

**Е.Г. Трофимов  
И.И. Боброва**

**ВИРТУАЛЬНЫЕ  
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ  
ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

**Учебно-методическое пособие**



• ФЛИНТА •

УДК 621.3  
ББК 31.2  
Т76

**Трофимов Е.Г.**

Т76      Виртуальные лабораторные работы по курсу «Электротехника»  
[Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Е.Г. Трофимов,  
И.И. Боброва. — М. : ФЛИНТА, 2017. — 97 с.

ISBN 978-5-9765-3735-4

Данное пособие посвящено организации и проведению виртуальных лабораторных работ студентами неэлектротехнических специальностей по курсу "Электротехника". Может быть использовано для заочной и дистанционной формы обучения, поскольку включает теоретический материал и рекомендации по работе с виртуальной лабораторной установкой. Учебный материал, предоставленный в издании, соответствует стандартам неэлектротехнических специальностей по заявленным темам.

УДК 621.3  
ББК 31.2

ISBN 978-5-9765-3735-4

© Трофимов Е.Г, Боброва И.И., 2017  
© Издательство «ФЛИНТА», 2017

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Требования к содержанию и оформлению отчётов по лабораторным работам.....  | 6  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Исследование электрической цепи синусоидального тока при последовательном соединении активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений ..... | 8  |
| ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....   | 8  |
| 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....   | 8  |
| 2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....   | 8  |
| 2.1. Общие положения и определения.....  | 8  |
| 2.2. Электрические цепи с активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью .....   | 12 |
| 2.3. Последовательное соединение элементов с параметрами $R, L, C$ .....   | 15 |
| 3. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА .....  | 21 |
| 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....   | 21 |
| 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА .....  | 23 |
| 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....  | 24 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Исследование электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении элементов цепи .....  | 26 |
| ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....   | 26 |
| 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....   | 26 |
| 2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ .....  | 26 |
| 2.1. Общие положения и определения.....  | 26 |
| 2.2. Электрические цепи с активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью.....  | 30 |
| 2.3. Параллельное соединение приёмников в цепях синусоидального тока .....   | 33 |
| 2.4. Повышение коэффициента мощности в электрических цепях переменного тока.....   | 36 |
| 3. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА .....  | 38 |
| 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....   | 39 |
| 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА .....  | 40 |
| 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....  | 43 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Исследование режимов работы трёхфазной электрической цепи синусоидального тока при соединении приёмников энергии по схеме «звезда».....        | 45 |
| ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....   | 45 |

|   |    |
|---|----|
| 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....  | 45 |
| 2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....  | 45 |
| 2.1. Общие положения и определения.....   | 45 |
| 2.2. Соединение приёмников по схеме четырёхпроводная звезда .....   | 46 |
| 2.3. Режимы работы трёхфазной цепи, соединённой по схеме четырёхпроводная звезда ..   | 50 |
| 2.4. Соединение приёмников по схеме трёхпроводная звезда .....  | 57 |
| 3. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА .....   | 67 |
| 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ.....  | 68 |
| 4.1. Экспериментальная часть .....  | 68 |
| 4.2. Обработка результатов эксперимента .....   | 71 |
| 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....   | 74 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Исследование электрической цепи синусоидального тока при последовательном соединении активного, индуктивного и емкостного сопротивлений в режиме резонанса напряжений..... | 76 |
| ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....  | 76 |
| 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....  | 76 |
| 2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....  | 77 |
| 2.1. Общие положения и определения.....   | 77 |
| 3. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА .....   | 82 |
| 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ.....  | 82 |
| 4.1. Экспериментальная часть .....  | 82 |
| 4.2. Обработка результатов эксперимента .....   | 83 |
| 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....   | 85 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Исследование электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении активного, индуктивного и емкостного сопротивлений в режиме резонанса токов .....         | 86 |
| ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....  | 86 |
| 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....  | 86 |
| 2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....  | 87 |
| 2.1. Общие положения и определения.....   | 87 |
| 3. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА .....   | 91 |

|   |    |
|---|----|
| 4. ПРОГРАМА РАБОТЫ .....                      | 91 |
| 4.1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....            | 91 |
| 4.2. Обработка результатов эксперимента ..... | 93 |
| 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....                   | 95 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....          | 96 |

## **Требования к содержанию и оформлению отчётов по лабораторным работам**

1. Отчет по лабораторной работе выполняется в соответствии с требованиями действующих ГОСТов и стандартов учебного заведения.

2. Отчет включает в себя разделы, отражающие все этапы выполнения работы.

2.1. Номер, название и цель работы.

2.2. Расчетное задание.

Задание выполняется перед лабораторной работой и является одним из основных элементов допуска к работе. Каждый этап расчета должен иметь свой подзаголовок. Приводятся расчетная схема (при необходимости), исходные данные, расчетные формулы, результаты расчетов в виде таблиц, необходимые графики и диаграммы, выполненные в масштабе.

2.3. Экспериментальная часть.

Включает в себя электрические схемы и результаты измерений, сведенные в таблицы; при необходимости дается обоснование выбираемых пределов измерения приборов, расчет цен деления. Каждый этап, опыт должен иметь свой подзаголовок.

2.4. Обработка результатов эксперимента.

Приводятся таблицы результатов расчетов по экспериментальным данным, все формулы, по которым делались эти расчеты, построенные по результатам экспериментов и расчетов диаграммы и графики, анализ результатов, ответы на все вопросы данного раздела руководства.

По указанию преподавателя в отчете даются ответы на контрольные вопросы, приведенные в работе. В отчете должны быть указаны группа, фамилия студента дата выполнения отчета.

3. Графическая часть отчета (схемы, таблицы, диаграммы, графики) выполняются карандашом с применением соответствующих чертежных инструментов.

3.1. Принципиальные электрические схемы вычерчиваются в соответствии с требованиями ГОСТа. Для лучшего понимания, чтения схемы

ее главный элемент рекомендуется вычерчивать более крупно, чем вспомогательные. В местах электрических соединений проводов ставят точки. Условные буквенные обозначения элементов схемы должны соответствовать ГОСТ.

3.2. Векторные диаграммы строятся в масштабе с соблюдением величин и углов и обязательным указанием масштабов (например,  $m_U=10B/cm$ ). Все векторы должны иметь буквенные обозначения в соответствии с ГОСТом; на топографических диаграммах напряжений векторы обычно не обозначаются, достаточно обозначить точки (вершины многоугольника напряжений) буквами в соответствии с буквенными обозначениями узловых точек на электрической схеме.

3.3. При построении графиков необходимо придерживаться требований ГОСТа. Так как задачей лабораторных исследований является выяснение общих закономерностей, все шкалы графиков должны начинаться с нуля. На осях графиков дается равномерная шкала с круглыми значениями оцифрованных делений. При необходимости одна из шкал может иметь логарифмическую разметку.

На рабочем поле графика с сеткой, соответствующей оцифрованным делениям шкал, указываются экспериментальные точки, максимально близко к которым проводится плавная кривая. Если на одном графике строится несколько различных кривых в функции одной и той же величины, для каждой из них вне рабочего поля графика (обычно слева от него) дается своя шкала. При построении семейства характеристик, отличающихся друг от друга значением какого-либо параметра, эти значения указываются на кривых.

4. Отчет по работе выполняется индивидуально каждым студентом и подписывается им с указанием даты выполнения. Правильно выполненный отчет по предыдущей работе является одним из условий допуска к последующей работе.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Исследование электрической цепи синусоидального тока при последовательном соединении активного, индуктивного и емкостного сопротивлений

## **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучение основных законов неразветвленной цепи переменного тока.

Освоение методик расчета и построения векторных диаграмм при последовательном соединении элементов.

## **1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

При подготовке к лабораторной работе студенты должны в обязательном порядке:

- ознакомиться по руководству с целью, программой и средствами эксперимента;
- составить заготовку отчета в соответствии с требованиями, предъявляемыми к отчету;
- уяснить теоретические положения, объясняющие явления и процессы в предстоящем эксперименте;
- ответить на вопросы, приведенные в конце данного руководства.

Выполнение перечисленных пунктов служит основанием для допуска студентов к выполнению лабораторной работы.

## **2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

### **2.1. Общие положения и определения**

Электромагнитный процесс в электрической цепи, при котором мгновенные значения напряжений и токов повторяются через равные промежутки времени, называется *периодическим*.

Наименьшее время, по истечении которого мгновенные значения периодической величины повторяются, называется *периодом  $T$  (с)*.

Величина, обратная периоду, т. е. число периодов в единицу времени, определяет *частоту*.



$$f = \frac{1}{T}, \quad [T\psi = C^{-1}].$$

Преобладающим видом процесса в электрических цепях является **синусоидальный режим**, характеризующийся тем, что все напряжения, токи и ЭДС являются синусоидальными функциями одинаковой частоты (рис. 1.1)

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi_e),$$

где —  $u, i, e$  — мгновенные значения соответствующей периодической величины;

$U_m, I_m, E_m$  — максимальные (амплитудные) значения;

$\omega$  — скорость изменения (угла), называемая угловой частотой:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Аргумент функции вида  $(\omega t + \psi)$ , определяющий стадию изменения синусоидальной величины, называется фазовым углом или **фазой**, а  $\psi_u, \psi_i, \psi_e$  — начальная фаза (при  $t = 0$ ), определяется смещением синусоиды, относительно начала координат, она измеряется абсциссой точки перехода отрицательной полуволны в положительную.

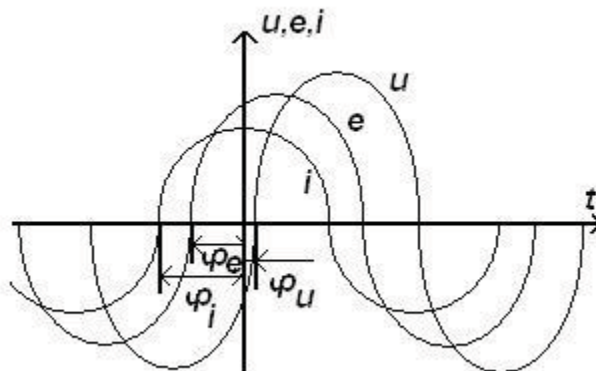


Рис. 1.1. Временные диаграммы тока, напряжения и ЭДС

При совместном рассмотрении нескольких синусоидальных функций одной частоты разность их фаз, равной разности начальных фаз, называют **углом сдвига фаз** ( $\varphi$ ).

Например, угол сдвига фаз между напряжением и током

$$\varphi = (\omega t + \psi_u) - (\omega t + \psi_i) = \psi_u - \psi_i.$$

Следует отметить, что мгновенные значения токов, напряжений и ЭДС не показательны в оценке их величин.

Синусоидальную функцию времени можно изобразить вектором, равным амплитуде данной функции, равномерно вращающимся с угловой скоростью  $\omega$ . При этом начальное положение вектора определяется (для  $t=0$ ) его начальной фазой  $\psi_i$  (рис.1.2).

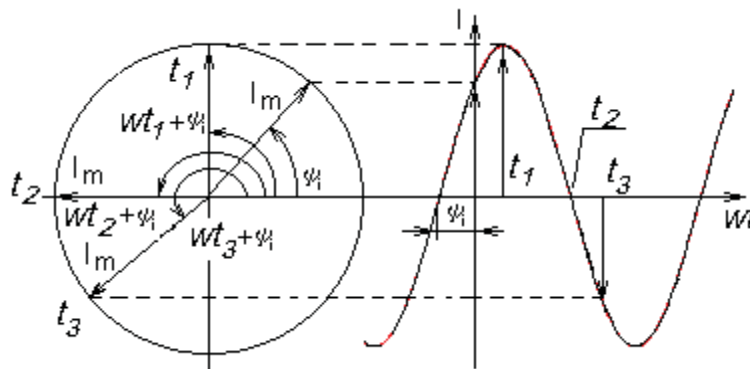


Рис. 1.2. Вращающийся вектор тока  $I_m$  и график изменения тока  $i$  во времени

При изображении синусоидальной ЭДС, напряжений и токов из начала координат проводят векторы, равные амплитудным значениям этих величин, под углом  $\psi_k$  горизонтальной оси. Положительные углы  $\psi$  откладываются против часовой стрелки.

Если вращать вектор против часовой стрелки, то в любой момент времени он составит с горизонтальной осью угол, равный  $\omega t + \psi$ . Проекция вращающегося вектора на ось ординат (ось мгновенных значений) равна мгновенному значению синусоидальной величины.

Совокупность векторов на плоскости, изображающих ЭДС, напряжения, токи одной частоты, называют **векторной диаграммой**.

При исследовании установившихся режимов векторы неподвижны, их длина равна действующим значениям электрических величин.