{\circ}} = 0.775 e^{j83^{\circ}}$$

$$\underline{I}_c = 43.3 e^{-j120^{\circ}} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^{\circ}} = 0.775 e^{-j157^{\circ}}$$

$$P_a = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^{\circ} = 26.8,$$

$$P_b = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^{\circ} = 26.8$$

$$P_c = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^{\circ} = 26.8$$

$$\underline{I}_0 = 0$$

Опыт 2 – Равномерная нагрузка с нулевым проводом

$$\underline{y}_a = \frac{1}{55.9} e^{-j37^\circ} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}, \quad \underline{y}_b = \frac{1}{55.9} e^{-j37^\circ} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ},$$

$$\underline{y}_c = \frac{1}{55.9} e^{-j37^\circ} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}.$$

$$\underline{U}_{00} = 0$$

$$\underline{U}_a = 43.3 e^{j0^\circ} - 0 = 43.3 e^{j0^\circ}$$

$$\underline{U}_b = 43.3 e^{j120^\circ} - 0 = 43.3 e^{j120^\circ}$$

$$\underline{U}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} - 0 = 43.3 e^{-j120^\circ}$$

$$\underline{I}_a = 43.3 e^{j0^\circ} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.775 e^{-j37^\circ}$$

$$\underline{I}_b = 43.3 e^{j120^\circ} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.775 e^{j83^\circ}$$

$$\underline{I}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.775 e^{-j157^\circ}$$

$$P_a = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^\circ = 26.8,$$

$$P_b = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^\circ = 26.8$$

$$P_c = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^\circ = 26.8$$

$$\underline{I}_0 = 0$$

Опыт 3 – Неравномерная нагрузка без нулевого провода

$$\underline{y}_a = \frac{1}{55.9} e^{-j37^\circ} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}, \quad \underline{y}_b = \frac{1}{67.1} e^{-j37^\circ} = 14.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ},$$

$$\underline{y}_c = \frac{1}{84} e^{-j37^\circ} = 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}.$$

$$\underline{U}_{00} = \frac{43.3 e^{j0^\circ} \cdot 17.9 e^{-j37^\circ} + 43.3 e^{j120^\circ} \cdot 14.9 e^{-j37^\circ} + 43.3 e^{-j120^\circ} \cdot 11.9 e^{-j37^\circ}}{17.9 e^{-j37^\circ} + 14.9 e^{-j37^\circ} + 11.9 e^{-j37^\circ}} =$$

$$= 5.033 e^{j30^\circ}$$

$$\underline{U}_a = 43.3 e^{j0^\circ} - 5.033 e^{j30^\circ} = 39.022 e^{-j3.7^\circ}$$

$$\underline{U}_b = 43.3 e^{j120^\circ} - 5.033 e^{j30^\circ} = 43.592 e^{j126.6^\circ}$$

$$\underline{U}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} - 5.033 e^{j30^\circ} = 47.725 e^{-j123^\circ}$$

$$\underline{I}_a = 39.022 e^{-j3.7^\circ} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.698 e^{-j40.7^\circ}$$

$$\underline{I}_b = 43.592 e^{j126.6^\circ} \cdot 14.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.65 e^{j89.6^\circ}$$

$$\underline{I}_c = 47.725 e^{-j123^\circ} \cdot 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.568 e^{-j160^\circ}$$

$$P_a = 39.022 \cdot 0.698 \cos 37^\circ = 21.8,$$

$$P_b = 43.592 \cdot 0.655 \cos 37^\circ = 22.6$$

$$P_c = 47.725 \cdot 0.568 \cos 37^\circ = 21.6$$

$$\underline{I}_0 = 0$$

Опыт 4 – Неравномерная нагрузка с нулевым проводом

$$\underline{y}_a = \frac{1}{55.9} e^{-j37^\circ} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}, \quad \underline{y}_b = \frac{1}{67.1} e^{-j37^\circ} = 14.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ},$$

$$\underline{y}_c = \frac{1}{84} e^{-j37^\circ} = 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}.$$

$$\underline{U}_{00} = 0$$

$$\underline{U}_a = 43.3 e^{j0^\circ} - 0 = 43.3 e^{j0^\circ}$$

$$\underline{U}_b = 43.3 e^{j120^\circ} - 0 = 43.3 e^{j120^\circ}$$

$$\underline{U}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} - 0 = 43.3 e^{-j120^\circ}$$

$$\underline{I}_a = 43.3 e^{j0^\circ} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.775 e^{-j37^\circ}$$

$$\underline{I}_b = 43.3 e^{j120^\circ} \cdot 14.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.645 e^{j83^\circ}$$

$$\underline{I}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} \cdot 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.515 e^{-j157^\circ}$$

$$P_a = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^\circ = 26.8,$$

$$P_b = 43.3 \cdot 0.645 \cos 37^\circ = 22.3$$

$$P_c = 43.3 \cdot 0.515 \cos 37^\circ = 17.8$$

$$\underline{I}_0 = 0.775 e^{-j37^\circ} + 0.645 e^{j83^\circ} + 0.515 e^{-j157^\circ} = 0.225 e^{-j7^\circ}$$

Опыт 5 – Обрыв линейного провода без нулевого провода

$$\underline{y}_a = \frac{1}{55.9} e^{-j37^\circ} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}, \quad \underline{y}_b = \frac{1}{\infty} e^{-j37^\circ} = 0,$$

$$\underline{y}_c = \frac{1}{84} e^{-j37^\circ} = 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}.$$

$$\underline{U}_{00} = \frac{43.3 e^{j0^\circ} \cdot 17.9 e^{-j37^\circ} + 43.3 e^{j120^\circ} \cdot 0 + 43.3 e^{-j120^\circ} \cdot 11.9 e^{-j37^\circ}}{17.9 e^{-j37^\circ} + 0 + 11.9 e^{-j37^\circ}} = 22.929 e^{-j40.8^\circ}$$

$$\underline{U}_a = 43.3 e^{j0^\circ} - 22.929 e^{-j40.8^\circ} = 29.949 e^{j30^\circ}$$

$$\underline{U}_b = 43.3 e^{j120^\circ} - 22.929 e^{-j40.8^\circ} = 65.387 e^{j126.6^\circ}$$

$$\underline{U}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} - 22.929 e^{-j40.8^\circ} = 45.049 e^{-j150^\circ}$$

$$\underline{I}_a = 29.949 e^{j30^\circ} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.536 e^{-j7^\circ}$$

$$\underline{I}_b = 65.387 e^{j126.6^\circ} \cdot 0 = 0$$

$$\underline{I}_c = 45.049 e^{-j150^\circ} \cdot 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.536 e^{j173^\circ}$$

$$P_a = 29.949 \cdot 0.536 \cos 37^\circ = 12.8,$$

$$P_b = 65.387 \cdot 0 \cos 37^\circ = 0$$

$$P_c = 45.049 \cdot 0.536 \cos 37^\circ = 19.3$$

$$\underline{I}_0 = 0$$

Опыт 6 – Обрыв линейного провода с нулевым проводом

$$\underline{y}_a = \frac{1}{55.9} e^{-j37^\circ} = 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}, \quad \underline{y}_b = \frac{1}{\infty} e^{-j37^\circ} = 0, \quad \underline{y}_c = \frac{1}{84} e^{-j37^\circ} = 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ}.$$

$$\underline{U}_{00} = 0; \quad \underline{U}_a = 43.3 e^{j0^\circ} - 0 = 43.3 e^{j0^\circ}; \quad \underline{U}_b = 43.3 e^{j120^\circ} - 0 = 43.3 e^{j120^\circ}$$

$$\underline{U}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} - 0 = 43.3 e^{-j120^\circ}.$$

$$\underline{I}_a = 43.3 e^{j0^\circ} \cdot 17.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.775 e^{-j37^\circ}; \quad \underline{I}_b = 43.3 e^{j120^\circ} \cdot 0 = 0;$$

$$\underline{I}_c = 43.3 e^{-j120^\circ} \cdot 11.9 \cdot 10^{-3} e^{-j37^\circ} = 0.515 e^{-j157^\circ}.$$

$$P_a = 43.3 \cdot 0.775 \cos 37^\circ = 26.8, \quad P_b = 43.3 \cdot 0 \cos 37^\circ = 0, \quad P_c = 43.3 \cdot 0.515 \cos 37^\circ = 17.8.$$

$$\underline{I}_0 = 0.775 e^{-j37^\circ} + 0 + 0.515 e^{-j157^\circ} = 0.683 e^{-j77.8^\circ}.$$

IV. Векторные диаграммы напряжений и токов приёмника для всех пунктов работы, построенные по опытным данным с соблюдением масштаба.

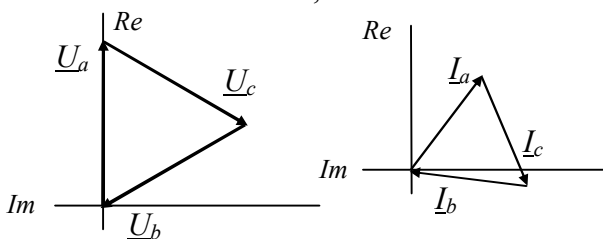
Для нечетных опытов отображаем: $\underline{U}_a + \underline{U}_b + \underline{U}_c = -3\underline{U}_{00}$

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0$$

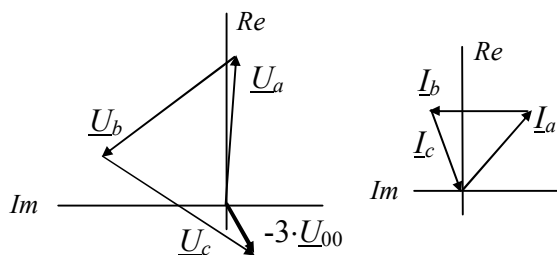
Для четных опытов отображаем: $\underline{U}_a + \underline{U}_b + \underline{U}_c = 0$

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = \underline{I}_0$$

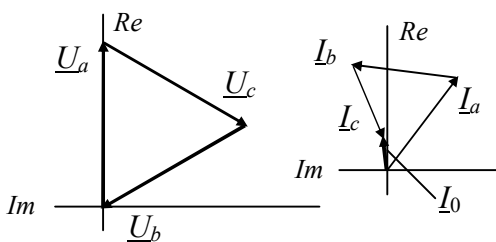
Опыты 1,2



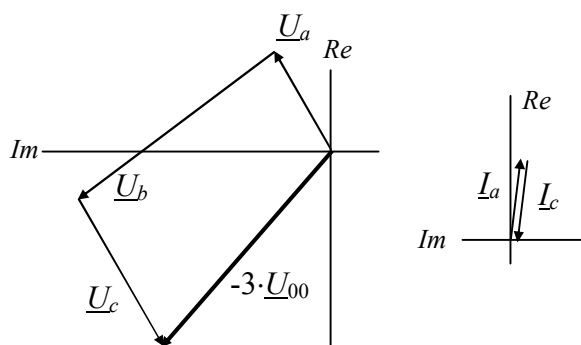
Опыт 3



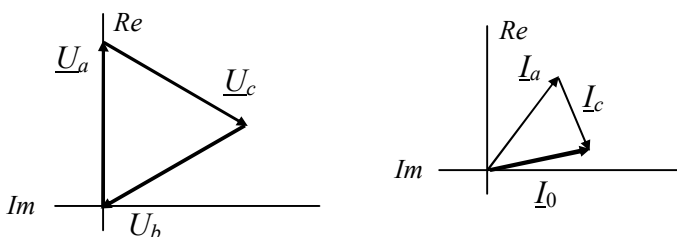
Опыт 4



Опыт 5



Опыт 6



V. Выводы по работе.

.....