Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»

В.В. Юргульский

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Рекомендовано

учебно-методическим объединением высших учебных заведений Республики Беларусь по педагогическому образованию в качестве практикума для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям:

1-02 05 02 Физика; 1-02 05 04 Физика. Дополнительная специальность

В двух частях

Часть 2

УДК 537(075.8) ББК 22.33я73 Ю669

Печатается по решению редакционно-издательского совета БГПУ

Автор:

В.В. Юргульский

Рецензенты:

Ю.В. Бладыко, кандидат технических наук, заведующий кафедрой электротехники и электроники БНТУ; А.И. Корзун, кандидат технических наук, заведующий

кафедрой радиосвязи и радиовещания ВГКС

В.В. Юргульский

Ю669 Электротехника: практикум. В 2 ч. Ч. 2 / В.В. Юргульский. – Минск: БГПУ, 2011. – 96 с.

ISBN 978-985-541-007-3

В практикуме приведены описания лабораторных работ, основные теоретические положения, общие методические рекомендации по их выполнению; представлены электроизмерительные приборы и элементы автоматики.

Адресуется студентам физических факультетов педагогических учебных заведений, изучающим курс «Электротехника». Может быть полезен обучающимся в технических учебных заведениях при изучении электротехники.

УДК 537(075.8) ББК 22.33я73

ISBN 978-985-541-007-3

© В.В. Юргульский, 2011

© БГПУ. 2011

Введение

«Электротехника. Лабораторный практикум. Часть 2» предназначен для проведения лабораторных занятий по электротехнике.

Практикум включает 14 лабораторных работ разной тематики, которые выполняются на лабораторных стендах. На четвертом стенде выполняются лабораторные работы по теме «Однофазные электрические цепи переменного тока». На пятом стенде производятся измерения сопротивлений большой и малой величины, мощности в трехфазных цепях, электрической энергии индукционным счетчиком. На шестом стенде изучаются устройства и принцип работы электрических аппаратов: реле времени, реле максимального тока, теплового реле, автоматического выключателя.

В каждой работе сформулирована ее цель. Это позволяет студенту четко уяснить, что является главным, на чем надо акцентировать внимание. Описание лабораторных работ включает в себя также теорию вопроса, описание экспериментального стенда, задание, контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.

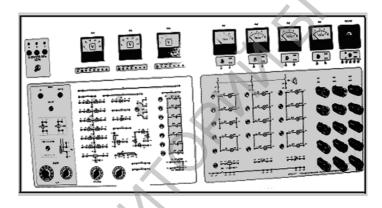
Перед тем как выполнять лабораторную работу, студент должен ознакомиться с инструкцией лабораторного стенда, в которой даны техническое описание стенда и техника безопасности.

Лабораторный стенд 04

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Назначение лабораторного стенда

Лабораторный стенд «Теоретические основы электротехники» (рис. 1) предназначен для использования в качестве учебного оборудования в учебных заведениях при проведении лабораторно-практических занятий по курсу «Теоретические основы электротехники».



Puc. 1

Технические характеристики

Напряжение питания лабораторного стенда осуществляется через понижающий трансформатор 380/220 В от трехфазной сети переменного тока с выходным линейным напряжением трансформатора 220 В (фазное напряжение 127 В).

Мощность, потребляемая стендом от сети, не более 300 Вт.

Лабораторный стенд допускает продолжительность непрерывной работы 8 часов.

Максимальный ток нагрузки ЛАТРа – 1 А.

Максимальный ток нагрузки источника питания 24 В – 1 А. Максимальный ток нагрузки выпрямительного моста – 0,3 А.

Максимальный ток переменного резистора R7 - 0.2 A (сопротивление ступени 100 Ом, 2 Вт).

Лабораторный стенд обеспечивает измерение стрелочными приборами переменного напряжения (0–250) В, тока (0–1) А; постоянного напряжения (0–100) В, тока (0–1) А и активной мощности (0–75) Вт с классом точности, указанным на приборах.

Наименование лабораторных работ:

- исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным сопротивлением и катушкой;
- неразветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью;
- разветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью;
- резонанс напряжений;
- резонанс токов.

Устройство и принцип работы

Лабораторный стенд состоит из следующих частей:

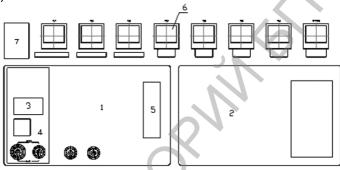
- панель лицевая;
- корпус;
- блок конденсаторов;
- блок сопротивлений;
- дроссель;
- комплект трансформаторов;
- ЛАТР;
- диодный модуль.

Панель лицевая представляет собой отдельные фрагменты электрических схем, исследуемых в процессе выполнения лабораторных работ. Необходимую схему к лабораторной работе получают путем коммутации отдельных

элементов исследуемого устройства и измерительных приборов с помощью перемычек в пределах участка стенда, относящегося к исследуемой цепи. Включение лабораторной работы производится переключателем, расположенным в данной цепи.

Все переключатели, не относящиеся к исследуемой цепи, должны находиться в положении «выключено», а гнезда неучаствующих блоков – разомкнуты.

Лицевая панель разделена на функциональные блоки (рис. 2).



Puc. 2

Обозначения на рисунке:

- 1 блок по исследованию цепей постоянного тока и однофазного переменного тока;
- 2 блок по исследованию трехфазных цепей переменного тока;
 - 3 блок источников питания;
 - 4 автотрансформатор;
 - 5 блок конденсаторов;
 - 6 блок электроизмерительных приборов;
 - 7 блок включения питания от сети.

Лабораторный стенд представляет собой корпус, в котором установлены приборная панель с контрольными приборами и рабочие панели, предназначенные для монтажа схем. К сети стенд подключается кабелем, выведенным сзади

корпуса. Для защиты от перегрузок на рабочей панели установлены предохранители.

Источники питания объединены в отдельный модуль включаются тумблером «Вкл. ИП». Нерегулируемый источник Е1 постоянного напряжения 24 В. Регулируемый источник *E2* постоянного напряжения 0...220 В является выпрямительным мостом, подключенным к выходу ЛАТРа. Для получения регулируемого переменного напряжения применен ЛАТР. Он представляет собой автотрансформатор со ступенчатой регулировкой, осуществляемой галетными переключателями «x10 В» и «x1 В». Переключатель «x10 В» изменяет напряжение с интервалом 10 В и имеет два предела изменения выходного напряжения: 0...110 В и 110...220 В, которых производится двухпозиционным переключение тумблером, расположенным непосредственно над ним. Следует иметь в виду, что при изменении пределов выходного напряжения меняется направление увеличения последнего. Это отражено на надписях, поясняющих работу тумблера переключения пределов регулирования напряжения. Переключатель «х1 В» изменяет выходное напряжение с интервалом 1 В, его работа не зависит от тумблера переключения пределов регулирования выходного напряжения. Отсчет выходного напряжения осуществляется путем сложения установок обоих переключателей с учетом положения тумблера переключения пределов регулирования. Рекомендуется для точного контроля величины выходного напряжения ЛАТРа подключать к нему вольтметр. Номинальный ток нагрузки ЛАТРа 0,5 A, допускается увеличивать ток нагрузки до 1 A на непродолжительное время (5-10 мин).

Для измерения постоянного и переменного напряжения предназначены вольтметры. Перед измерением в гнезда, расположенные над прибором, включаются коммутационные провода: один — в гнездо «Общ.» и второй — в гнездо с соответствующей надписью рода тока и предела измерения.

Для измерения силы тока предназначены универсальные амперметры, снабженные кнопочными выключателями выбора предела измерения и двумя шкалами: с крупным шрифтом — для переменного тока и мелким шрифтом — для постоянного тока (для предела измерения 0,5 А прибор имеет меньшую точность измерения, чем на его номинальном пределе измерения 0,1 А).

Катушки индуктивности рассчитаны на номинальный ток 0.5 А.

Нелинейным элементом *НЭ* является диод Д242A, имеющий максимальное обратное напряжение 100 В и максимальный прямой ток 2 А (установлен без радиатора охлаждения).

Параметры *R1...R12* указаны непосредственно на панели рядом с изображением элемента. Резисторы 62 Ом, 2 Вт; 120 Ом, 2 Вт; 240 Ом, 4 Вт; 430 Ом, 2 Вт. Исходя из этого определяется длительный допустимый ток нагрузки последних.

Переменный резистор *R13* имеет ступенчатую регулировку, осуществляемую с помощью одноименного галетного переключателя с шагом 100 Ом, 2 Вт.

Переменная индуктивность *L1* имеет ступенчатую регулировку, осуществляемую с помощью одноименного галетного переключателя; величина индуктивности определяется экспериментально и лежит в пределах 0,4–5 Гн.

Стабилитрон V3 типа Д814В с напряжением стабилизации 10 В и максимальным током стабилизации 30 мА.

Динистор V2 типа КН102A с напряжением включения 80 В и максимальным током нагрузки 200 мА.

Сборный диодный мост на базе диодов КД105Б.

Указание мер безопасности

При эксплуатации стенда необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

- 1. Стенд эксплуатировать в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.
- 2. Включение питания стенда и выполнение работ производить только после разрешения преподавателя.
- 3. Сборку электрических схем для проведения лабораторной работы, техническое обслуживание производить при отключенном питании стенда.
- 4. Корпус стенда должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не более 4 Ом.

Подготовка лабораторного стенда к работе

- Перед началом работы необходимо тщательно изучить настоящую инструкцию и подробно ознакомиться со схемой предстоящей лабораторной работы.
- Собрав необходимую электрическую схему для проведения лабораторной работы с помощью перемычек, включить тумблер «Сеть» *SB1* и соответствующий выключатель блока лабораторной работы.
- Сборку схемы производить только при отключенной питающей сети. После окончания сборки схемы тщательно проверить правильность соединений в соответствии с рисунками, прилагаемыми к лабораторным работам. Убедиться в отсутствии коротких замыканий в монтаже схемы. После чего обратиться к преподавателю за разрешением на проведение лабораторной работы.
- Приступая к работе, следует установить все тумблеры в нижнее положение, соответствующее их отключенному состоянию. При проведении работы следить за тем, чтобы величины измеряемых параметров не выходили за пределы их паспортных данных. При проведении работ, в которых токи нагрузки превышают 0,5 A, рекомендуется между экспериментами делать паузы, для того чтобы нагрузочные элементы не перегревались.

Лабораторная работа 11 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ИНДУКТИВНОСТЬЮ

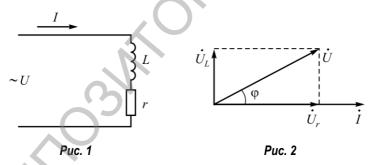
Цель работы: исследование цепи с активным сопротивлением и индуктивностью; построение векторных диаграмм, треугольников сопротивления и мощности.

Теоретические обоснования

Для цепи переменного тока (рис. 1) справедливо положение о том, что создаваемые током падения напряжений

 $U_r = Ir$ и $U_L = Ix_L$ совместно противодействуют напряжению источника.

Если бы U_r и U_L совпадали по фазе, то $U = U_r + U_L$. Докажем, что они не совпадают по фазе, при помощи векторной диаграммы (рис. 2).



Построение диаграммы начинаем с вектора тока, так как он одинаков для обоих участков. К нему пристраиваем вектор \dot{U}_r , совпадающий по фазе с током на активном сопротивлении, и вектор \dot{U}_L , опережающий ток по фазе на 90° на индуктивном сопротивлении. Получаем, что векторы \dot{U}_r

и $\dot{U}_{\rm r}$ сдвинуты между собой по фазе на 90°. Складывая их, находим результирующее напряжение цепи:

$$U = \sqrt{U_r^2 + U_L^2} \ . \tag{1}$$

В цепи, имеющей кроме индуктивного активное сопротивление, напряжение опережает ток на угол, значение которого меньше, чем 90°.

Из уравнения (1)

$$U = \sqrt{I^2 r^2 + I^2 x_L^2} = Iz, \qquad (2)$$

где z – полное сопротивление цепи,

$$z = \sqrt{r^2 + \chi_L^2} \ . \tag{3}$$

Разделив стороны треугольника напряжений (выраженные в единицах напряжения) на ток, получим треугольник сопротивлений (рис. 3), из которого

$$r = z\cos\varphi$$
, $x_L = z\sin\varphi$. (4)

Активная мощность рассматриваемой цепи $P = I^2 r$, реактивная — $Q_I = I^2 x_L$. Полная мощность цепи $S = I^2 z$. Умножив стороны треугольника напряжений (выраженные в единицах напряжения) на ток, получим треугольник мощностей (рис. 4), из кото-

рого

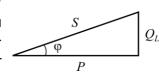
$$S = UI$$
, $S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$, (5)

$$P = S\cos\varphi = UI\cos\varphi , \qquad (6)$$

$$Q_{L} = S\sin\varphi = UI\sin\varphi . \qquad (7)$$

$$Q_{I} = S \sin \varphi = UI \sin \varphi. \tag{7}$$

единицу активной мощности принят ватт (Вт), реактивной - вольтампер реактивный (вар), полной вольт-ампер (В·А).



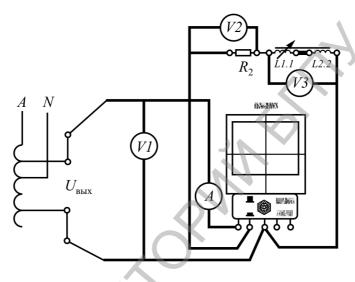
Puc. 3

Puc. 4

Выполнение работы

- 1. Изучите и соберите монтажную схему электрической цепи (рис. 5).
 - 2. Нарисуйте принципиальную схе-

му исследования электрической цепи.



Puc. 5

3. Установите регулятор напряжения в положение «0», переключатель на катушке L1.1 в положение «0».

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

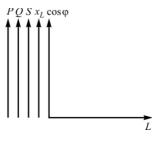
- 4. Включите тумблер «Сеть», тумблер «Вкл. ИП».
- 5. В схему подайте напряжение с регулятора ЛАТРа (0–100), при котором ток в цепи устанавливается не более 0,5 A [$U=60\,$ B].
- 6. Увеличивая индуктивность катушки *L1.1* от 0 до 10 значений индуктивности, показания приборов запишите в таблицу 1, определите активное сопротивление катушки.

NIa		Изм	ерен	ИЯ			Расчетные значения														
№ п/п	U_1	U_2	U ₃	1	Р	Z	<i>R</i> общ	R_2	$r_{\rm K}$	XL	L	$\cos\phi$	φ	Urĸ	U_L	S	Q				
11/11		В А Вт						Ом			ГН		град	Е	3	B·A	вар				
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					

Расчетные формулы:

$$\begin{split} z &= \frac{U_1}{I} \,, \; R_{\hat{\mathsf{f}} \, \hat{\mathsf{a}} \hat{\mathsf{u}}} \; = \frac{P}{I^2} \,, \; R_2 = \frac{U_2}{I} \,, \; z_{\hat{\mathsf{e}}} = \frac{U_3}{I} \,, \; r_{\hat{\mathsf{e}}} = R_{\hat{\mathsf{f}} \, \hat{\mathsf{a}} \hat{\mathsf{u}}} \, - R_2 \,, \\ x_L &= \sqrt{z_{\hat{\mathsf{e}}}^2 - r_{\hat{\mathsf{e}}}^2} \,, \; f = 50 \; \Gamma \text{L}, \; L = \frac{x_L}{2\pi f} \,, \; \cos \phi = \frac{R_{\hat{\mathsf{f}} \, \hat{\mathsf{a}} \hat{\mathsf{u}}}}{z} \,, \\ U_{r\hat{\mathsf{e}}} &= I r_{\hat{\mathsf{e}}} \,, \; U_L = I x_L \,, \; S = U_1 I \,, \; Q = I^2 x_L = U_L I \,. \end{split}$$

- 7. По данным 5 последних значений $PQSx_L\cos\varphi$ таблицы 1 постройте графики зависимостей (рис. 6) P=f L , $x_L=f$ L , Q=f L , S=f L , $\cos\varphi=f$ L .
- 8. Для одного значения индуктивности постройте векторную диаграмму, треугольник сопротивлений и треугольник мощностей.



Puc. 6

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- О сдвиге по фазе между током и напряжением в цепях с активным, индуктивным и активно-индуктивным сопротивлениями.
- Об изменении мощностей при изменении индуктивности катушки.



Контрольные вопросы

- 1. Что такое мгновенное, амплитудное и действующее значение переменного тока?
- 2. Что называется векторной диаграммой?
- 3. Какие элементы цепи обладают активным сопротивлением, а какие реактивным?
- 4. Каков физический смысл индуктивного сопротивления?



Литература

- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.

Лабораторная работа 12

НЕРАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ, ИНДУКТИВНОСТЬЮ И ЕМКОСТЬЮ. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

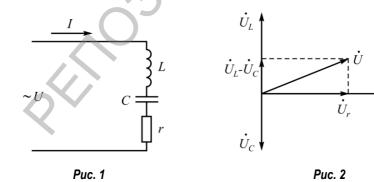
Цель работы: исследование соотношения между сопротивлениями участков, между напряжениями участков и между активной и реактивной мощностью; исследование резонанса напряжений.

Теоретические обоснования

В цепи создаваемые током (рис. 1) падения напряжений $U_r = Ir$, $U_L = Ix_L$, $U_{\tilde{N}} = Ix_{\tilde{N}}$ противодействуют напряже-

нию источника U. Совместное противодействие U_L и U_C называют реактивным напряжением U_{δ} .

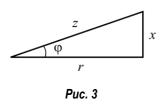
Из векторной диаграммы (рис. 2), на которой \dot{U}_L опережает ток, а $\dot{U}_{\tilde{N}}$ отстает от тока по фазе на 90°, наглядно видно, что при последовательном соединении индуктивности и емкости напряжения на них находятся в противофазе.



Разделив стороны треугольника напряжений (выраженные в единицах напряжения) на ток, получим треугольник сопротивлений (рис. 3), из которого

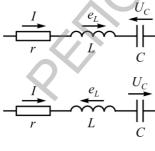
$$x = x_L - x_C \text{ in } z = \sqrt{r^2 + x_L - x_C^2}$$
 (1)

Почему же берется не сумма, а разность между реактивными сопротивлениями x_i и x_C и мощностями Q_i и Q_C ? Это



можно объяснить тем, что между катушкой и конденсатором происходит обмен энергиями, при котором мгновенные значения ЭДС самоиндукции катушки (обусловливающей x_L и Q_L) и напряжения конденсатора U_C (обусловливающего x_C и Q_C)

в любой момент времени направлены навстречу друг другу. Так, в момент, когда конденсатор заряжается, возрастающее напряжение конденсатора U_{C} направлено противоположно току (мешая зарядке), и ток уменьшается (при полной зарядке конденсатора он станет равным нулю). Уменьшение тока вызывает в катушке ЭДС самоиндукции, которая стремится по закону Ленца увеличить ток. В результате U_{C} и U_{L} направлены навстречу друг другу и энергия магнитного поля катушки посредством ЭДС самоиндукции преобразуется в энергию конденсатора. При разрядке конденсатора все происходит наоборот (рис. 4): уменьшающееся напряжение конденсатора



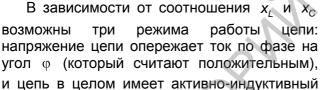
Puc. 4

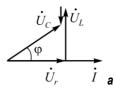
 U_{C} совпадает по направлению с током, увеличивая его, а возрастающий ток наводит ЭДС самоиндукции, направленную по правилу Ленца противоположно току. В результате U_{C} и ЭДС самоиндукции направлены навстречу друг другу и энергия конденсатора идет на создание магнитного поля катушки (рис. 4).

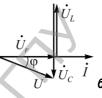
Если бы в схеме не было емкости, напряжение на катушке было бы равно напряжению источника при токе

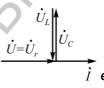
$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + \chi_L^2}} \,. \tag{2}$$

За счет емкости можно уменьшить реактивное сопротивление цепи $x=x_L-x_C$, что увеличит ток, а значит, и падение напряжения $U_L=Ix_L$. Напряжение на катушке можно увеличить, подключив последовательно с ней конденсатор. Самое большое напряжение на катушке при $x_L=x_C$.









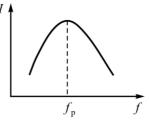
Puc. 5

характер (рис. 5, *a*); напряжение цепи отстает по фазе от тока на угол φ (который считают отрицательным), и цепь в целом имеет активно-емкостный характер (рис. 5, δ); напряжение и ток цепи совпадают по фазе, характер цепи в целом чисто активный (рис. 5, ϵ). Последний режим цепи называется резонансом напряжений, при котором $U_L = U_C$, $x_L = x_C$. Настроить цепь в резонанс напряжений можно путем изменения x_C или x_L , т. е. изменяя C, L или f.

Реактивное сопротивление цепи при I резонансе напряжений $x=x_{L}-x_{C}=0$, поэтому ток

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_L - x_C^2}} = \frac{U}{r}$$
 (3)

максимальный (рис. 6).



Puc. 6

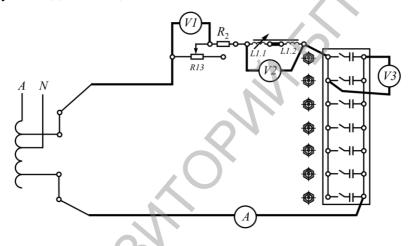
Так как при резонансе напряжений $x_L = x_C$, то частота, при которой наступает резонанс,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \,. \tag{4}$$

Выполнение работы

- 1. Изучите и соберите монтажную схему электрической цепи (рис. 7).
 - 2. Нарисуйте принципиальную схе-

му исследования цепи.



Puc. 7

3. Установите переключатель на катушке L1.1 в положение «4», переменный резистор R13 в положение «1», емкость конденсаторной батареи C=10 мкФ.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 4. Включите тумблер «Сеть», тумблер «Вкл. ИП».
- 5. Увеличивайте напряжение регулятором ЛАТРа (0–100) до 50 В, при котором напряжение $U_2 = U_3$.
 - 6. Отключите емкость конденсаторной батареи.
- 7. Изменяйте емкость конденсаторной батареи от (2–30) мкФ для (5–6) значений, показания приборов запишите

в таблицу 1. Значения R_2 и $r_{\hat{\mathbf{e}}}$ возьмите из лабораторной работы 1.

8. Индуктивность катушки L1.1 во всех опытах остается неизменной.

Таблица 1

			Из	мер	ени	1Я			Расчетные значения														
Nº п/п	U	U_1	U_2	<i>U</i> ₃	1	С	$r_{\rm K}$	Z	R ₁₃	ΧL	L	ХC	Р	U_L	Uc	$\cos\phi$	Q_L	Qc	Ю	S			
11/11	В В			Α	мкФ	Ом	Ом			Гн	Ом	Вт	-	3			вар		B·A				
1																							
2																<							
3																							
4																							
5																							

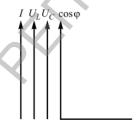
Расчетные формулы:
$$z = \frac{U}{I}, \ z_{\hat{\mathrm{e}}} = \frac{U_2}{I}, \ z_{\hat{\mathrm{e}}} = \sqrt{r_{\hat{\mathrm{e}}}^2 + x_L^2} \ , \ L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{x_L}{314} \ , \ f = 50 \ \Gamma \mathrm{L},$$

$$x_C = \frac{1}{314C} \ , \ P = I^2 R_{\hat{\mathrm{f}} \, \hat{\mathrm{a}} \hat{\mathrm{u}}} \ , \ R_{\hat{\mathrm{f}} \, \hat{\mathrm{a}} \hat{\mathrm{u}}} = R_{13} + R_2 + r_{\hat{\mathrm{e}}} \ , \ R_{13} = \frac{U_1}{I} \ ,$$

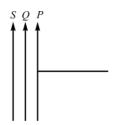
$$U_L = I x_L \ , \ U_C = I x_C \ , \ \cos \varphi = \frac{R_{\hat{\mathrm{f}} \, \hat{\mathrm{a}} \hat{\mathrm{u}}}}{z} = \frac{P}{S} \ , \ S = U I = I^2 z \ ,$$

$$Q_I = I^2 x_I = U_I I \ , \ Q_C = I^2 x_C = U_C I \ , \ Q = Q_I - Q_C \ .$$

9. По данным таблицы постройте графики зависимостей (puc. 8, 9) $I = f x_C$, $U_L = f x_C$, $U_C = f x_C$, $\cos \varphi = f x_C$, $P = f x_C$, $Q = f x_C$, $S = f x_C$.



Puc. 8



Puc. 9

10. Постройте векторные диаграммы для трех различных режимов цепи:

$$\mathbf{X}_L < \mathbf{X}_C$$
, $\mathbf{X}_L = \mathbf{X}_C$, $\mathbf{X}_L > \mathbf{X}_C$.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- Возможность получения резонанса напряжений.
- Характер резонансных кривых.



Контрольные вопросы

- 1. По каким формулам рассчитываются индуктивное и емкостное сопротивления?
- 2. Как изменяются индуктивное и емкостное сопротивления при увеличении частоты переменного тока?
- 3. Дайте определение активной и реактивной мощности.
- 4. Как рассчитывается полное сопротивление неразветвленной цепи?
- 5. В каких единицах измеряется полная, активная и реактивная мошность?
- 6. Что такое резонанс напряжений? Какими признаками он характеризуется?
- 7. Как настроить цепь в резонанс напряжений?
- 8. Как найти активную мощность через полную и реактивную мощность?
- 9. Как определить ток через полную, активную и реактивную мощность?



Литература

- 1. *Китунович, Ф.Г.* Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 3. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 13

РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Цель работы: изучить разветвленную цепь, содержащую r и L; построить векторные диаграммы, треугольники токов, проводимостей, мощностей.

Теоретические обоснования

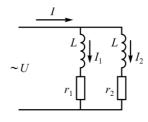
Параллельное соединение широко применяется для приемников переменного тока (двигателей, осветительных

устройств, бытовых приборов и т. д.). Они подключаются к общей сети переменного тока, напряжение в которой поддерживается почти постоянным.

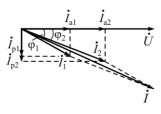
Параллельное подключение двух различных двигателей переменного тока можно рассматривать как случай параллельного соединения приемников с различными индук-

тивными сдвигами фаз ϕ_1 и ϕ_2 . Для анализа условий такого соединения построим соответствующую векторную диаграмму. Исходным вектором диаграмм для параллельного соединения следует считать вектор общего напряжения \dot{U} , так как такое напряжение одно и то же для всех ветвей параллельного соединения (рис. 2).

Направляем этот вектор по горизонтальной оси. Под углами ϕ_1 и ϕ_2 по отношению к \dot{U} строим векторы токов \dot{l}_1 и \dot{l}_2 , а так как $\dot{l}=\dot{l}_1+\dot{l}_2$, то находим \dot{l} как геометрическую сумму токов двух ветвей. Затем на \dot{l} как на гипотенузе



Puc. 1



Puc. 2

строим треугольник, один катет которого параллелен \dot{U} , а другой перпендикулярен ему. Как видно из построения, один катет будет представлять собой сумму активных составляющих токов ветвей

$$I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 = I_{a1} + I_{a2} = I \cos \varphi$$
,

а второй катет – сумму реактивных составляющих токов

$$I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2 = I_{p1} + I_{p2} = I \sin \varphi$$
.

Общий ток

$$I = \sqrt{I\cos\phi^2 + I\sin\phi^2} = \sqrt{I_{a1} + I_{a2}^2 + I_{p1} + I_{p2}^2}$$

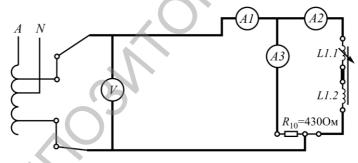
Общая активная мощность будет

$$P = UI\cos\varphi = UI_a = U I_{a1} + I_{a2}$$

Выполнение работы

- 1. Изучите и соберите схему электрической цепи (рис. 3).
 - 2. Нарисуйте принципиальную схе-

му исследования цепи.



Puc. 3

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 3. Установите переключатель на катушке *L1.1* в положение «5».
 - 4. Включите тумблер «Сеть», тумблер «Вкл. ИП».
- 5. Установите напряжение регулятором ЛАТРа (0–100) 40 B.

6. Изменяйте индуктивность L1.1 от положения 5 до 0, показания приборов запишите в таблицу 1, значения $r_{\hat{\rm e}}$ возьмите из лабораторной работы 1 для переключателя на катушке L1.1.

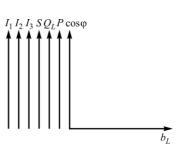
Таблица 1

№ п/п	V	1змер	рения	F		Расчетные значения													
	U	<i>I</i> ₁	12	l ₃	g	g bl y xl L		L	cos φ	IL	Р	QL	S						
11/11	В	В А			(Ом−1		Ом	Гн		Α	Вт	вар	B·A					
1																			
2																			
3																			
4																			
5										1.6									

Расчетные формулы:

$$\begin{split} g &= g_{10} + g_{\hat{\mathbf{e}}}, \ g_{10} = \frac{I_3}{U}, \ Z_{\hat{\mathbf{e}}} = \frac{U}{I_2}, \ Z_{\hat{\mathbf{e}}} = \sqrt{r_{\hat{\mathbf{e}}}^2 + x_L^2} \ , \\ g_{\hat{\mathbf{e}}} &= \frac{r_{\hat{\mathbf{e}}}}{Z_{\hat{\mathbf{e}}}^2}, \ b_L = \frac{x_L}{Z_{\hat{\mathbf{e}}}^2}, \ y = \frac{I_1}{U}, \ \cos \phi = \frac{g_{10} + g_{\hat{\mathbf{e}}}}{y} \ , \\ \mathcal{D} &= I_3^2 R_{10} + I_2^2 r_{\hat{\mathbf{e}}}, \ Q_L = I_2^2 x_L \ , \ S = U I_1 \ , \\ L &= \frac{x_L}{314}, \ I_L = U b_L \ . \end{split}$$

- 7. По данным таблицы постройте $I_1 I_2 I_3 SQ_L P \cos \varphi$ графики зависимостей, изображенные на рис. 4, $I_1 = f \ b_L$, $I_3 = f \ b_L$, $I_2 = f \ b_L$, $Cos \varphi = f \ b_L$, $P = f \ b_L$, $Q_L = f \ b_L$, $S = f \ b_L$.
- 8. Для одного случая постройте векторную диаграмму и треугольники проводимостей и мощностей.



Puc. 4

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- Об изменении токов.
- Об изменении проводимостей.
- Об изменении мощностей.
- Об изменении коэффициента мощности при изменении реактивной проводимости (*b_i*).

\odot

Контрольные вопросы

- 1. Какие элементы цепи обладают активным сопротивлением, а какие реактивным?
- 2. Каков физический смысл индуктивного сопротивления?
- 3. Сравните, как сдвинуты по фазе ток и напряжения в цепях с активным сопротивлением, индуктивностью.
- 4. В какой последовательности рассчитывается ток цепи при параллельном соединении катушки и активного сопротивления?
- 5. В какой последовательности строится векторная диаграмма в разветвленных цепях?



Литература

- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 3. Касаткин, А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 14 РЕЗОНАНС ТОКОВ

Цель работы: исследовать резонанс токов; снять резонансные кривые при переменной емкости.

Теоретические обоснования

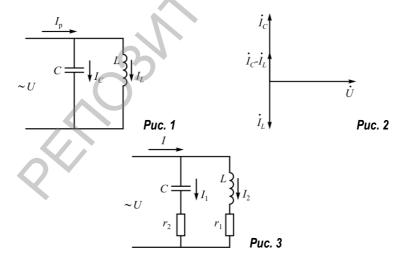
Сначала рассмотрим параллельное соединение индуктивности и емкости (рис. 1).

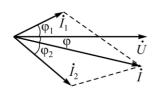
Построим векторную диаграмму (рис. 2). Построение начинаем с вектора напряжения, так как при параллельном соединении элементов цепи напряжение на них одинаковое. Из диаграммы видно, что \dot{I}_L и \dot{I}_C находятся в противофазе, поэтому реактивный ток цепи равен разности емкостного и индуктивного токов. При этом катушка и конденсатор обмениваются реактивной мощностью.

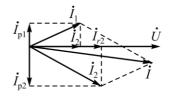
Тогда ток в общей цепи равен:

$$\dot{I}_{\delta} = \dot{I}_{C} - \dot{I}_{L}. \tag{1}$$

Пусть мы имеем электрическую цепь (рис. 3).







Puc. 4

Построим для нее векторную диаграмму (рис. 4). К вектору напряжения пристраиваем вектор тока \dot{l}_2 , отстающий от напряжения по фазе на угол ϕ_2 . Так как характер тока \dot{l}_1 активно-емкостный, то он опережает напряжение по фазе на угол ϕ_1 . Пристраиваем вектор тока \dot{l}_2 к концу вектора \dot{l}_1 , чтобы получить результирующий вектор тока цепи \dot{l} . Треугольник токов \dot{l}_1 , \dot{l}_2 , \dot{l} не прямоугольный, поэтому применить теорему Пифагора для него нельзя. Но вектор тока \dot{l} можно разложить на две составляющие: \dot{l}_r — активный ток, совпадающий по фазе с напряжением, и \dot{l}_δ — реактивный ток, сдвинутый по фазе относительно напряжения на 90°.

Тогда для расчета тока цепи можно применить следующее выражение:

$$\dot{I}_r = \dot{I}_{r1} + \dot{I}_{r2}, \ \dot{I}_{\delta} = \dot{I}_{\delta 1} + \dot{I}_{\delta 2},$$

где $I_{r1} = I_1 \cos \varphi_1$, $I_{r2} = I_2 \cos \varphi_2$, $I_{\delta 1} = I_1 \sin \varphi_1$, $I_{\delta 2} = I_2 \sin \varphi_2$.

З а м е ч а н и е . При расчетах реактивный ток индуктивного характера берется со знаком «плюс», а емкостного характера – со знаком «минус», так как катушка и конденсатор обмениваются энергией.

Таким образом, результирующий ток цепи можно определить или графическим методом из векторной диаграммы, построенной в масштабе, или методом активных и реактивных токов. Если емкость конденсатора подобрать так, чтобы $I_{\delta 2} = I_{\delta 1}$, то $I_{\delta} = I_{\delta 2} - I_{\delta 1} = 0$. В этом случае источник выдает в цепь только активную мощность. Реактивную мощность катушка получит от конденсатора за счет обмена энергиями, и ток цепи совпадет по фазе с напряжением (рис. 5). Такой режим цепи называется резонансом токов.



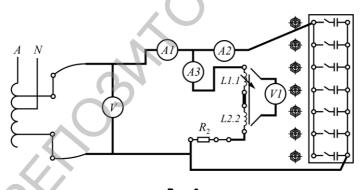
Puç. 5

Настроить цепь в резонанс токов можно изменением индуктивности, емкости или частоты. Из диаграммы (рис. 5) видно, что при резонансе токов ток цепи минимальный. Таким образом, подключая конденсатор параллельно катушке, можно значительно уменьшить ток, потребляемый катушкой от источника.

Выполнение работы

- 1. Изучите и соберите схему электрической цепи (рис. 6).
 - 2. Установите переключатель на ка-

тушке L1.1 в положение «2».



Puc. 6

- 3. Переключатель на регуляторе напряжения ЛАТРа установите в положение «0», тумблер конденсаторной батарей установите в положение «Выкл.».
 - 4. Нарисуйте принципиальную схему исследования цепи. Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 5. Наберите емкость конденсаторной батареи $\tilde{N}=12$ мкФ и с помощью регулятора напряжения ЛАТРа (50 В) добейтесь резонанса токов, т. е. $I_2\approx I_3$.
- 6. Изменяйте емкость конденсаторной батареи от (2-30) мкФ, показания приборов запишите в таблицу 1, значения $r_{\hat{e}}$ возьмите из лабораторной работы 1 для переключателя на катушке L1.1.

Таблица 1

Nie			/13N	ер	ения			Расчетные значения														
№ п/п	U	<i>I</i> ₁	<i>I</i> ₂	lз	С	$r_{\rm K}$	Р	g	ХC	Ук	bь	bc	b	у	$\cos\phi$	$\sin\phi$	φ	I ак	ΙL	Q	S	
11/11	В		Α		мкФ	Ом	Вт	СМ	Ом	Ом-1							град	P	\	вар	B·A	
1																						
2														4								
3														4								
4														1								
5																						

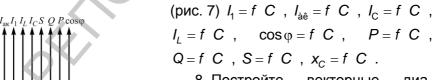
Расчетные формулы:

$$g = g_2 + g_{\hat{e}}, \ g_2 = \frac{I_3}{U}, \ Z_{\hat{e}} = \frac{U_1}{I_3}, \ Z_{\hat{e}} = \sqrt{r_{\hat{e}}^2 + X_L^2}, \ g_{\hat{e}} = \frac{r_{\hat{e}}}{Z_{\hat{e}}^2}, \ b_L = \frac{X_L}{Z_{\hat{e}}^2},$$

$$y = \frac{l_1}{U}, \ y_{\hat{e}} = \frac{l_3}{U}, \ b_C = \frac{l_2}{U}, \ b = b_L - b_C, \cos \phi = \frac{g}{y}, \sin \phi = \frac{b}{y},$$

$$P = UI_1 \cos \varphi$$
, $I_{\hat{a}\hat{e}} = Ug$, $X_C = \frac{1}{314C}$, $I_L = Ub_L$, $S = UI_1$, $Q = S \sin \varphi$.

7. По данным таблицы постройте графики зависимостей



8. Постройте векторные диаграммы для трех различных режимов цепи:

$$b_C < b_L, \ b_C = b_L, \ b_C > b_L.$$

Puc. 7

9. Определите волновое сопротивление колебательного контура:

$$ho = \frac{1}{\omega \, C_{
m o\acute{a}c}}$$
, $\omega = 314$ рад/с, $f = 50$ Гц.

10. Определите индуктивность катушки, при которой в цепи наступает резонанс токов:

$$L = \frac{X_L}{C}$$
, $X_L = \sqrt{Z_{\hat{e}}^2 - r_{\hat{e}}^2}$.

11. Определите добротность колебательного контура:

$$Q = \frac{\rho}{r}$$
.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- О возможности получения резонанса токов.
- О характере резонансных кривых.

Контрольные вопросы

- 1. Что такое резонанс токов? Какими признаками он характеризуется?
- 2. Как настроить цепь в резонанс токов?
- 3. В какой последовательности рассчитывается ток цепи при параллельном соединении катушки и конденсатора?
- 4. В какой последовательности строится векторная диаграмма в разветвленных цепях?
- 5. Укажите условия, при которых возникает резонанс токов.
- 6. Как найти активную мощность через полную и реактивную мощность?

Э Литература

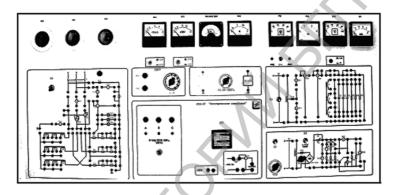
- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.

Лабораторный стенд 05

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Назначение лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис. 1) предназначен для проведения лабораторных работ по курсу «Электрические измерения».



Puc. 1

Технические характеристики

Напряжение питания лабораторного стенда осуществляется от трехфазной сети переменного тока, линейное напряжение 220 В (фазное 127 В), частота 50 Гц.

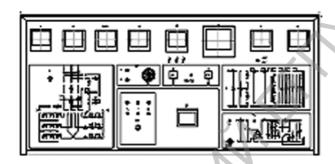
Потребляемая мощность: со встроенной нагрузкой – не более 200 Вт; с внешней нагрузкой – не более 1500 Вт.

Наименование лабораторных работ:

- расширение пределов измерения амперметра и вольтметра;
- проверка однофазного счетчика электрической энергии индукционной системы;
- измерение сопротивлений косвенным методом;
- измерение активной мощности в трехфазных цепях.

Устройство и принцип работы

Корпус состоит из стола и жестко соединенной с ним настольной приставки с лицевой панелью, на которой изображена принципиальная электрическая схема и установлена коммутационная и исследуемая аппаратура (рис. 2).



Puc. 2

Принципиальная электрическая схема на лицевой панели для удобства выполнения работ разделена на функциональные блоки.

На лицевой панели расположены:

- тумблер включения стенда;
- индикатор наличия сетевого напряжения.

Для сборки исследуемых схем используются перемычки, при помощи которых производится коммутация соответствующих гнезд, выведенных на лицевую панель стенда.

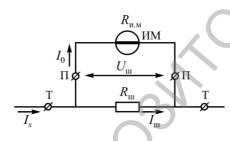
Лабораторная работа 15 РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

Цель работы: изучить методы расширения пределов измерения амперметров; изучить методы расчета сопротивления шунтов; изучить методы расширения пределов измерения вольтметров; изучить методы расчета сопротивления добавочных резисторов.

Теоретические обоснования

Для расширения пределов измерения амперметров применяют особые вспомогательные устройства — *шунты*.

Шунт представляет собой четырехзажимный резистор $R_{\!\scriptscriptstyle \wp}$, который вместе с измерительным механизмом, подключенным к его потенциальным зажимам Π , при помощи токовых зажимов T включается в цепь измеряемого тока $I_{\scriptscriptstyle x}$ (рис. 1).



Puc. 1

Шунт преобразует ток в падение напряжения. Для постоянного тока уравнение преобразования имеет вид:

$$U_{\varnothing} = R_{\varnothing} I_{\varnothing} , \qquad (1)$$

где I_{\varnothing} – ток в шунте.

Но шунт можно рассматривать и как делитель напряжения с коэффициентом деления (шунтирования):

$$n = \frac{I_x}{I_0} = \frac{R_{\hat{e},\hat{i}} + R_{\varphi}}{R_{\varphi}},$$
 (2)

где I_0 – ток в измерительном механизме; $R_{\rm \hat{e},\hat{i}}$ – сопротивление измерительного механизма.

Это позволяет расширить пределы измерения измерительного механизма по току, т. е. измерять токи, значительно

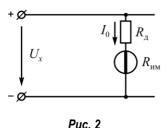
превосходящие ток, на который рассчитан измерительный механизм. Из этого следует:

$$R_{\varnothing} = \frac{R_{e.i}}{n-1}.$$
 (3)

Шунты изготовляются из манганина и применяются почти исключительно с магнитоэлектрическими измерительными механизмами на постоянном токе. Применять шунты для электродинамической системы и других систем нецелесообразно, поскольку эти измерительные механизмы потребляют большую мощность, что приводит к необходимости иметь значительные U_{\wp} , а следовательно, и R_{\wp} , приводящие в свою очередь к увеличению габаритов и массы шунтов. Кроме того, применение шунтов на переменном токе приводит к погрешности, обусловленной перераспределением токов I_{\wp} и I_{\wp} при разных частотах из-за влияния реактивных сопротивлений измерительного механизма и шунта.

На токи до 30...50 А применяют внутренние шунты, размещаемые в корпусе прибора. На большие токи шунты делаются наружными для исключения нагревания прибора шунте мощностью. Наружные выделяемой изготовляются на токи до 10 000 А и имеют массивные наконечники из красной меди для включения в цепь тока. Между наконечниками впаяны манганиновые пластины или круглые стержни для улучшения охлаждения шунта. Эти шунты делаются взаимозаменяемыми, т. е. на фиксированные U_a (60, 75, 100, 150 и 300 мВ) и потенциальные зажимы шунта соединяют с измерительным механизмом калиброванными проводами, сопротивления которых оговорены ГОСТ 8042-68. Калиброванные шунты в зависимости от точности их подгонки подразделяют на классы 0.02; 0.05; 0.1; 0.2; 0.5.

Резистор, включенный последовательно с измерительным механизмом (*ИМ*), вращающий момент которого зависит от тока, и используемый для измерения напряжения, называется



добавочным резистором. Его основное назначение – преобразовать напряжение в ток.

Ток I_0 в цепи UM (рис. 2) определяется уравнением преобразования

$$I = \frac{U_{x}}{R_{e,i} + R_{a}},$$

где U_x – измеряемое напряжение; $R_{\rm e.i}$ – сопротивление $\it UM$; $R_{\rm a}$ – сопротивление добавочного резистора.

Добавочные резисторы служат также для расширения пределов измерения по напряжению уже готовых вольтметров и других приборов, например ваттметров, фазометров, имеющих параллельные цепи, включаемые под напряжение.

Если вольтметр имеет номинальный предел измерения $U_{\rm i}$ и сопротивление $R_{\rm e.i.}$ и нужно расширить предел до $U_{\rm i}' > U_{\rm i}$, то справедливо равенство

$$\frac{U_{i}}{R_{h,i}} = \frac{U_{i}'}{R_{h,i} + R_{h,i}}.$$
 (5)

Отсюда сопротивление резистора

$$R_{\ddot{a}} = R_{\dot{a}}, \quad n-1 , \qquad (6)$$

где $n = U_i' / U_i$ обычно называется множителем шкалы.

Добавочные резисторы изготовляются обычно из манганиновой проволоки, намотанной на каркас из изоляционного материала.

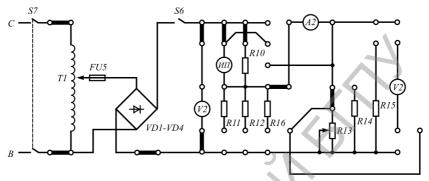
У вольтметров с верхним пределом измерения до 300 В добавочные резисторы встраивают внутри корпуса прибора. При устройстве вольтметров с пределом измерения свыше 300 В добавочные резисторы из-за их размеров и по условиям охлаждения устанавливают вне корпуса прибора.

В зависимости от точности подгонки добавочные резисторы подразделяются на классы: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

Выполнение работы

- 1. Расширение пределов измерения амперметра.
 - 1.1. Соберите и изучите схему, при-

веденную на рис. 3.



Puc. 3

- 1.2. Нарисуйте принципиальную схему исследования цепи.
- В данной работе поверяемым является миллиамперметр ИП с добавочным шунтом R10 (при этом величина его полного отклонения равна 30 мA), а контрольным A2.
- 1.3. Перед включением стенда установите переключатель ЛАТРа *T1* в начальное положение. Переменный резистор *R13* установить на максимальное сопротивление.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

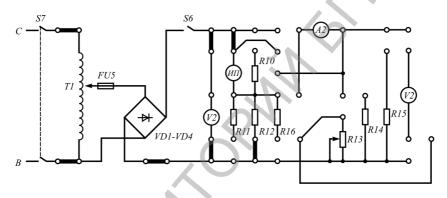
- 1.4. Включите стенд, затем тумблер включения питания ЛАТРа T1 (S7) и, наконец, тумблер питания цепей постоянного тока (S6).
- 1.5. Установите напряжение регулятором ЛАТРа 40 В до получения измеряемого тока, дальнейшее увеличение тока осуществляется плавно с помощью переменного резистора R13; снимите показания приборов A2 и $U\Pi$.
- 1.6. По окончании работы верните все тумблеры в исходное положение.

1.7. Определите величину сопротивления шунта R10 измерительного прибора $U\Pi$ по формуле

$$R_{\infty} = \frac{R_{\rm e.\ddot{i}}}{n-1}$$
,

для чего измерьте омметром сопротивление рамки измерительного механизма *ИП*.

- 2. Расширение пределов измерения вольтметра.
- 2.1. Соберите и изучите схему, приведенную на рис. 4.



Puc. 4

2.2. Нарисуйте принципиальную схему исследования цепи. В данной работе в качестве поверяемого вольтметра используется миллиамперметр ИП с $U_{\rm i}=100$ мВ и добавочным резистором $R_{\rm a}-R12$ (при этом его максимальное отклонение соответствует 100 В), контрольным является V2, а для случая ИП с добавочным резистором R11 максимальное отклонение соответствует 50 В.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

2.3. Включите тумблер питания ЛАТРа *Т1 (S7)*, тумблер питания цепей постоянного тока *(S6)*.

- 2.4. Установите напряжение регулятором ЛАТРа 40 В до получения измеряемого напряжения на приборе $\mathcal{U}\Pi$, снимите показания приборов V2 и $\mathcal{U}\Pi$.
- 2.5. По окончании работы верните все тумблеры в исходное положение и отключите стенд.
- 2.6. Определите величину сопротивления добавочного резистора R12 измерительного прибора $U\Pi$ по формуле

$$R_{\ddot{a}} = R_{\grave{e}.\ddot{i}} \quad n-1$$
.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- О назначении шунта и добавочного сопротивления.
- Как подключаются шунт и добавочное сопротивление?

Контрольные вопросы

- 1. Какой вид имеет схема включения наружных шунтов?
- 2. Определите сопротивление шунта для измерительного механизма с током полного отклонения 5 мА и $R_{\rm e.i}=3$ Ом, если нужно измерить ток 150 А.
- 3. Каким должно быть сопротивление шунта к миллиамперметру, рассчитанному на 75 мВ, с током полного отклонения 7,5 мА для измерения тока 7,5 А?
- 4. Какой ток можно измерить прибором, рассчитанным на 10 мА ($R_{\rm e.i.}=10$ Ом), если его включить с шунтом, сопротивление которого $R_{\rm p}=0,01$ Ом?
- 5. Какие вспомогательные элементы применяются для изменения пределов измерения магнитоэлектрических вольтметров?
- 6. Какого порядка должно быть сопротивление добавочного резистора к измерительному механизму с $R_0 = 1$ Ом

- и падением напряжения на рамке $U_0 = 10$ мВ для получения вольтметра с $U_i = 10$ В?
- 7. До какого значения напряжения будет расширен предел измерения вольтметра с сопротивлением рамки $R_0 = 1$ Ом и падением напряжения на ней $U_0 = 10$ мВ при включении добавочного резистора $R_{\rm a} = 100\,000$ Ом?



Литература

- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Касаткин, А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.
- 3. *Иванов, И.И.* Электротехника / И.И. Иванов, В.С. Равдоник. М.: Высш. шк., 1984.

Лабораторная работа 16 ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: изучить схемы определения сопротивлений по методу вольтметра и амперметра; оценить погрешность измерения при различных способах включения вольтметра и амперметра.

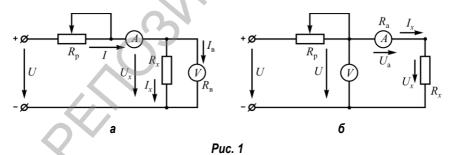
Теоретические обоснования

Метод вольтметра и амперметра – косвенный способ определения различных сопротивлений, позволяющий ста-

вить элемент с определенным сопротивлением в рабочие условия. Этот метод основан на использовании закона Ома для участка цепи, сопротивление $R_{\rm x}$ которого определяется по известному падению напряжения $U_{\rm x}$ на нем и току $I_{\rm x}$ так:

$$R_{x} = \frac{U_{x}}{I_{y}}. (1)$$

Существуют различные способы измерения падения напряжения U_{x} и тока I_{x} (рис. 1).



Измерительные части приведенных схем не обеспечивают одновременное измерение напряжения U_x и тока I_x . Так, 1-я схема (рис. 1, a) позволяет измерить с помощью вольтметра

напряжение U_x , а амперметр дает возможность определить ток I, равный сумме I_x и $I_{\hat{\mathbf{a}}}$, из которых последний является током обмотки вольтметра. В этом случае определяемое сопротивление

$$R_{x} = \frac{U_{x}}{I_{x}} = \frac{U_{x}}{I - I_{\hat{a}}} = \frac{U_{x}}{I - \frac{U_{x}}{R_{\hat{a}}}},$$
 (2)

где $R_{\hat{a}}$ – сопротивление вольтметра.

Во второй схеме амперметр учитывает ток I_x , но вольтметр показывает напряжение U, равное сумме падений напряжений U_x на сопротивлении R_x и $U_{\dot{\rm a}}$ на амперметре, поэтому определяемое сопротивление

$$R_{x} = \frac{U_{x}}{I_{x}} = \frac{U - U_{\dot{a}}}{I_{x}} = \frac{U}{I_{x}} - \frac{U_{\dot{a}}}{I_{x}} = \frac{U}{I_{x}} - R_{\dot{a}},$$
 (3)

где $R_{\rm a}$ – сопротивление амперметра.

Следовательно, если при расчете определяемого сопротивления учитывать сопротивления приборов, то все схемы равноценны.

Если определяемое сопротивление $R_{\rm x}$ мало по сравнению с сопротивлением вольтметра $R_{\rm \hat{a}}$, током $I_{\rm \hat{a}}$ можно пренебречь и, применяя первую схему (рис. 1, a), находить сопротивление $R_{\rm x}$ так:

$$R_{x} = R_{x}' = \frac{U_{x}}{I}, \tag{4}$$

допуская относительную погрешность

$$\gamma_0' = \frac{R_X' - R_X}{R_Y} = -\frac{R_X'}{R_{\hat{a}}} = -\frac{R_X}{R_X + R_{\hat{a}}}.$$
 (5)

В тех случаях, когда определяемое сопротивление $R_{\rm x}$ сравнимо с сопротивлением вольтметра $R_{\rm a}$ и пренебречь

 $I_{\rm a}$ нельзя, следует пользоваться второй схемой (рис. 1, δ) и при расчете не учитывать падение напряжения $U_{\dot{a}}$ на амперметре, определяя сопротивление R_{x} так:

$$R_{x} = R'_{x} = \frac{U}{I_{x}} \tag{6}$$

при относительной погрешности измерения

$$\gamma_0'' = \frac{R_x' - R_x}{R_x} = \frac{R_{\dot{a}}}{R_x - R_{\dot{a}}} = \frac{R_{\dot{a}}}{R_x}. \tag{7}$$

Для выявления пределов целесообразности использования той или другой схемы следует приравнять относительные погрешности, а затем найти значение сопротивления R_{x} , для которого обе схемы равноценны:

$$\frac{R_{x}}{R_{x}+R_{\hat{a}}}=\frac{R_{\hat{a}}}{R_{x}},$$
 (8)

или

$$R_x^2 - R_{\hat{a}}R_x - R_{\hat{a}}R_{\hat{a}} = 0.$$
 (9)
 $R_x \cong \sqrt{R_{\hat{a}}R_{\hat{a}}}$ (10)

Откуда

$$R_{\chi} \cong \sqrt{R_{\hat{a}}R_{\hat{a}}}$$
 (10)

Следовательно, для сопротивлений $R_{\rm x} < \sqrt{R_{\rm \hat{a}}R_{\rm \hat{a}}}$ предпочтительна схема рис. 1, a, а для сопротивлений $R_{\rm x} > \sqrt{R_{\rm \hat{a}}R_{\rm \hat{a}}}$ – схема рис. 1, б. Первую из них называют схемой для определения «малых» сопротивлений, а вторую – схемой для определения «больших» сопротивлений.

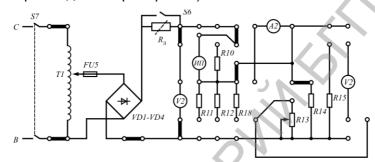
При определении сопротивлений методом вольтметра и амперметра следует выбирать магнитоэлектрические приборы с такими пределами измерений, чтобы показания их были близки к номинальным значениям, так как это обеспечивает меньшие погрешности измерения.

Выполнение работы

В данной работе необходимо косвенным методом измерить сопротивление R14 (малой величины 300 Ом)

и сопротивление R15 (сравнимое с сопротивлением обмотки вольтметра 10 кОм).

- 1. Измерение сопротивлений малой величины.
- 1.1. Соберите схему согласно рис. 2 (с включением вольтметра V2 до амперметра $V\Pi$).

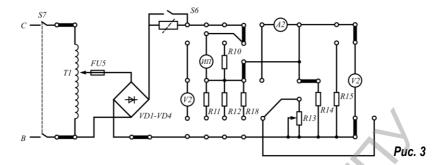


Puc. 2

1.2. Нарисуйте принципиальную схему исследования измерения сопротивления.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 1.3. Включите стенд, затем тумблер включения питания ЛАТРа *T1 (S7)*, тумблер *S6* находится в выключенном положении.
- 1.4. Установите напряжение регулятором ЛАТРа 30 В до получения измеряемого тока.
- 1.5. Ручкой потенциометра $R_{\ddot{a}}$ плавно установите величину напряжения по вольтметру V2 1 В.
 - 1.6. Снимите показания тока по амперметру *ИП*.
- 1.7. По окончании опыта верните все тумблеры в исходное положение.
- 1.8. Соберите схему согласно рис. 3 (с включением вольтметра V2 после амперметра $U\Pi$). Повторите измерения согласно пунктам 1.4–1.7.



1.7. Рассчитайте $R_{\rm x}14$ по схеме рис. 2 и рис. 3 по формуле

$$R_{x}14 = \frac{U_{2}}{I_{\dot{E}\ddot{I}}}.$$

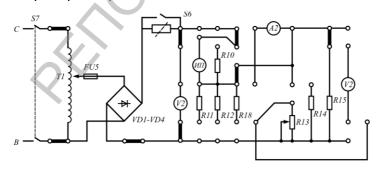
1.8. Измерьте сопротивление *R14* с помощью омметра. Оцените погрешность измерения по формуле

$$\delta = \frac{R_x 14 - R14}{R14} \ .$$

- 1.9. Определите, какая схема предпочтительна.
- 2. Измерение сопротивлений большой величины.

В данном опыте измеряется сопротивление R15, вольтметром служит V2, предел измерения 100 В.

Соберите схему согласно рис. 4 (вольтметр V2 включен до амперметра $V\Pi$).

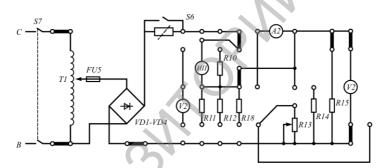


Puc. 4

2.1. Нарисуйте принципиальную схему исследования измерения сопротивления.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 2.2. Включите тумблер питания ЛАТРа *Т1 (S7)*, тумблер питания цепей постоянного тока *(S6)*.
- 2.3. Установите напряжение регулятором ЛАТРа 40 В (в качестве вольтметра прибор V2 на пределе 100 В) до получения измеряемого тока на приборе $V\Pi$, снимите показания приборов V2 и $V\Pi$.
- 2.4. По окончании опыта верните все тумблеры в исходное положение.
- 2.5. Сделайте перекоммутацию таким образом, чтобы амперметр *ИП* был включен перед вольтметром, и повторите измерения согласно пункту 2.3 (рис. 5).



Puc. 5

2.6. Рассчитайте $R_{\rm x}15$ по схеме рис. 4 и рис. 5 по формуле

$$R_{x}15 = \frac{U_{2}}{I_{\dot{E}\ddot{I}}}.$$

2.7. Измерьте сопротивление *R15* с помощью омметра. Оцените погрешность измерения:

$$\delta = \frac{R_x 15 - R15}{R15}.$$

2.8. Определите, какая схема предпочтительна.

2.9. По окончании работы верните все тумблеры в исходное положение и отключите стенд.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- О методах определения сопротивлений.
- От каких факторов зависит погрешность измерения сопротивления?

\odot

Контрольные вопросы

- 1. Каков принцип работы омметра?
- 2. Почему у омметра обратная шкала?
- 3. Перечислите достоинства разных методов определения сопротивления.
- 4. От каких факторов зависит погрешность измерения сопротивления методом амперметра вольтметра?
- 5. Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической системы?
- 6. Почему амперметр соединяется с приемником последовательно, а вольтметр параллельно?
- 7. Какие требования предъявляются к значениям сопротивлений амперметра и вольтметра?



Литература

- 1. *Фремке, А.Ф.* Электрические измерения / А.Ф. Фремке, Е.М. Душина. Л.: Энергия, 1980.
- 2. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 3. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 4. Касаткин, А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 17 ИЗУЧЕНИЕ ОДНОФАЗНОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: изучить схему однофазного счетчика по методу раздельных цепей напряжения и тока, а также ознакомиться с работой счетного механизма; найти действительную постоянную счетчика и его погрешность при различных нагрузках; определить порог чувствительности счетчика и отсутствие самохода.

Теоретические обоснования

Однофазные счетчики активной энергии – индукционные интегрирующие устройства для учета электри-

ческой энергии в цепях переменного тока с частотой 50 Гц. На лицевой панели счетчика указываются номинальное нижней напряжение диапазон токов И C границей (номинальным током) и верхней (максимальным током, до которого сохраняется необходимая точность счетчика). Учет электрической энергии выполняет роликовый механизм, приводимый в движение через систему передач от на которой укреплен алюминиевый диск, оси счетчика. вращающийся при включенных приемниках. Электрическая энергия за некоторый промежуток времени определяется разностью отсчетов по счетному механизму в конце и начале данного отрезка времени. Каждой единице зарегистрированной электрической энергии в соответствии со знапередаточного числа зубчатых передач между счетным механизмом и осью счетчика отвечает определенное оборотов N_i , называемое передаточным счетного механизма, которое нанесено на табличку счетчика в виде надписи: 1 кВт·ч – N_i оборотов диска.

Электрическая энергия C_i , зарегистрированная счетчиком за один оборот диска, называется номинальной постоянной счетичка. Если эта энергия измерена в Вт·с/об., то связь ее с передаточным числом N_i счетного механизма определяется формулой

$$C_i = \frac{3600 \cdot 1000}{N_i}.$$

Пример. Определить номинальную постоянную счетчика по его паспортным данным. Например, если на щитке счетчика указано: 1 кВт·ч = 2 400 об., то

И

$$N_{\rm i} = 2400$$
 of.

следовательно,

$$N_{\rm i} = 2400$$
 of.,
$$C_{\rm i} = \frac{36000000}{2400} = 1500 \frac{\text{Bò} \cdot \text{c}}{\hat{\text{i}} \text{ á.}}.$$

Измерительный механизм счетчика представляет собой магнитную систему из двух электромагнитов переменного тока с магнитопроводами из листов электротехнической стали и неподвижными обмотками на них. Одна из них (параллельная) состоит из большого числа витков тонкого провода и включается на напряжение сети. Другая обмотка (последовательная) имеет малое число витков толстого провода и соединяется последовательно с приемниками.

Переменные токи двух обмоток возбуждают магнитные потоки, пропорциональные соответственно U и I, которые сдвинуты по фазе и не совпадают в пространстве. В результате этого возбуждается бегущее магнитное поле, которое наводит в диске соответствующие ЭДС и вихревые токи. Эти токи взаимодействуют с бегущим магнитным полем и вовлекают диск в непрерывное вращение:

$$M_{\hat{\mathbf{a}}\check{\mathbf{o}}} = K_1 U I \cos \varphi \,, \tag{1}$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от конструкции элементов счетчика; U – напряжение на зажимах параллельной обмотки; I – ток последовательной обмотки счетчика; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Тормозной момент создает постоянный магнит:

$$M_{\delta} = K_2 N, \qquad (2)$$

где K_2 – коэффициент пропорциональности; N – частота вращения счетчика.

Приравняв $M_{\hat{\mathbf{a}}\check{\mathbf{o}}} = M_{\check{\mathbf{o}}}$, получим:

$$UI\cos\varphi = CN$$
, (3)

где $C = K_2/K_1$.

Ho $UI\cos \varphi = P$, следовательно,

$$P = CN. (4)$$

Электрическая энергия W за время t будет:

$$W = \int_{0}^{t} Pdt = C \int_{0}^{t} Ndt = CN, \qquad (5)$$

где N – число оборотов диска за время t.

Отношение $C_{\ddot{a}}=W/N$, представляющее собой энергию за время одного полного оборота диска, называют действительной постоянной счетчика электрической энергии.

Отклонение действительной постоянной счетчика $C_{\rm a}$ от его номинальной постоянной $C_{\rm i}$ характеризуется относительной погрешностью

$$\gamma_0 = \frac{W_i - W}{W} = \frac{\tilde{N}_i - \tilde{N}_{\ddot{a}}}{C_i}, \qquad (6)$$

где W – действительное значение электрической энергии за время t, определенное по показаниям образцовых приборов; W_i – значение электрической энергии по показаниям изучаемого счетчика за то же время, подсчитанное по формуле

$$W = C_i N, (7)$$

где N – число оборотов диска за время t.

Для однофазных счетчиков активной энергии класса 2,5 при $\cos \varphi = 1$ и токе от 10 до 20 % I_i относительная погрешность не должна превышать +3,5 %.

Если коэффициент мощности нагрузки $0.5 \le \cos \phi \le 1$ при $f \ge 0$, а ток изменяется от 20 % $I_{\rm f}$ до его максимального значения включительно, то относительная погрешность может достигать значения

$$\gamma_0 = \pm 5.5...3\cos\varphi$$
 %.

Проверка правильности показаний счетчика проводится по контрольному вольтметру и амперметру, образцовому ваттметру и секундомеру с определением частоты вращения диска, для чего определяют полное число оборотов его за время не менее 50 с.

Одновременно находят порог чувствительности счетчика:

$$S = \frac{I_{\hat{1} \text{ èf}}}{I_{\hat{1}}} \cdot 100 \%,$$

где $I_{\rm i~ei}$ — номинальный ток при $\cos\phi=1$, когда диск счетчика приходит в безостановочное вращение; $I_{\rm i}$ — номинальный ток по данным таблички счетчика.

Порог чувствительности счетчиков класса 2,5 должен быть не более 1 % при номинальном напряжении.

В неправильно отрегулированных счетчиках под действием напряжения на зажимах параллельной цепи и при $I_{\rm f}=0$ в последовательной цепи может наблюдаться непрерывное вращение диска — самоход счетчика. При правильной регулировке самоход должен отсутствовать.

Для точных измерений счетчика вводится *поправочный коэффициент*:

$$K_{i} = \frac{C_{a}}{\tilde{N}_{i}}$$
.

Выполнение работы

При изучении счетчика класса 2,5 контрольные приборы — вольтметр и амперметр — принимают того же

класса 2,5; образцовый ваттметр тоже класса не хуже 2,5. Время, отвечающее выбранным полным числам оборотов диска счетчика, определяют с помощью секундомера.

- 1. Вычислите номинальную постоянную счетчика и запишите в таблицу 1.
- 2. Снимите показания счетчика W_1 и запишите в таблицу 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные					Расчетные значения				
Р	t	Ν	Сн	W_1 W_2 – W_1		Сд	γо	K⊓	W_{cp}
Вт	С		Дж/об.	Дж		Дж/об.			Дж
						-			

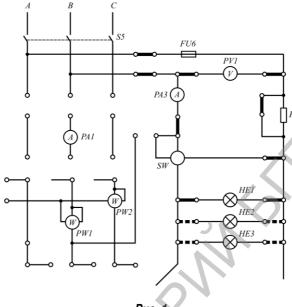
3. Соберите монтажную схему, изображенную на рис. 1. Нарисуйте принципиальную схему исследования электрической цепи.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 4. Включите стенд, затем тумблер включения питания S5.
- Внимание! Во время проведения опыта и не менее 5 мин после него не прикасаться к поверхности ламп во избежание ожогов.
- 5. За N=10 оборотов диска подсчитайте время t. Вычисленную мощность, время и подсчитанное число оборотов диска запишите в таблицу 1.
- 6. Вычислите действительную постоянную счетчика по формуле

$$C_{\ddot{a}} = \frac{Pt}{N}$$
.

7. Повторите измерения для различных нагрузок.



- Puc. 1
- 8. Снимите показание счетчика в конце работы W_2 и определите электроэнергию, прошедшую через счетчик, $W_2 W_1$.
 - 9. Вычислите среднее значение $C_{\ddot{a}}$.
- 10. Определите среднее значение погрешности счетчика γ_0 .
- 11. Определите среднее значение поправочного коэффициента $K_{ ilde{n}\delta}$.
- 12. Определите действительную электроэнергию $W_{ ilde{n}\check{o}}$ по формуле

$$W_{\tilde{n}\tilde{o}} = K_{\tilde{n}\tilde{o}}C_{\tilde{i}} \quad N_1 + N_2 + N_3 \quad .$$

13. Сравните показания счетчика (W_2-W_1) и действительную электроэнергию $W_{\tilde{n}\tilde{o}}$, прошедшую через счетчик.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- О назначении счетчика электрической энергии.
- Как рассчитывается номинальная и действительная постоянная счетчика?



Контрольные вопросы

- 1. Как работает индукционный счетчик?
- 2. Почему индукционный счетчик не может работать в цепях постоянного тока?
- 3. Что такое самоход счетчика?
- 4. Как рассчитывается номинальная постоянная счетчика?
- 5. Что представляет собой действительная постоянная счетчика?
- 6. Как создается вращающий момент в индукционном счетчике?
- 7. Как включается однофазный счетчик в сеть?
- 8. Для чего в индукционном счетчике служит постоянный магнит?
- 9. Почему число оборотов диска пропорционально учитываемой активной энергии?
- 10. Как определяется погрешность счетчика?



Литература

- 1. *Фремке, А.Ф.* Электрические измерения / А.Ф. Фремке, Е.М. Душина. Л.: Энергия, 1980.
- 2. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 3. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 4. Касаткин, А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 18 ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы: изучить основные методы измерения активной мощности в трехфазных цепях при помощи однофазных ваттметров; изучить устройство и принцип действия трехфазных ваттметров.

Теоретические обоснования

Измерение мощности в цепи трехфазного тока может осуществляться обычными однофазными ваттметрами

путем включения их по тем или иным схемам в зависимости от количества проводов (трехпроводная или четырехпроводная).

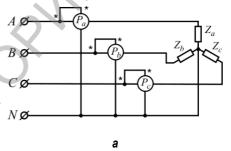
Для измерения мощности в четырехпроводной сети с нейтральным проводом необходимы 3 ваттметра, которые включаются по схеме на рис. 1, a.

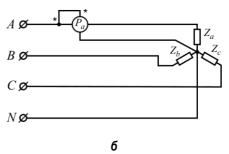
Общая активная мощность равна:

$$P = P_a + P_b + P_c. ag{1}$$

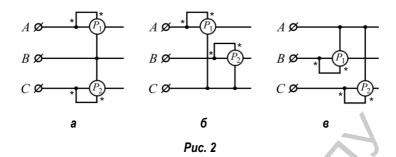
Данная схема измерения мощности при помощи трех ваттметров дает правильные $A \, \mathcal{L}$ результаты для любой нагрузки как равномерной, так $B \, \mathcal{L}$ и неравномерной.

При измерении мощности, потребляемой симметричной нагрузкой, пользуются одним ваттметром, который включается по схеме на рис. 1, σ .





Puc. 1



Общая активная мощность равна:

$$P = 3P_{\hat{0}} , \qquad (2)$$

где $P_{\hat{0}}$ – активная мощность, потребляемая отдельной фазой симметричной нагрузки.

Измерение мощности в трехпроводной сети без нулевого провода производится по одной из схем, показанных на рис. 2.

Способ двух ваттметров для измерения активной мощности в трехпроводных цепях применяется как при соединении нагрузки звездой, так и при соединении треугольником.

При непрерывном наблюдении за режимом работы стационарных трехфазных установок применяются трехфазные ваттметры.

Прибор имеет два отдельных магнитопровода с последовательными обмотками на них. В воздушном зазоре каждого из них находятся рамки с большим числом витков тонкой проволоки, жестко скрепленные между собой и образующие подвижную часть прибора.

Каждая из рамок через добавочные сопротивления включается на линейное напряжение трехфазной сети по одной из схем (рис. 2).

Вращающие моменты, которые создаются каждой из подвижных рамок, складываются; отклонение стрелки прибора от нулевого положения в этом случае пропорционально сумме действий обеих рамок. В приборе происходит как бы автоматическое сложение показаний двух

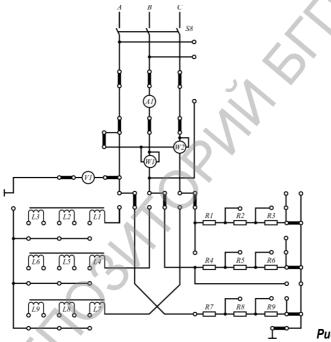
ваттметров, и шкала его градуируется в значениях мощности трехфазной цепи.

Выполнение работы В данной работе изучается метод измерения активной мощности в трехфазной цепи с помощью двухэлемент-

ного ваттметра.

1. Симметричная активная нагрузка.

Изучите и соберите схему согласно рис. 3.



Puc. 3

1.1. Нарисуйте принципиальную схему измерения активной мощности.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 1.2. Включите стенд, затем тумблер включения питания S5.
- 1.3. Снимите показания приборов *A1*, *V1*, *W12* (ток и напряжение можно измерить в каждой фазе, для чего

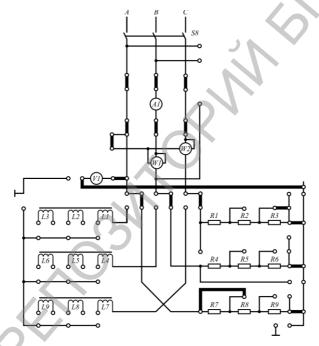
необходимо произвести необходимые перекоммутации при отключенной сети); данные запишите в таблицу 1.

Таблица 1

Э	кспериментальны	Расчетные значения			
<i>I</i> ₁	<i>U</i> ₁	P ₁₂	Р	S	cos φ
Α	В	Вт	Вт		

2. Несимметричная активная нагрузка.

2.1. Соберите монтажную схему согласно рис. 4.



Puc. 4

- 2.2. Измените в каждой фазе величину нагрузки (закоротите группы резисторов).
- 2.3. Нарисуйте принципиальную схему измерения активной мощности.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

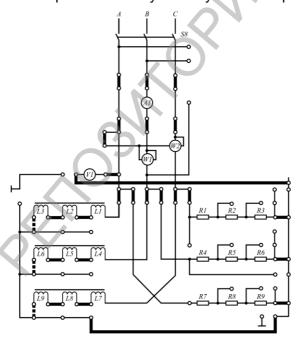
- 2.4. Включите тумблер включения питания S5.
- 2.5. Снимите показания приборов *A1*, *V1*, *W12* (ток и напряжение можно измерить в каждой фазе, для чего необходимо произвести необходимые перекоммутации при отключенной сети).
- 2.4. Рассчитайте активную мощность всей нагрузки и сравните с показанием ваттметра.
 - 2.5. Данные запишите в таблицу 2.

Таблица 2

Экспериментальные данные							Расчетные значения		
la lb lc		Ua	Ub	Uc	P ₁₂	Р			
A			В			Вт	Вт		

3. Симметричная активно-индуктивная нагрузка.

3.1. Соберите монтажную схему согласно рис. 5.



Puc. 5

3.2. Подключите в качестве нагрузки индуктивности *L1–L9*, установив перемычки, изображенные пунктирными линиями.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 3.3. Включите тумблер включения питания S5.
- 3.4. Снимите показания приборов *A1*, *V1*, *W12* (ток и напряжение можно измерить в каждой нагрузке, для чего необходимо произвести необходимые перекоммутации при отключенной сети).
- З а м е ч а н и е . Для измерения реактивной мощности амперметр *А1* включается в разрыв индуктивной нагрузки; для измерения активной мощности в разрыв активной нагрузки.
- 3.5. Рассчитайте реактивную мощность, полную мощность всей нагрузки.
- 3.6. По окончании работы верните все тумблеры в исходное положение и отключите стенд.

Расчетные формулы:

1) для несимметричной нагрузки:

$$P = U_a I_a \cos \varphi_A + U_b I_b \cos \varphi_B + U_c I_c \cos \varphi_C;$$

2) для симметричной нагрузки:

$$\begin{split} P &= 3U_{\hat{0}} I_{\hat{0}} \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi \,, \\ Q &= 3U_{\hat{0}} I_{\hat{0}} \sin \varphi = \sqrt{3} I U \sin \varphi \,, \\ S &= 3I_{\hat{0}} U_{\hat{0}} = \sqrt{3} U I = \sqrt{\mathcal{D}^2 + Q^2} \,\,. \end{split}$$

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- О методах измерения активной мощности в трехфазных цепях.
- Как определяется реактивная мощность симметричной трехфазной цепи?



Контрольные вопросы

- 1. По каким формулам рассчитывают активную и реактивную мощности симметричной трехфазной цепи?
- 2. Какие методы используют для измерения активной мощности в трехфазных цепях?
- 3. Как можно определить реактивную мощность симметричной трехфазной цепи?
- 4. Когда применяется метод одного прибора, метод двух приборов, метод трех приборов?
- 5. Обосновать возможность измерения активной мощности трехфазной цепи методом двух ваттметров.
- 6. При каком условии и как можно определить реактивную мощность трехфазной цепи методом двух ваттметров?
- 7. Каково устройство и принцип действия электродинамического ваттметра? Пояснить условные обозначения на шкалах ваттметров.



Литература

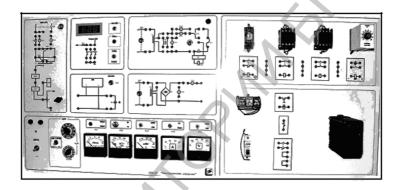
- 1. *Фремке, А.Ф.* Электрические измерения / А.Ф. Фремке, Е.М. Душина. Л.: Энергия. 1980.
- 2. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 3. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 4. Касаткин, А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторный стенд 06

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Назначение лабораторного стенда

Лабораторный стенд «Электрические аппараты» (рис. 1) предназначен для использования в качестве учебного оборудования в высших учебных заведениях при проведении лабораторно-практических занятий по курсу «Электрические аппараты».



Puc. 1

Технические характеристики

Напряжение питания лабораторного стенда осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Мощность, потребляемая стендом от сети, не более 300 Bт.

Максимальный ток нагрузки ЛАТРа 2 А.

Минимальный ток срабатывания реле тока *PT* не менее 0,5 A.

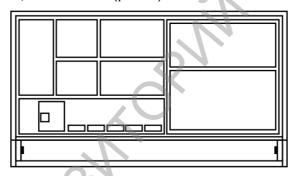
Пределы измерения электронного секундомера 0,1...99,9 сек и 1...999 сек.

Максимальный ток нагрузки источника питания 24 В 1 А. Максимальный ток нагрузки выпрямительного моста 3 А. **Наименование лабораторных работ:**

- исследование реле времени;
- исследование реле максимального тока;
- исследование теплового реле;
- исследование автоматического выключателя;
- исследование реле постоянного тока и магнитного пускателя переменного тока.

Устройство и принцип работы

Конструктивно стенд состоит из корпуса с лабораторным столом и лицевой панели (рис. 2).



Puc. 2

На лицевой панели установлены:

- контрольно-измерительные приборы;
- исследуемые аппараты (реле, пускатели);
- органы управления.

Электрические аппараты размещены снаружи, что позволяет изучить конструкцию электрических аппаратов и наблюдать в непосредственной близости его работу. Для удобства коммутации между собой контактные зажимы выведены на монтажную панель и на гнезда непосредственно на изображении соответствующих элементов аппарата.

Лабораторная работа 19 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия электромагнитного реле времени; освоить способы настройки реле времени на заданную выдержку времени.

Теоретические обоснования

Электромагнитное реле времени обеспечивает выдержку времени с момента подачи сигнала управления на

реле времени и моментом замыкания или размыкания его контактов.

Временем срабатывания электромагнитного реле времени называют время, проходящее с момента замыкания цепи катушки до полного притяжения якоря или, наоборот, с момента отключения катушки от сети до полного отпадания якоря. В первом случае время срабатывания называют временем срабатывания на включение, а во втором случае – временем срабатывания на отключение.

Время срабатывания как при включении, так и при отключении состоит из двух составляющих:

$$t_{\tilde{n}\tilde{o}} = t_{\tilde{o}\tilde{o}} + t_{\tilde{a}\hat{a}}. \tag{1}$$

Первая составляющая t_{\eth} , называемая *временем тро- вания*, определяет собой: при включении — время, которое проходит с момента замыкания цепи катушки до начала трогания якоря; при отключении — время с момента размыкания цепи катушки до начала отпускания якоря.

Вторая составляющая $t_{\hat{a}\hat{a}}$ — это время движения якоря до полного его притяжения (при включении) или до полного отпадания (при отключении).

Замедленное срабатывание электромагнита как при включении, так и отключении от сети может быть осуществлено увеличением или t_{80} , или t_{80} . В первом случае замедление

достигается с помощью магнитного демпфирования, во втором – с помощью механического демпфирования.

Для притяжения или отпускания якоря электромагнитного реле необходимо наличие в магнитной системе определенной величины магнитного потока. Необходимая величина потока достигается не сразу после включения или отключения реле от сети, а через определенный промежуток времени. Замедляя нарастание (при включении) или спад (при отключении) магнитного потока, можно изменять время притяжения или отпускания якоря. Способы воздействия на скорость изменения магнитного потока в магнитопроводе при включении или отключении реле и носят название магнитного демпфирования.

Все способы магнитного демпфирования основаны на использовании магнитных потоков, создаваемых вихревыми токами, которые появляются в массивных деталях магнитной системы реле при изменении основного магнитного потока. При включении они будут уменьшать скорость возрастания потока в магнитопроводе, а при отключении — скорость спадания потока.

Очевидно, эффективность этого метода будет тем больше, чем больше абсолютная величина основного потока. Поэтому метод магнитного демпфирования дает заметное замедление при отключении электромагнита, когда воздушные зазоры малы и величина основного потока велика.

С целью усиления магнитного демпфирования электромагниты, предназначенные для получения выдержек времени, дополняются специальными короткозамкнутыми катушками, охватывающими магнитопровод. Короткозамкнутая катушка, называемая демпфирующей, обычно исполняется в виде массивной гильзы (медной или алюминиевой) или отдельных коротких втулок, которые насаживаются на магнитопровод.

Применение коротких втулок позволяет получать различные выдержки времени при включении в зависимости от их места расположения на сердечнике. Так, при расположении демпфирующих втулок у торца сердечника (вблизи

рабочего воздушного зазора) выдержка времени при включении будет больше, чем при их расположении у основания сердечника. Это объясняется тем, что в первом случае первоначальные моменты времени после включения электромагнита втулки будут охватываться практически полным магнитным потоком и в них будут наводиться большие вихревые токи. Во втором же случае (расположение втулок у основания сердечника) вначале после включения магнитный поток будет замыкаться через якорь по воздуху от корпуса к сердечнику, минуя замедляющую втулку, со всеми вытекающими из этого последствиями - малыми вихревыми токами и, следовательно, малыми выдержками времени. При отключении электромагнита месторасположение втулок не имеет большого значения, так как и в том, и в другом случае втулки охватываются одинаковым магнитным потоком.

Грубое ступенчатое регулирование выдержки времени можно производить путем изменения толщины немагнитной прокладки, установленной на торце якоря. Толщина прокладки, не сказываясь практически на величине установившегося магнитного потока при замкнутом якоре, изменяет индуктивность системы и тем самым влияет на скорость изменения потока. С увеличением толщины прокладки скорость изменения потока возрастает и выдержка времени уменьшается, и наоборот, с уменьшением толщины прокладки скорость изменения потока уменьшается, а выдержка времени возрастает. Толщина прокладки берется от 0.1 мм и выше.

Плавный способ регулирования выдержки времени заключается в изменении натяжения отжимной пружины.

Оба способа позволяют изменять выдержку времени от нескольких десятых долей секунды до нескольких секунд с относительной погрешностью не более 10 %.

Реле времени ВЛ выпускают на напряжения: 36, 110, 127, 220, 240, 380, 400, 440, 500 В (50 Гц или 60 Гц). Ток, коммутируемый контактами, до 4 А. Диапазон регулирования выдержки времени от 0,4 до 180 с. Разброс 15 %. Мощность,

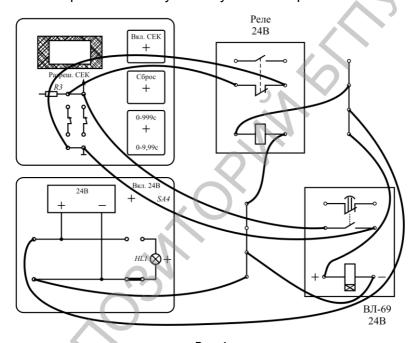
потребляемая катушкой, 40 В·А. Количество и исполнение контактов в зависимости от исполнения реле.

Выполнение работы

В качестве исследуемого применяется реле времени ВЛ-69.

1. Изучите конструкцию и принцип действия реле времени ВЛ-69.

2. Соберите монтажную схему согласно рис. 1.



Puc. 1

3. Нарисуйте принципиальную схему исследования реле. Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

Включите стенд тумблером SA1, секундомер — тумблером «Вкл. сек.». Обнулите секундомер кнопкой «Сброс». Установите на реле времени t=3 сек.

Тумблером SA4 произвести включение схемы.

Замечание. Тумблер *SA4* служит для одновременного запуска электронного секундомера и самого реле времени. Секундомер будет производить отсчет времени до момента срабатывания реле времени.

- 6. Занесите показания секундомера в таблицу 1, выключите тумблер *SA4*, обнулите показания секундомера и повторите опыт при этом времени и при различных уставках времени (устанавливается переключателями на лицевой панели реле времени ВЛ-69).
- 7. Выключите секундомер, блок питания тумблером *SA4*, стенд *SA1*.

Таблица 1

t _{уст} , с			21			
tcp, c						
Δt , c						
Δ,%						
Δ cp			<i>N</i>			

где $t_{
m only}$ — уставка времени; $t_{
m no}$ — время срабатывания; Δt — погрешность срабатывания; Δ — относительная погрешность; $\Delta_{
m nol}$ — средняя относительная погрешность.

8. По результатам измерений произведите расчет погрешности срабатывания реле времени по формуле

$$\Delta t = \left| t_{
m o\~{n}\~{o}} - t_{
m \~{n}\~{o}}
ight|$$
 , c.

9. Рассчитайте относительную погрешность по формуле

$$\Delta = \frac{\Delta t}{t_{660}} \cdot 100\%.$$

10. Определите среднюю относительную погрешность по формуле

$$\Delta_{\tilde{\mathsf{n}}\check{\mathsf{o}}} = \frac{\sum \Delta}{n}$$
,

где *n* – число измерений.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

• Каким образом можно регулировать выдержку времени срабатывания реле времени?



Контрольные вопросы

- 1. Что называется реле? Как они подразделяются?
- 2. Какие реле являются основными в системе токовой защиты цепи?
- 3. Как устроено и работает реле времени?
- 4. Для чего служит реле времени в системе токовой защиты цепи?
- 5. Что называется током срабатывания реле?
- 6. Каким образом можно регулировать выдержку времени срабатывания реле времени?



Литература

- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 3. Касаткин А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 20 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ С ВЫДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ

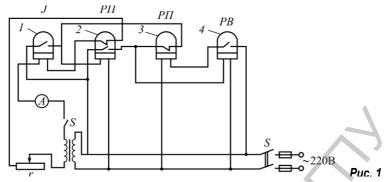
Цель работы: изучить в действии реле времени, электромагнитное реле; научиться собирать цепь токовой защиты с выдержкой времени.

Теоретические обоснования

По мере роста мощности электрических установок и усложнения их схем коммутации применение плавких предо-

хранителей в качестве защитного устройства стало недостаточным, в силу чего появились защитные устройства, выполняемые с помощью специальных реле, получивших название релейной защиты. Признаком короткого замыкания или перегрузки может служить возрастание в цепи тока, понижение напряжения и уменьшение сопротивления защищаемого участка. В соответствии с этим применяют токовые реле, реле напряжения, реле сопротивления. Указанные реле являются основными. К числу вспомогательных относятся реле времени, промежуточные реле и реле повторного включения.

При коротком замыкании или перегрузке цепи, в которую включено реле максимального тока 1 (см. рис. 1), оно срабатывает, т. е. замыкаются нормально незамкнутые контакты (НН) и включается цепь обмотки промежуточного реле. Промежуточное реле 2 при этом срабатывает, т. е. размыкаются нормально замкнутые (НЗ) контакты, отключая аварийный участок цепи (размыкается цепь обмотки и контакты реле максимального тока). Нормально незамкнутые (НН) контакты промежуточного реле замыкаются и блокируют контакты реле максимального тока, обеспечивая замкнутость цепи обмотки промежуточного реле. Одновременно включается реле времени 4.

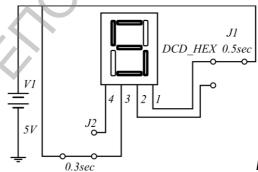


По истечении времени выдержки реле времени срабатывает, т. е. замыкаются нормально незамкнутые контакты (НН), и включает обмотку реле повторного включения 3. Реле повторного включения срабатывает, т. е. размыкаются нормально замкнутые контакты (НЗ), и размыкает цепь обмотки промежуточного реле 2, контакты которого приходят в первоначальное положение: НЗ замыкаются и включают аварийный участок цепи и обмотку максимального тока 1, а НН контакты размыкаются и отключают реле времени 4. При этом вся система релейной защиты приходит в первоначальное состояние.

Выполнение работы

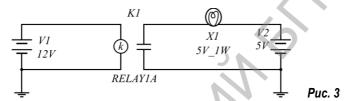
1. Исследование реле времени.

1.1. Соберите схему, представленную на рис. 2.

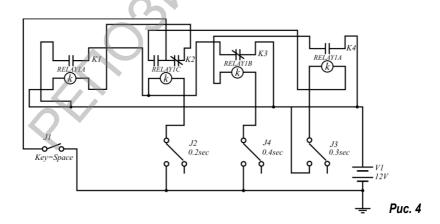


Puc. 2

- 1.2. Щелкнув два раза по J_1 и J_2 , выберите параметры реле следующим образом: для J_1 Топ = 0.15 c, Toff = 0.2 c; для J_2 Топ = 0.18 c, Toff = 0.22 c.
 - 1.3. Включите питание.
- 1.4. Проследите путь прохождения тока и порядок появления цифр на индикаторе.
 - 2. Исследование электромагнитного реле.
- 2.1. Соберите схему, представленную на рис. 3 (параметры элементов указаны на схеме).



- 2.2. Включите питание.
- 2.3. Проследите путь прохождения тока в схеме.
- 3. Исследование цепи токовой защиты с выдержкой времени.
- 3.1. Соберите схему, представленную на рис. 4 (параметры элементов указаны на схеме).
 - 3.2. Включите питание.



- 3.3. Замкните ключ J_1 с помощью клавиши пробела.
- 3.4. Проследите порядок срабатывание реле.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- Для чего предназначены реле времени?
- Каким образом работает система токовой защиты с выдержкой времени?



Контрольные вопросы

- 1. Какие реле являются основными в системе токовой защиты цепи?
- 2. Как устроено и работает реле времени?
- 3. Для чего служит реле времени в системе токовой защиты цепи?
- 4. Что называется током срабатывания реле?
- 5. Для чего служит реле повторного включения?
- 6. Укажите последовательность включения цепей в системе релейной защиты.



Литература

- I. *Китунович, Ф.Г.* Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск.: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 3. Касаткин А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 21 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА

Цель работы: ознакомиться с конструкциями электромагнитного реле максимального тока; произвести проверку и снятие основных характеристик реле максимального тока.

Теоретические обоснования

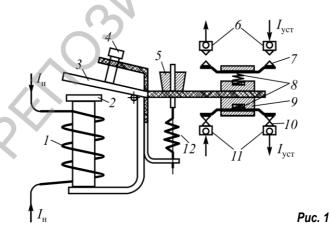
Плавкие предохранители – простые, но не совершенные аппараты защиты. Изменение уставки срабатывания воз-

можно только ступенчатое путем замены патронов, а регулирование времени срабатывания вообще невозможно. В этом отношении более совершенным аппаратом токовой защиты электрических приемников и цепей являются максимальные токовые реле.

Максимальным токовым реле называют реле, реагирующее на увеличение тока в защищаемой цепи. С помощью таких реле осуществляются максимальные токовые защиты, отключающие электроустановки при сверхтоках, возникающих при перегрузках и коротких замыканиях.

Устройство одного из видов реле максимального тока представлено на рис. 1.

Катушку 1 включают последовательно в контролируемую



цепь с током нагрузки $I_{\rm i}$. Когда этот ток достигает величины заданного тока срабатывания, при котором электромагнитная сила в зазоре становится выше противодействующей силы пружины 12, якорь 3 притягивается к полюсному наконечнику 2. Происходит размыкание контактов 10–11 и замыкание контактов 6–7. Подвижные контакты 7 и 10 закреплены на якоре 3 с помощью пластмассовых колодок 9. Сила нажатия в контактах создается пружинами 8.

Ток срабатывания электромагнитного реле можно регулировать изменением числа витков катушки 1. Силу натяжения возвратной пружины 12 изменяют с помощью гайки 5 и рабочего воздушного зазора, который устанавливают с помощью винта 4. Диапазон регулирования тока срабатывания таких реле достигает четырех и настраивается бесступенчато, что весьма важно для достижения высокой точности работы. Время срабатывания электромагнитного токового реле обычно не превышает 0,03 с при $I_i = 2,0I_{\circ \hat{n} \hat{o}}$ и 0,1 с при $I_i = 1,3I_{\circ \hat{n} \hat{o}}$. На таком принципе работают и реле минимального тока, а также реле минимального и максимального напряжения. Максимальные токовые реле электромагнитного принципа действия могут работать в цепях как переменного, так и постоянного тока.

Минимальный ток, при котором срабатывает реле, называют *током срабатывания* $I_{\delta\delta}$.

Максимальный ток, при котором якорь реле возвращается в исходное положение, называют *током возврата* $l_{\hat{a}}$.

Отношение тока возврата к току срабатывания реле называют коэффициентом возврата

$$K_{\hat{\mathbf{a}}} = \frac{I_{\hat{\mathbf{a}}}}{I_{\tilde{\mathbf{n}}\tilde{\mathbf{o}}}}.$$
 (1)

Коэффициент возврата всегда меньше единицы: чем ближе $K_{\hat{\mathbf{a}}}$ к единице, тем выше чувствительность максимальной токовой защиты.

К группе электромагнитных токовых реле относится токовое реле типа РТ-40. Все реле РТ-40 имеют один замыкающий и один размыкающий контакты. У реле серии РТ-40 коэффициент возврата не менее 0,85 на первой уставке (минимальной) и не менее 0,8 на остальных уставках шкалы.

Время срабатывания $t_{\|\delta} = 0.1$ с при токе в катушках реле, равном 1,2 $I_{\|\delta}$, и 0,03 с — при 3 $I_{\|\delta}$ и выше.

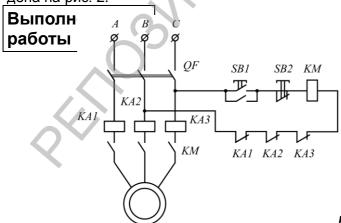
Контакты реле способны коммутировать в цепи постоянного тока индуктивную нагрузку мощностью 60 Вт, а в цепи переменного тока — нагрузку мощностью 300 В·А при напряжении 220 В и токе до 2 А.

Потребляемая мощность при токе $I_{\tilde{n}\tilde{o}}$ находится в пределах 0,2...0,8 В·А. Причем меньшую величину имеют реле с уставкой до 2 А, большую величину – реле с уставкой до 200 А.

При защите асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором ток уставки $I_{\circ \tilde{\mathsf{n}} \circ}$ реле максимального тока выбирается по пусковому току двигателя:

$$I_{\text{\'o}\tilde{\text{n}}\tilde{\text{o}}} \ge (1,3...1,5) I_{\tilde{\text{T}}\tilde{\text{o}}\tilde{\text{n}}\tilde{\text{e}}\tilde{\text{a}}\tilde{\text{a}}}.$$
 (2)

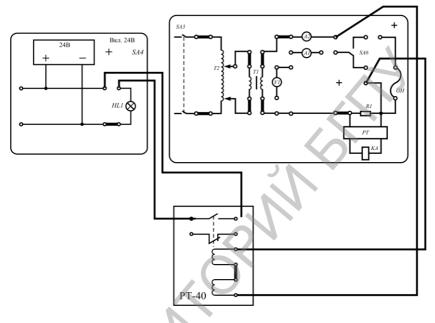
Схема включения токовых электромагнитных реле приведена на рис. 2.



Puc. 2

В качестве исследуемого применяется реле максимального тока типа РТ-40.

1. Соберите монтажную схему согласно рис. 3.



Puc. 3

- 2. Нарисуйте принципиальную схему исследования реле максимального тока.
- 3. Установите требуемую величину тока уставки $I_{\text{обо}}$, перемещая регулятор реле (открыть крышку).

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 4. Включите стенд тумблером *SA1*, тумблер *SA3*, затем тумблером *SA4* включите источник питания 24 В.
- 5. Установите с помощью ЛАТРа напряжения 10 В и увеличивайте ступенчато ток нагрузки ЛАТРом [предел (1–2) В] до момента срабатывания реле максимального тока

(индикатор загорится). Зафиксируйте величину тока срабатывания $I_{\tilde{n}\tilde{o}}$ по амперметру A2 (предел 1 A).

- 6. Затем уменьшайте величину тока до момента отпускания реле (индикатор погаснет). Зафиксируйте показания амперметра ($I_{\hat{a}\hat{i}}$ с $\hat{a}\hat{o}$).
- 7. Повторите опыт несколько раз при одном значении тока уставки, затем также при других величинах тока уставки. Данные занесите в таблицу 1.

Таблица 1

<i>I</i> уст	I _{cp}			,	I _{возвр}		,	Кв	
	1	2	3	/cp.cp	1	2	3	/возвр.ср	
						,			

Расчетные формулы:

1) $I_{\|\delta\|,\|\delta\|}$ — средняя по трем измерениям величина тока срабатывания:

$$I_{\tilde{n}\tilde{o}.\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{I_{\tilde{n}\tilde{o}1} + I_{\tilde{n}\tilde{o}2} + I_{\tilde{n}\tilde{o}3}}{3}$$
, A;

2) $I_{\hat{a}\hat{i}\;\hat{c}\hat{a}\hat{o}.\hat{n}\hat{o}}$ — средняя по трем измерениям величина тока возврата:

$$I_{\hat{a}\hat{i}\;\hat{c}\hat{a}\hat{o},\hat{n}\hat{o}} = \frac{I_{\hat{a}\hat{i}\;\hat{c}\hat{a}\hat{o}1} + I_{\hat{a}\hat{i}\;\hat{c}\hat{a}\hat{o}2} + I_{\hat{a}\hat{i}\;\hat{c}\hat{a}\hat{o}3}}{3}, A;$$

3) $K_{\hat{a}}$ – коэффициент возврата:

$$K_{\hat{\mathbf{a}}} = \frac{I_{\hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{i}} \; \hat{\mathbf{c}}\hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{d}}.\tilde{\mathbf{n}}\check{\mathbf{d}}}}{I_{\tilde{\mathbf{n}}\check{\mathbf{d}} \; \tilde{\mathbf{n}}\check{\mathbf{d}}}}.$$

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- Для чего предназначены максимальные токовые теле?
- Каким образом регулируется ток срабатывания электромагнитных максимальных токовых реле?



Контрольные вопросы

- 1. Что называется реле?
- 2. Как устроено реле максимального тока?
- 3. Почему при параллельном соединении катушек реле тока нужно показания стрелки на шкале тока увеличивать в два раза?
- 4. Каким образом регулируется ток срабатывания электромагнитных максимальных токовых реле?



Литература

- 1. *Китунович, Ф.Г.* Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 3. Касаткин, А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 22 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ

Цель работы: ознакомиться с конструкциями тепловых реле; изучить принцип действия тепловых реле.

Теоретические обоснования

При незначительных длительных перегрузках в электродвигателях, электромагнитах и других токоприемниках,

возникающих при возрастании момента сопротивления на рабочем органе машины или за счет витковых замыканий в обмотках, протекает ток, превышающий допустимое значение на 20...50 %. Такой режим работы приводит к перегреву обмоток и электродвигателя в целом, а следовательно, к преждевременному выходу его из строя. Для защиты электрооборудования от таких перегрузок служат тепловые реле, которые включают последовательно в контролируемую цепь.

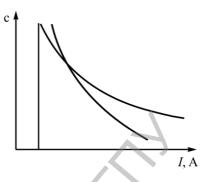
Тепловые реле работают в цепях переменного и постоянного тока. Их используют как самостоятельно, так и в составе магнитных пускателей.

Основным элементом теплового реле является биметаллическая пластина.

Нагрев биметаллического элемента может производиться за счет тепла, выделяемого в пластине током нагрузки. Очень часто нагрев биметалла производится от специального нагревателя, по которому протекает ток нагрузки. Лучшие характеристики получаются при комбинированном нагреве, когда пластина нагревается за счет тепла, выделяемого специальным нагревателем, также обтекаемым током нагрузки. Прогибаясь, биметаллическая пластина своим свободным концом воздействует на контактную систему, обеспечивая срабатывание реле.

Основной характеристикой теплового реле является зависимость времени срабатывания от тока нагрузки (время – токовая характеристика), которая имеет вид, изображенный на рис. 1.

Для обеспечения надежной t, cзащиты время - токовая характеристика реле должна проходить BO всем диапазоне перегрузки изменения токов ниже время - токовой характеристики защищаемого оборудования, что достигается правильным выбором теплового реле по току.



Реле изготовляют одно-, двух- и трехфазного исполне-

Puc. 1

ния (типов РТ, ТРВ, ТРА, ТРН, ТРП и РТЛ) на различные токи от 0,5 до 600 А. Номинальный ток теплового реле является его максимально допустимым током, а сменные тепловые элементы позволяют получить для каждого типоразмера реле от 4 до 12 номинальных токов уставки. При этом для каждого теплового элемента его ток уставки может изменяться (уменьшаться) специальным регулятором до 30 % от номинального значения, а некоторые типы реле (ТРН) имеют предел регулирования от 0,75 до 1,25 $I_{\rm f}$.

Тепловые реле выбираются по номинальному току теплового элемента и номинальному току двигателя:

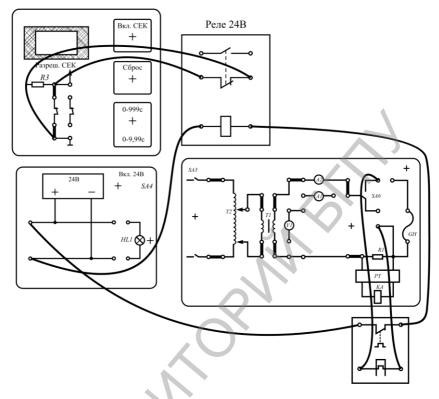
$$U_{\text{fil},\deltaå\ddot{e}\mathring{a}} \ge U_{\tilde{n}\mathring{a}\grave{o}\grave{e}}; \ U_{\text{fil},\delta\mathring{a}\ddot{e}\mathring{a}} = I_{\text{fil},\tilde{a}\mathring{a}} - 1$$

для двигателей, работающих в длительном режиме работы.

Выполнение работы

В качестве исследуемого применяется реле TPH-10 с номинальной уставкой тока 0,8 A.

- 1. Соберите схему согласно рис. 2.
- 2. Нарисуйте принципиальную схему исследования теплового реле.
- Замечание. Так как время срабатывания реле измеряется десятками секунд или минутами, то можно в качестве секундомера использовать наручные часы (при этом часть схемы с секундомером не нужна).



Puc. 2

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 3. Включите стенд тумблером SA1, включите тумблер SA3, тумблер SA6.
- 4. Регулятором ЛАТРа установите необходимую величину тока нагрузки, амперметр *A2* (предел 5 A), исходя из таблицы 1.
- 5. Включите секундомер, обнулите показания секундомера, затем включите тумблер *SA4*. Секундомер начинает отсчет и останавливается после срабатывания реле.

Внимание! 1. Во избежание перегрева теплового элемента реле ЛАТР следует сразу отключить. 2. Перед

повтором эксперимента необходимо сделать паузу для полного остывания теплового элемента реле и затем вернуть его в исходное состояние нажатием возвратной кнопки.

6. Установите другую величину тока нагрузки и повторите вышеуказанные действия. Данные, полученные по показаниям приборов, занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Інагр, А	1	1,5	2	2,5
t_{cp} , c				

7. Постройте зависимость времени срабатывания теплового реле от тока нагрузки.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- Какие виды биметаллических пластин применяются в тепловых реле?
- Как зависит величина прогиба пластины от ее длины и толщины?

Контрольные вопросы

- 1. Каково назначение теплового реле?
- 2. В каких цепях работают тепловые реле?
- 3. Устройство теплового реле.
- 4. Какие виды биметаллических пластин применяются в тепловых реле?
- 5. Как зависит величина прогиба пластины от ее длины и толщины?

Литература

- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.
- 3. Касаткин, А.С. Основы электротехники / А.С. Касаткин. М.: Высш. шк., 1982.

Лабораторная работа 23 ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Цель работы: изучить устройство, конструкции и принцип действия автоматических выключателей, применяемых в системах электроснабжения и в электроприводах.

Теоретические обоснования

Автоматический воздушный выключатель (автомат) – аппарат, предназначенный для автоматического размыка-

ния электрических цепей.

Как правило, автоматические выключатели выполняют функции защиты при коротких замыканиях, перегрузках, снижении или исчезновении напряжения, изменении направления передачи мощности или тока и т. п.

Независимо от назначения автоматы состоят из следующих основных узлов:

- а) контактной системы;
- б) дугогасительной системы;
- в) привода;
- г) механизма свободного расцепления расцепителей;
- д) коммутатора с блок-контактами.

Контактная система автоматов должна находиться под током, не отключаясь весьма длительное время, и быть способной выключать большие токи короткого замыкания. Широкое распространение получили двухступенчатые (главные и дугогасительные) и трехступенчатые (главные, промежуточные и дугогасительные) контактные системы.

Дугогасительная система должна обеспечивать гашение дуги больших токов короткого замыкания в ограниченном объеме пространства. Задача дугогасительного устройства заключается в том, чтобы ограничить размеры дуги и обеспечить ее гашение в малом объеме. Распространение получили камеры с широкими щелями и камеры с дугогасительными решетками.

Привод в автомате служит для включения автомата по команде оператора.

Отключение автоматов осуществляется отключающими пружинами.

Механизм свободного расцепления предназначен для того, чтобы:

- а) исключить возможность удерживать контакты автомата во включенном положении (рукояткой, дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы защищаемой цепи;
- б) обеспечить моментальное отключение, т. е. не зависящую от операторов, рода и массы привода скорость расхождения контактов.

Механизм представляет собой систему шарнирносвязанных рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые связаны с отключающей пружиной. Механизм свободного расцепления позволяет автомату отключаться в любой момент времени, в том числе и в процессе включения, когда включающая сила воздействует на подвижную систему автомата.

При отключении автомата первыми размыкаются главные контакты и весь ток переходит в параллельную цепь дугогасительных контактов с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы они не обгорели. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая выдувается вверх и гасится в дугогасительной камере.

Расцепители – элементы, контролирующие заданный параметр цепи и воздействующие через механизм свободного расцепления на отключение автомата при отклонении заданного параметра за установленные пределы.

В зависимости от выполняемых функций защиты расцепители бывают:

а) токовые — максимальные, мгновенного или замедленного действия:

- б) напряжения минимальные, для отключения автомата при снижении напряжения ниже определенного уровня;
- в) обратного тока срабатывают при изменении направления тока;
- г) тепловые работают в зависимости от величины тока и времени его протекания, применяются обычно для защиты от перегрузок;
- д) комбинированные срабатывают при сочетании ряда факторов.

Блок-контакты служат для производства переключения в цепях управления блокировки, сигнализации в зависимости от коммутационного положения автомата.

Блок-контакты выполняются нормально открытыми (замыкающие) и нормально закрытыми (размыкающие).

Номинальный ток защищающего от перегрузки электромагнитного теплового или комбинированного расцепителя автоматов $I_{\rm i\,c}$ выбирается по длительному расчетному току линии $I_{\rm i\,c}=I_{\rm ae}$; ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя $I_{\rm na}$ определяется из соотношения

$$I_{\tilde{n}\tilde{o}} = 1,25I_{\tilde{e}\tilde{o}}, \qquad (1)$$

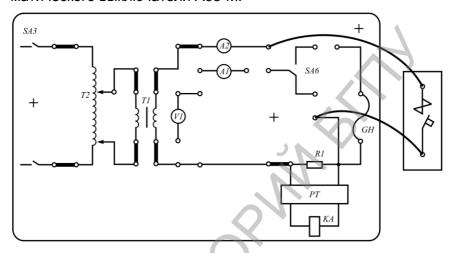
где $I_{\hat{\mathrm{e}}\hat{\mathrm{o}}}$ — максимальный кратковременный ток линии, который при ответвлении к одиночному электродвигателю равен его пусковому току. Коэффициент 1,25 учитывает неточность в определении максимального кратковременного тока линии и разброс характеристик расцепителей.

Автоматические выключатели серии A3700 рассчитаны на напряжение до 440 В постоянного тока и до 660 В переменного тока и номинальную силу тока 160, 250, 400 и 630 А. Уставки токов срабатывания выключателей составляют десятикратную величину их номинальных токов. Серийно изготовляются также автоматические выключатели типов AE2000 на номинальный ток до 100 А; AK63 — на номинальный ток до 63 А; A63 — на номинальный ток до 25 А и т. п.

Выполнение работы

1. Соберите схему автоматического выключателя A63-M, изображенную на рис. 1.

Нарисуйте принципиальную схему исследования автоматического выключателя А63-М.



Puc. 1

- 2. Включите автомат А63-М.
- Замечание. Особенность этого автомата состоит в том, что он не имеет теплового расцепителя, а только расцепитель максимального тока.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 3. Включите стенд SA1, тумблер SA3.
- 4. Установите с помощью ЛАТРа напряжение 100 В и увеличивайте ступенчато ток нагрузки ЛАТРом [предел (1–2) В], добейтесь срабатывания автоматического выключателя. Зафиксируйте показания амперметра A2 (предел 5 A).
- 5. Верните регулятор ЛАТРа в положение «MIN» и установите рычаг выключателя в положение «Вкл.».

Внимание! Не допускайте длительной работы автомата в режиме перегрузки, близкой срабатывания. После

каждого срабатывания делайте паузу 5 мин для остывания катушки расцепителя!

6. Включите автомат и повторите опыт несколько раз. Показания прибора *A2* занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Значение тока уставки	Значение тока нагрузки, при котором срабатывает автомат						омат
2,5 A							

Сделайте вывод по лабораторной работе.

- Назначение воздушных выключателей.
- Основные узлы автоматов и их назначение.
- Функции и виды расцепителей.



Контрольные вопросы

- 1. Для чего предназначен автоматический выключатель?
- 2. Назовите основные узлы автоматического выключателя.
- 3. Каково назначение привода в автомате?
- 4. Назначение воздушных выключателей.



Литература

- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.

Лабораторная работа 24 ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: ознакомиться с техническими данными и изучить конструкцию контакторов и магнитных пускателей переменного тока; исследовать магнитные пускатели переменного тока.

Теоретические обоснования

Контакторы – это коммутационные аппараты, предназначенные для частых включений и отключений электри-

ческих цепей при нормальных режимах работы. Контакторы применяются в цепях напряжения до 500 В переменного тока и 600 В постоянного тока.

Контакторы подразделяют на:

- а) электромагнитные, которые срабатывают при помощи электромагнита;
- б) постоянного тока (линейные контакторы и контакторы ускорения);
 - в) переменного тока промышленной частоты;
 - г) переменного тока повышенной частоты (до 10 кГц).

Контакторы, служащие для замыкания или размыкания электрических цепей, называют *линейными*, а контакторы, служащие для закорачивания отдельных ступеней пускового реостата, – контакторами ускорения.

Основные узлы любого электромагнитного контактора:

- электромагнитный механизм;
- главные контакты;
- дугогасительное устройство;
- блок-контакты.

Принцип действия контакторов заключается в следующем: при подаче напряжения на обмотку электромагнита якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительная система обеспечивает быстрое гашение дуги. Вспомогательный

блок-контакт используется для согласования работы контактора с другими аппаратами.

Тяговая характеристика электромагнита переменного тока близко подходит к противодействующей характеристике, в результате контакторы переменного тока обладают высоким коэффициентом возврата (0,6...0,7), что дает возможность осуществить защиту объекта от падения напряжения.

Промышленностью выпускаются следующие основные серии контакторов переменного тока:

- а) контакторы серии КТ на номинальные токи 75, 150, 300 и 600 А и номинальные напряжения 380 В и 500 В;
- б) контакторы серии КИ, которые предназначены в основном для установки в магнитных пускателях на токи 60, 100 и 150 А и напряжение 380 В.

Контакторы выполняют свои функции удовлетворительно, если напряжение на зажимах катушки

$$U = 0.85...1.1 U_{(1)}$$
 (1)

Снижение напряжения ниже $0,85\,U_{\rm f\,\hat{i}\,\hat{i}}$ уменьшает силу, удерживающую якорь, в результате чего при некотором напряжении отпадания $U_{\rm i\,\hat{o}\hat{i}}$ происходит отрыв якоря от полюсов. Наименьшее напряжение $U_{\rm n\hat{o}}$, при котором происходит включение контактора, называют напряжением срабатывания.

Отношение

$$K = \frac{U_{\hat{1} \, \hat{0} \hat{1}}}{U_{\hat{n} \hat{0}}} \tag{2}$$

называют коэффициентом возврата.

Механической характеристикой контактора называют зависимость механических противодействующих сил от величины рабочего зазора:

$$F_{i,\hat{a}\tilde{o}} = f \delta$$
.

Противодействующие силы в электромагнитных контакторах создаются с помощью пружин.

Магнитный пускатель — это контактор переменного тока, предназначенный для дистанционного управления и защиты от понижения напряжения питающей сети и токов перегрузки асинхронных двигателей малой и средней мощности.

Основным узлом магнитного пускателя как контактора является электромагнит переменного тока, приводящий в действие систему с контактами.

Обычно в магнитных пускателях применяют трехполюсный контактор переменного тока, который имеет три главных замыкающих контакта и от одного до четырех вспомогательных блокировочных, или блок-контактов.

В кожух магнитного пускателя, кроме контактора, часто встраивается тепловое реле, выполняющее токовую защиту с выдержкой времени, зависящей от величины тока.

Выбор магнитного пускателя и контакторов производится:

а) по номинальному напряжению сети

$$U_{\hat{\mathsf{n}}\hat{\mathsf{n}}\hat{\mathsf{i}}} = U_{\hat{\mathsf{n}}\hat{\mathsf{a}}\hat{\mathsf{o}}\hat{\mathsf{e}}}, \tag{3}$$

где U_{ffl} – номинальное напряжение катушки магнитного пускателя;

б) по номинальному току нагрузки

$$U_{\hat{1}\hat{1}\hat{1}} \geq U_{\hat{1}\hat{1}\hat{1}.\hat{1}\hat{a}\hat{a}\hat{b}}, \qquad (4)$$

где $U_{\rm ifi}$ – номинальный ток магнитного пускателя, контактора для конкретного режима работы;

- в) по мощности двигателя исполнительного механизма;
- г) по режиму работы;
- д) по числу включений в час;
- е) по номинальному напряжению контактов аппарата

$$U_{(\hat{1}\hat{1})} \stackrel{\text{el}}{=} i \stackrel{\text{o}}{=} U_{\tilde{n}\hat{a}\hat{o}\hat{e}}; \tag{5}$$

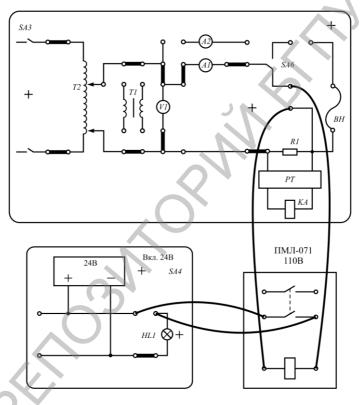
ж) по времени включения и отключения.

Выполнение работы

В качестве исследуемого применяется магнитный пускатель переменного тока ПМЛ-110 с номинальным

напряжением катушки 110 В, частотой 50 Гц.

- 1. Изучите устройство, назначение контакторов и магнитных пускателей и их систем.
 - 2. Соберите монтажную схему согласно рис. 1.



Puc. 1

3. Нарисуйте принципиальную схему исследования магнитного пускателя ПМЛ-110.

Получив разрешение преподавателя, включите стенд.

- 4. Включите стенд тумблером *SA1*, затем включите источник питания 24 В тумблером *SA4*, тумблер *SA3*.
- 5. Установите с помощью ЛАТРа напряжение 70 В, а затем, изменяя напряжение ступенчато ЛАТРом [предел (1–2) В], контролируйте показания приборов *А1* и *V1*; зафиксируйте их в момент, когда якорь втянется в катушку (загорится индикатор).
- 6. Доведите напряжение до номинальной величины $U_{(1)} = 110$ В и вновь измерьте ток в катушке $I_{(1)}$. Данные занесите в таблицу 1.
- Замечание. В момент переключения ЛАТРа придерживайте пальцем кнопку якоря пускателя, обеспечивая его притянутое положение на момент кратковременного обесточивания катушки.

Таблица 1

Измерения	U _{cp} , B	I _{cp} , A	<i>U</i> _{ном} , В	I _{ном} , А

где $U_{\|\|\|}$ – напряжение срабатывания; $I_{\|\|\|}$ – ток срабатывания при втянутом якоре.

7. Повторите измерения два раза.

В н и м а н и е! Во избежание перегрева катушки пускателя не допускайте длительной работы катушки с невтянутым якорем, а также делайте паузу между опытами.

8. Вычисленные величины занесите в таблицу 2.

Таблица 2

K	S _{HOM} , B·A	$S_{пуск}$, $B \cdot A$

Расчетные формулы:

1) кратность пускового тока к номинальному:

$$K = \frac{I_{\tilde{n}\tilde{o}}}{I_{(\hat{n})}};$$

2) номинальная полная мощность катушки:

$$S_{(\hat{i})} = I_{(\hat{i})} U_{(\hat{i})}$$
, B·A;

3) пусковая полная мощность катушки:

$$S_{i \ \acute{o}\tilde{n}\hat{e}} = I_{\tilde{n}\check{o}}U_{\tilde{n}\check{o}}$$
 , B·A.

Сделайте вывод по лабораторной работе.

• О назначении контакторов.



Контрольные вопросы

- 1. Каково назначение контакторов?
- 2. Каково назначение магнитных пускателей?
- 3. Как производится выбор магнитного пускателя?
- 4. Какова конструкция контакторов и магнитных пускателей?



Литература

- 1. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. Минск: Высш. шк., 1999.
- 2. Евсюков, А.А. Электротехника / А.А. Евсюков. М.: Просвещение, 1979.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД 04 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	4
Назначение лабораторного стенда	4
Технические характеристики	4
Устройство и принцип работы	5
Указание мер безопасности	
Подготовка лабораторного стенда к работе	9
Лабораторная работа 11 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ИНДУКТИВНОСТЬЮ	
😣 Контрольные вопросы	
👺 Литература	14
Лабораторная работа 12 НЕРАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ, ИНДУКТИВНОСТЬЮ И ЕМКОСТЬЮ. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ	15
😣 Контрольные вопросы	
📚 Литература	20
Лабораторная работа 13 РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ИНДУКТИВНОСТЬЮ	21
🟵 Контрольные вопросы	24
📚 Литература	24
Лабораторная работа 14 РЕЗОНАНС ТОКОВ	25
Контрольные вопросы	29
🔀 Питература	29

		.ТОРНЫЙ СТЕНД 05 ИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	30
	Наз	начение лабораторного стенда	30
	Tex	нические характеристики	30
	Устр	ройство и принцип работы	31
		орная работа 15 РЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА	32
	8	Контрольные вопросы	
	3	Литература	38
Лабо ИЗМ	рат ЕРЕ	орная работа 16 НИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ	
	8	Контрольные вопросы	45
	\$	Литература	45
ИЗУЧ	IEH	орная работа 17 ИЕ ОДНОФАЗНОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИОННОЙ СИСТЕМЫ	
	8	Контрольные вопросы	52
	\$	Литература	52
Лабо ИЗМ	рат ЕРЕ	орная работа 18 НИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ	53
	8	Контрольные вопросы	59
	3	Литература	59
		ТОРНЫЙ СТЕНД 06 ИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ	60
	Наз	начение лабораторного стенда	60
	Tex	нические характеристики	60
	Устр	оойство и принцип работы	61
Лабо ИСС.	рат ЛЕД	орная работа 19 ОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ ВРЕМЕНИ	62
	8	Контрольные вопросы	67
	3	Питепатура	67

	орная работа 20 1ОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ С ВЫДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ.	68
:::•:::::::::::::::::::::::::::::::::		
_	Контрольные вопросы	
\$	Литература	71
	орная работа 21 ДОВАНИЕ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА	
\otimes	Контрольные вопросы	77
\$	Литература	77
Лаборат	орная работа 22	
ИССЛЕД	ІОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ	
⊗	Контрольные вопросы	81
•	Литература	81
	орная работа 23	
ИССЛЕД	ДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	82
⊗	Контрольные вопросы	86
\$	Литература	86
	орная работа 24	
ИССДЕТ	ОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	87
\otimes	Контрольные вопросы	92
3	Литература	92

Учебное издание

Юргульский Владимир Викторович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Практикум

В двух частях

Часть 2

Редактор ?????????????? Оригинал-макет ?????????

Подписано в печать . .2011. Формат $60x84^{-1}/_{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура *Arial*. Печать Riso. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ .

Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» Лицензия ЛП № 486 от 02.04.02. 220007, Минск, Могилевская, 37.