

Данные методические указания составили:

доц. Т. К. Асанов (работа № 13), доц.
В. С. Воротников (работа № 14), доц.
С. П. Власов (работа № 15) и ст. препод.
Л. Г. Сегад (работа № 16).

Работа № 13

ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ С АКТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ В ВИДЕ ЗВЕЗДЫ

Объект и цель исследования

Трехфазная электрическая цепь представляет совокупность электрически соединенных между собой трех однофазных цепей с источниками э. д. с. одной и той же частоты, сдвинутыми по фазе один от другого на одну треть периода. При соединении нагрузки звездой бывают цепи с нейтральным проводом и без него.

Трехфазные источники электрической энергии широко применяются в устройствах СЦБ и связи, автоматики и телемеханики, электронно-вычислительных машинах. Электрифицированные железные дороги на переменном токе и многие нетяговые потребители на ж.-д. транспорте являются трехфазными устройствами. В частности, систему электрического освещения, электросварки и др. можно рассматривать как трехфазные потребители электрической энергии и в упрощенном виде представить активной нагрузкой.

Целью работы является экспериментальное исследование различных режимов работы трехфазной цепи с активной нагрузкой в виде звезды и проверка соотношений между фазными токами, напряжениями и мощностями в такой цепи.

Электрическая схема исследуемой цепи приведена на рис. 13.1.

Работа выполняется на универсальном стенде синусоидального тока. В качестве элементов цепи используются имеющиеся на стенде оборудование и измерительные приборы. Симметричный трехфазный источник имеет линейное напряжение 120 В. На стенде он включается с помощью трехфазного выключателя. Для измерения мощности в цепи на стенде имеются два ваттметра. На стенде установлены три амперметра с пределом измерения 3 А и один с пределом измерения 1 А. Напряжения измеряются вольтметрами V_1 и V_2 с номинальными значениями 150 и 50 В соответственно.

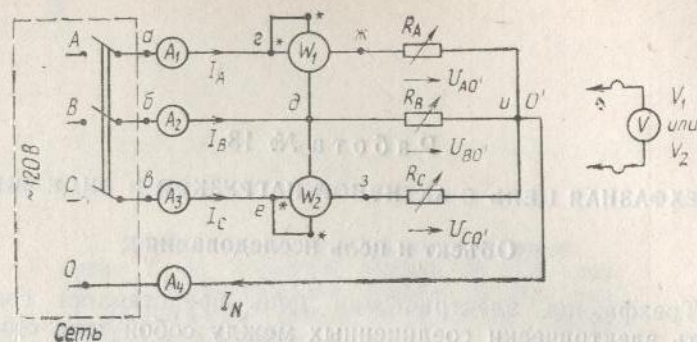


Рис. 13.1

Основные расчетные соотношения

В трехфазной цепи, соединенной в звезду (см. рис. 13.1), линейные токи равны фазным.

В цепи с нейтральным проводом напряжение смещения нейтрали $U_{O'O}$ равно нулю. При этом выполняется условие

$$U_{AO'} = U_{AO}, U_{BO'} = U_{BO}, U_{CO'} = U_{CO}, U_{AO'} = U_{BO'} = U_{CO'} = U_{\phi}.$$

Следовательно, токи фаз нагрузки можно определить по закону Ома

$$I_A = \frac{U_{\phi}}{R_A}, I_B = \frac{U_{\phi}}{R_B}, I_C = \frac{U_{\phi}}{R_C}.$$

В отсутствие нейтрального провода напряжение смещения нейтрали можно определить по методу двух узлов

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_{AO}Y_A + \dot{U}_{BO}Y_B + \dot{U}_{CO}Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C},$$

где Y_A, Y_B, Y_C — проводимости фаз нагрузки.

Напряжения фаз нагрузки при этом выражают на основании второго закона Кирхгофа

$$\dot{U}_{AO'} = \dot{U}_{AO} - \dot{U}_{O'O}, \dot{U}_{BO'} = \dot{U}_{BO} - \dot{U}_{O'O}, \dot{U}_{CO'} = \dot{U}_{CO} - \dot{U}_{O'O}.$$

В трехфазной цепи мощность всей нагрузки равна сумме мощностей трех фаз. При активной нагрузке

$$P_n = U_{AO'}I_A + U_{BO'}I_B + U_{CO'}I_C = I_A^2R_A + I_B^2R_B + I_C^2R_C.$$

При симметричном режиме ($R_A = R_B = R_C = R_{\phi}$) токи фаз нагрузки одинаковы по модулю, ток нейтрального провода равен нулю, а мощность нагрузки может быть вычислена по следующим формулам:

$$P_n = 3P_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi} = 3I_{\phi}^2R_{\phi} = 3\frac{U_{\phi}^2}{R_{\phi}}.$$

Подготовка к работе

Для исследуемой электрической цепи, схема которой показана на рис. 13.1, и по указанному преподавателем варианту из табл. 13.1:

1. Рассчитать токи, мощности фаз и всей нагрузки цепи при наличии нейтрального провода. Результаты записать в рабочую тетрадь.

2. Рассчитать напряжение смещения нейтрали, напряжения, токи, мощности фаз и всей нагрузки цепи при обрыве нейтрального провода (в расчетах начальную фазу напряжения фазы A источника следует принять равной нулю). Результаты занести в рабочую тетрадь.

3. Построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений по данным предыдущего пункта.

Таблица 13.1

Параметры цепи, Ом	Варианты исходных данных											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_A	30	40	40	50	50	30	40	50	50	60	60	40
R_B	40	30	50	40	30	50	50	40	60	50	40	60
R_C	50	50	30	30	40	40	60	60	40	40	50	50

Порядок проведения эксперимента

При выполнении эксперимента используется по указанию преподавателя один вариант из приведенных в табл. 13.1 параметров исследуемой цепи.

1. Измерить фазное U_{ϕ} и линейное U_{Δ} напряжения симметричного трехфазного источника. Результаты занести в табл. 13.2.

2. Собрать исследуемую электрическую цепь по схеме рис. 13.1. Для цепи с нейтральным проводом выполнить следующие три опыта:

- а) при сопротивлениях фаз нагрузки, соответствующих заданному варианту;
- б) при обрыве провода фазы А;
- в) при равных сопротивлениях во всех трех фазах нагрузки.

Результаты измерения напряжений, токов и мощностей занести в табл. 13.2.

3. Для цепи без нейтрального провода выполнить следующие четыре опыта:

- а) при симметричной нагрузке, установленной в опыте пункта 2, в;
- б) при сопротивлениях фаз нагрузки, соответствующих заданному варианту;
- в) при обрыве провода в фазе А;
- г) при равном нулю сопротивлении фазы А.

Результаты измерения напряжений, токов и мощностей занести в табл. 13.2.

Таблица 13.2

№ опыта	$U_{\phi} = \dots \text{В}, U_{\Delta} = \dots \text{В}$														
	Из опыта											Расчет			
	U_A	U_B	U_C	$U_{O'O}$	I_A	I_B	I_C	I_N	P_1	P_2		P_A	P_B	P_C	P_{Σ}
	В				А				Вт			Вт			
1															
2															
и т. д.															

Обработка результатов эксперимента

1. На основании опытных данных рассчитать мощность фаз P_A, P_B, P_C и всей трехфазной нагрузки P_{Σ} . Результаты

расчетов занести в табл. 13.2 и сравнить с экспериментальными данными.

2. Пользуясь экспериментальными данными, построить:

а) в одних осях координат топографическую диаграмму напряжений и векторные диаграммы токов по данным опытов 1 ÷ 3 (см. табл. 13.2).

б) топографические диаграммы напряжений по данным опытов 4 ÷ 7 (см. табл. 13.2).

Примечания. 1. Диаграммы следует строить, принимая равной нулю начальную фазу напряжения фазы А источника.

2. Построение векторов напряжений на диаграммах целесообразно выполнять с помощью циркуля. Начертить окружности с центрами в вершинах треугольника линейных напряжений и радиусами, равными напряжениям фаз нагрузки. Пересечение окружностей будет точкой O' смещения нейтрали нагрузки и концом вектора напряжения $U_{O'O}$.

Содержание отчета

В отчет по выполненной работе следует включить схему экспериментально исследованной электрической цепи (см. рис. 13.1) и указать выполненный вариант. Записать расчетные формулы и соотношения, использованные в вычислениях при подготовке к работе и обработке результатов эксперимента. Привести полностью заполненную соответствующими количественными данными табл. 13.2. Приложить все графики-диаграммы, построенные при подготовке к работе и обработке результатов эксперимента. Указать номер стенда, на котором проводился эксперимент, перечень измерительных приборов и их технические характеристики.

По выполненной работе сделать краткие и содержательные выводы.

Для цепи с нейтральным проводом: оценить зависимость напряжений и токов фаз от изменения сопротивления нагрузки; для одних и тех же опытов дать сравнительную оценку мощности нагрузки, показываемую двумя ваттметрами в цепи и полученную расчетами, суммируя мощности трех фаз.

Для цепи без нейтрального провода: оценить пределы изменения напряжения смещения нейтрали и напряжений фаз в зависимости от изменения сопротивления одной фазы; указать возможное расположение вектора напряжения смещения нейтрали на топографической диаграмме.

Оценить соответствие теоретических расчетов и графических построений, выполненных при подготовке к работе, с эк-

спериментальными результатами для одних и тех же режимов.

Указать влияние погрешности измерений на результаты экспериментов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как получают в электрических цепях трехфазный ток?
2. Каково назначение нейтрального провода в трехфазной цепи?
3. Почему в цепи с нейтральным проводом сопротивление фазы нельзя уменьшать до нуля?
4. В каком режиме два ваттметра в цепи с нейтральным проводом (см. рис. 13.1) покажут мощность всей нагрузки?
5. Укажите геометрическое место точек конца вектора напряжения смещения нейтрали при изменении сопротивления одной из фаз и неизменных и равных сопротивлениях двух других фаз в цепи без нейтрального провода?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи.— М.: Энергия, 1978, с. 361—378.
2. Основы теории цепей/Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Негушил, С. В. Страхов.— М.: Энергия, 1975, с. 256—264, 267—271, 276—277.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи.— М.: Высшая школа, 1978, с. 141—146, 148—152.

Работа № 14

ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ С АКТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ В ВИДЕ ТРЕУГОЛЬНИКА

Объект и цель исследования

Для электроснабжения промышленных объектов применяется трехфазный ток. Схемы соединения нагрузки в виде треугольника используются при осуществлении электрической тяги переменным током, а также для освещения и питания бытовых объектов по трехпроводным линиям (без нулевого провода).

Цель работы — исследование соотношений между токами, активной мощностью в трехфазной цепи при симметричных и несимметричных нагрузках.

Работа выполняется на стенде, имеющем трехфазный источник симметричных напряжений промышленной частоты (рис. 14.1). В качестве фазных нагрузок используются реостаты, а для измерения токов, напряжений и активной мощности применяются амперметры и вольтметр электромагнитной сис-

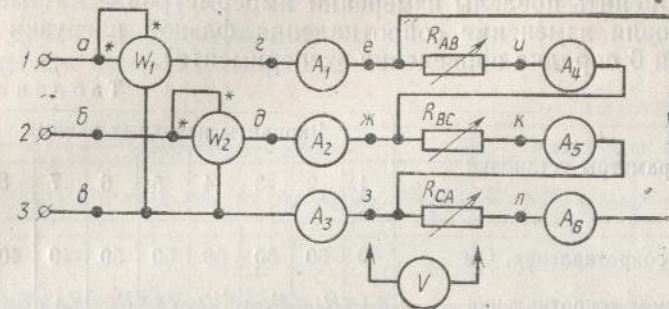


Рис. 14.1

темы и два однофазных ваттметра электродинамической системы.

Основные расчетные соотношения

Фазные токи рассчитываются:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}; \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{R_{BC}}; \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{R_{CA}}.$$

Линейные токи могут быть определены через фазные токи с помощью векторных диаграмм. Комплексные линейные токи:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}; \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Для симметричного режима цепи

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi.$$

Активная мощность цепи равна сумме мощностей фаз

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}.$$

Подготовка к работе

Работа выполняется в одном из девяти вариантов по указанию преподавателя в соответствии с табл. 14.1.

1. Рассчитать токи (фазные и линейные) в цепи в соответствии с вариантом для симметричного режима, считая линейное напряжение равным 127 В.

2. Рассчитать мощности отдельных фаз и всей цепи в соответствии с вариантом.

3. Оценить пределы измерений амперметров и ваттметров из условия изменения сопротивления фазной нагрузки (см. п. 5 или 6 порядка проведения эксперимента).

Таблица 14.1

Параметры установки	Варианты исходных данных								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фазные сопротивления, Ом	60	60	60	50	50	50	40	40	40
Изменяемое сопротивление	R_{AB}	R_{BC}	R_{CA}	R_{AB}	R_{BC}	R_{CA}	R_{AB}	R_{BC}	R_{CA}
Точка обрыва линейного провода	е	е	е	ж	ж	ж	з	з	з
Точка обрыва фазного провода	и	к	л	и	к	л	и	к	л

Порядок проведения эксперимента

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 14.1. Установить движки реостатов в положения, соответствующие их максимальному сопротивлению. Проверить схему электрической цепи и подключить цепь к источнику напряжения.

2. Установить симметричный режим работы цепи, соответствующий заданному варианту. Записать значения токов, напряжений и мощности в табл. 14.2.

3. Не изменяя фазных сопротивлений нагрузки, произвести разрыв линейного провода (в соответствии с вариантом). Записать значения токов, напряжений и мощности в табл. 14.2.

4. Восстановить оборванный линейный провод и произвести разрыв фазного провода (также в соответствии с вариантом). Записать значения токов, напряжений и мощности в табл. 14.2.

5*. Восстановить цепь и задать несимметричный режим работы цепи, изменив только одно сопротивление (в соответствии с вариантом). Величина изменяемого сопротивления должна отличаться от режима, установленного в п. 2, не менее, чем в $1,5 \div 2$ раза. Прodelать измерения и результаты записать в табл. 14.2.

6*. Изменить сопротивления во всех фазах нагрузки (про-

* По указанию преподавателя выполняется только один какой-либо пункт.

извольно) так, чтобы токи в фазах были неравны и отличались друг от друга не менее, чем в 1,5 раза ($I_{AB} \neq I_{BC} \neq I_{CA}$). Прodelать измерения и результаты записать в табл. 14.2.

Таблица 14.2

№ опыта	Показания приборов											Результаты расчета				
	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	W_1	W_2	W_1+W_2	P_{AB}	P_{BC}	P_{CA}	P_{Σ}
	В			А						Вт		Вт	Вт			
1																
2																
3																
4																

Обработка результатов эксперимента

1. По данным опытов пп. 2—6 рассчитать активные мощности отдельных фаз и суммарную мощность всей цепи. Сравнить результат расчета с суммой показаний ваттметров.

2. Сравнить экспериментальные данные с расчетными величинами, полученными при подготовке к работе (см. табл. 14.1).

3. По опытным данным п. 5* или 6* построить векторные диаграммы токов и напряжений.

4. Сделать выводы по проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы соотношения между фазными и линейными напряжениями в трехфазной цепи, соединенной треугольником?

2. Каковы соотношения между фазными и линейными токами в трехфазной цепи, соединенной треугольником?

3. Как определить активную мощность трехфазной цепи, соединенной треугольником?

4. Какие существуют схемы измерения активной мощности в трехфазных цепях, соединенных треугольником?

5. Как изменятся соотношения между токами в симметричной трехфазной цепи, соединенной треугольником, после обрыва одного фазного провода?

6. Как изменятся соотношения между токами в симметричной трехфазной цепи, соединенной треугольником, после обрыва одного линейного провода?

7. Где, практически, применяются трехфазные цепи, соединенные треугольником?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники, ч. 1. Линейные электрические цепи. — М.: Энергия, 1978: § 12-1 ÷ 12-5, с. 361—378.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. — М.: Высшая школа, 1978, § 6-4 ÷ 6-7, 6-13 ÷ 6-14, с. 142 — 150.
3. Зевеке Г. В. и др. Основы теории цепей. — М.: Энергия, 1975. § 10-2 ÷ 10-6, 10-9, с. 259—276.
4. Теоретические основы электротехники. Т. 1. Основы теории линейных цепей/Под ред. П. А. Ионкина — М.: Высшая школа, 1976. § 10-1 ÷ 10-3; 10-5, с. 300—317.

Работа № 15

НЕОДНОРОДНАЯ НАГРУЗКА ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ, СОЕДИНЕННОЙ ЗВЕЗДОЙ

Объект и цель исследования

При неоднородной нагрузке трехфазной цепи, соединенной звездой, напряжения на фазах нагрузки в общем случае различаются по величине и сдвинуты по фазам на углы, отличающиеся от 120 эл. град., а между нейтральными точками нагрузки и источника возникает напряжение, называемое напряжением смещения нейтрали $U_{O'O}$.

Для уменьшения этого напряжения нейтральные точки нагрузки и источника соединяют нейтральным проводом. При этом происходит практически полное симметрирование фазных напряжений нагрузки.

Трехфазные цепи с нейтральным проводом широко применяются в низковольтных сетях 380/220 В продольного железнодорожного электроснабжения, питаемых от системы ДПР (два провода—рельсы).

Целью работы является экспериментальное исследование соотношений между напряжениями и токами в трехфазной цепи при неоднородной нагрузке фаз при наличии нейтрального провода и без него.

На рис. 15.1 приведена схема экспериментальной установки, представляющая собой упрощенную модель трехфазной цепи с несимметричной и неоднородной нагрузкой фаз. Элементами нагрузки в фазах В и С являются реостаты, а в фазе А — конденсаторная батарея со ступенчатой регулировкой емкости.

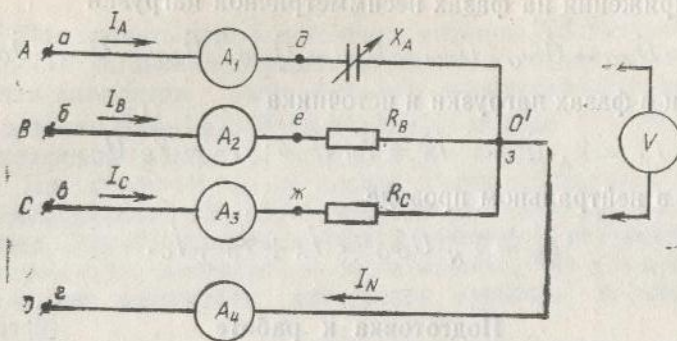


Рис. 15.1

Вместо реостатов можно включить лампы накаливания одинаковой мощности. При этом опытная установка может служить в качестве фазоуказателя, т. е. устройства, с помощью которого можно определять порядок следования фаз трехфазного источника энергии.

Для измерения токов и напряжений в цепи используются амперметры и вольтметры электромагнитной системы, реагирующие на действующие значения измеряемых величин.

Основные расчетные соотношения

В трехфазной цепи, соединенной звездой, напряжение смещения нейтрали определяется методом двух узлов

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{Y_A \cdot \dot{U}_{AO} + Y_B \cdot \dot{U}_{BO} + Y_C \cdot \dot{U}_{CO}}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N},$$

где $\dot{U}_{AO}$, $\dot{U}_{BO}$, $\dot{U}_{CO}$ — комплексы фазных напряжений источника энергии;

Y_A , Y_B , Y_C — комплексные проводимости фаз нагрузки;

Y_N — комплексная проводимость ветви нейтрального провода.

Если нейтральный провод отсутствует, то $Y_N = 0$; если же нейтральный провод имеет нулевое сопротивление, то $Y_N = \infty$ и $U_{O'O} = 0$.

Напряжения на фазах несимметричной нагрузки

$$\dot{U}_{AO'} = \dot{U}_{AO} - \dot{U}_{O'O}, \quad \dot{U}_{BO'} = \dot{U}_{BO} - \dot{U}_{O'O}, \quad \dot{U}_{CO'} = \dot{U}_{CO} - \dot{U}_{O'O}.$$

Токи в фазах нагрузки и источника

$$\dot{I}_A = Y_A \cdot \dot{U}_{AO'}; \quad \dot{I}_B = Y_B \cdot \dot{U}_{BO'}; \quad \dot{I}_C = Y_C \cdot \dot{U}_{CO'}.$$

Ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_N = Y_N \cdot \dot{U}_{O'O} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

Подготовка к работе

Для указанного преподавателем варианта исходных данных, приведенных в табл. 15.1, необходимо расчетным путем оценить возможные режимы работы экспериментальной установки при наличии нейтрального провода ($Y_N = \infty$), пренебрегая его сопротивлением и без нейтрального провода ($Y_N = 0$): определить ожидаемые величины токов в фазах нагрузки и в нейтральном проводе, величины напряжения смещения нейтрали и напряжений на фазах нагрузки. Исходя из ожидаемых величин токов и напряжений выбрать необходимые пределы измерения амперметров и вольтметров.

Таблица 15.1

Параметры установки	Варианты исходных данных											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$C, \text{ мкФ}$	100	90	80	70	60	50	40	32	38	52	64	72
$R_B = R_C, \text{ Ом}$	32	35	40	45	53	64	80	100	84	60	50	44

Линейное напряжение источника во всех вариантах принимается одинаковым $U_{\text{л}} = 120 \text{ В}$.

Порядок проведения эксперимента

1. Подобрать оборудование и измерительные приборы, необходимые для выполнения работы в соответствии с заданным вариантом исходных данных.

Собрать электрическую цепь по схеме рис. 15.1. Установить в собранной схеме параметры элементов цепи в соответствии

с заданным вариантом. Проверить правильность монтажа схемы.

2. Подключить цепь к источнику питания. Убедиться в правильности установки параметров схемы в соответствии с заданным вариантом. Выполнить все необходимые измерения для данного режима работы цепи ($I_A \approx I_B \approx I_C$). Результаты измерений записать в табл. 15.2 (опыт 1).

3. При отключенном от схемы источнике питания отключить нейтральный провод от нейтральных точек нагрузки и источника. Затем подключить цепь к источнику, не изменяя параметров цепи, выполнить те же измерения, что и в предыдущем опыте; результаты измерений записать в табл. 15.2 (опыт 2).

4. При отключенном от схемы источнике питания восстановить нейтральный провод. Подключить цепь к источнику питания и изменить сопротивления реостатов таким образом, чтобы токи в них стали один больше (например в фазе В), а другой меньше, чем ток в конденсаторе. Провести все необходимые измерения, результаты измерений записать в табл. 15.2 (опыт 3).

5. При отключенном от схемы источнике питания вновь отключить нейтральный провод от нейтральных точек нагрузки и источника. Включить цепь под напряжение и провести все необходимые измерения. Результаты измерений записать в табл. 15.2 (опыт 4).

6. Собрать схему фазоуказателя, состоящего из двух одинаковых по мощности ламп накаливания и конденсатора, соединенных звездой без нейтрального провода. После проверки схемы включить цепь под напряжение. Убедиться, что при любых конечных значениях емкости конденсатора лампы имеют разный накал. Удостовериться, что чередование фаз соответствует их разметке на панели стенда.

Таблица 15.2

№ опыта	Показания приборов в опытах								Расчет			
	$U_{\text{л}}$	$U_{AO'}$	$U_{BO'}$	$U_{CO'}$	$U_{O'O}$	A_1	A_2	A_3	A_4	X_A	R_B	R_C
	В					А				Ом		
1					0							
2									0			
3					0							
4									0			

Сопоставить полученные результаты измерений токов в фазах нагрузки, напряжений на фазах нагрузки и напряжения смещения нейтрали в опытах (1 и 2) с ожидаемыми показаниями приборов и оценить степень их соответствия с учетом класса точности приборов и правильности установки во всех опытах заданных параметров схемы. Для этого необходимо рассчитать параметры элементов схемы X_A , R_B и R_C по результатам опытов и сопоставить их с параметрами заданного варианта. По результатам опытов 3 и 4 следует рассчитать сопротивления X_A , R_B и R_C .

Содержание отчета

В отчете приводится электрическая схема в соответствии с рис. 15.1, табл. 15.1 с результатами опытов и расчетов, а также векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений для каждого из четырех опытов (строятся на отдельных листах миллиметровой бумаги). В отчете необходимо привести перечень измерительных приборов, использованных при проведении эксперимента. В заключение отчета необходимо дать содержательные выводы по работе, отражающие ее основные итоги.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое напряжение смещения нейтрали, каково его влияние на фазные напряжения нагрузки?
2. При каких условиях напряжение смещения нейтрали отсутствует? Когда оно мало, в каких случаях оно велико?
3. Какова роль нейтрального провода в трехфазной цепи, соединенной по схеме звезда — звезда? В каких случаях для нормальной работы трехфазной цепи, соединенной по схеме звезда — звезда, необходим нейтральный провод? Когда необходимость в нейтральном проводе отсутствует?
4. Как рассчитывается напряжение смещения нейтрали, фазные напряжения нагрузки, токи в фазах нагрузки, ток в нейтральном проводе?
5. Как связана величина тока в нейтральном проводе с величинами токов в фазах нагрузки при различных режимах работы цепи?
6. Объяснить принцип работы фазоуказателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зевеке Г. В. и др. Основы теории цепей. М.: Энергия, 1975, § 10-4, 10-6, 10-7, с. 263—266, 268—273.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высшая школа, 1978, § 6.8, 6.11, 6.16, с. 145—146, 148, 152.
3. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1, М.: Энергия, 1970, § 12-4, с. 377—381.

СИММЕТРИЧНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

Объект и цель исследований

При несимметричных режимах в трехфазных системах токи и напряжения содержат симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательности. Для их измерения применяются специальные электрические схемы, называемые фильтрами симметричных составляющих. Такие фильтры используются, например, в схемах релейной защиты электрических установок от аварийных режимов.

Целью работы является экспериментальное определение симметричных составляющих трехфазной цепи с помощью фильтров напряжений прямой, обратной и нулевой последовательности.

Принципиальная схема исследуемой цепи приведена на рис. 16.1. Система линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} трехфазного источника энергии симметрична, каждое из них равно 120 В. Нагрузка имеет активный характер и также симметрична. Линейные напряжения $U_{A'B'}$, $U_{B'C'}$ и $U_{C'A'}$ и соответствующие им фазные напряжения, устанавливаемые посредством движков реостатов, образуют несимметричную систему. К подвижным контактам реостатов подключены фильтры симметричных составляющих напряжений, смонтированные на стенде в виде отдельных панелей. В схеме фильтра прямой последовательности сопротивления R_1 , R_2 и X_C

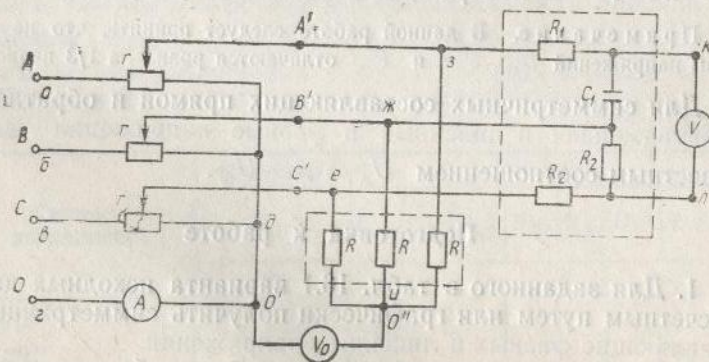


Рис. 16.1

связаны соотношением $R_1 = R_2 = \sqrt{3} X_C$. При этом показание вольтметра V соответствует полторакратному значению линейного напряжения прямой последовательности. Если поменять зажимы фильтра в точках A' и C' , то указанный вольтметр измерит напряжение, в полтора раза превышающее линейное напряжение обратной последовательности. Сопротивления резисторов R_1 и R_2 в этом фильтре приняты равными 500 Ом.

Фильтр напряжения нулевой последовательности представляет симметричную нагрузку, соединенную звездой. Сопротивления этого фильтра приняты равными 1000 Ом. Вольтметр V_0 , включенный между точками O' и O'' , измеряет напряжение нулевой последовательности.

Основные расчетные соотношения

Симметричные составляющие фазных напряжений несимметричной трехфазной цепи для фазы A определяются по формулам:

$$\dot{U}_{A_1} = \frac{1}{3} (\dot{U}_A + a\dot{U}_B + a^2\dot{U}_C)$$

$$\dot{U}_{A_2} = \frac{1}{3} (\dot{U}_A + a^2\dot{U}_B + a\dot{U}_C)$$

$$\dot{U}_{A_0} = \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C),$$

где $a = e^{j120^\circ}$ — поворотный множитель трехфазной системы.

Примечание. В данной работе следует принять, что начальные фазы напряжений $U_{A'}$, $U_{B'}$ и $U_{C'}$ отличаются ровно на $1/3$ периода.

Для симметричных составляющих прямой и обратной последовательности линейные и фазные напряжения связаны известным соотношением $U_\lambda = \sqrt{3} U_\phi$.

Подготовка к работе

1. Для заданного в табл. 16.1 варианта исходных данных расчетным путем или графически получить симметричные составляющие фазных и линейных напряжений.
2. Построить на миллиметровке в масштабе заданную (не-

симметричную) систему фазных напряжений на нагрузке $U_{A'}$, $U_{B'}$ и $U_{C'}$ и симметричные системы прямой, обратной и нулевой последовательности. Проверить соответствие симметричных систем фазных напряжений заданной несимметричной системе.

Таблица 16.1

Фазные напряжения	Варианты исходных данных									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{A'}$	70	35	70	60	30	30	60	0	60	60
$U_{B'}$	35	70	70	60	60	60	30	70	0	60
$U_{C'}$	35	35	35	30	60	30	60	70	60	0

Порядок проведения эксперимента

1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 16.1.
2. Поместить движки реостатов в крайнее левое положение и измерить вольтметром V симметричные составляющие прямой и обратной последовательности линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} трехфазного источника энергии. Показания вольтметра записать в табл. 16.2.
3. Перемещая движки реостатов вправо, установить заданные фазные напряжения $U_{A'}$, $U_{B'}$ и $U_{C'}$, используя для их измерения имеющиеся на стенде вольтметры. Измерить вольтметром V фильтра симметричные составляющие прямой и обратной последовательности линейных напряжений $U_{A'B'}$, $U_{B'C'}$ и $U_{C'A'}$. Затем вольтметром V_0 измерить фазное напряжение нулевой последовательности.

Полученные данные записать в табл. 16.2.

Таблица 16.2

Система напряжений	Измерено			Вычислено								
	$U_{\lambda 1}$	$U_{\lambda 2}$	$U_{\lambda 0}$	$U_{\lambda 1}$	$U_{\lambda 2}$	$U_{\phi 1}$	$U_{\phi 2}$	$U_{\phi 0}$	$U_{A'}$	$U_{B'}$	$U_{C'}$	
	В			В								
ABC												
A'B'C'												

Обработка результатов эксперимента

1. По показаниям вольтметров V и V_0 вычислить симметричные составляющие линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} и $U_{A'B'}$, $U_{B'C'}$, $U_{C'A'}$.

2. По симметричным составляющим линейных напряжений вычислить симметричные составляющие фазных напряжений $U_{A'}$, $U_{B'}$, $U_{C'}$ и фазные напряжения $U_{A'}$, $U_{B'}$, $U_{C'}$.

Полученные данные поместить в табл. 16.2. Сравнить заданные и вычисленные фазные напряжения.

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены:

1) электрическая схема исследуемой цепи с фильтрами симметричных составляющих;

2) расчеты и диаграммы по пп. 1 и 2 разд. «Подготовка к работе»;

3) табл. 16.2 с экспериментальными и расчетными данными;

4) выводы по работе;

5) перечень измерительных приборов, используемых в работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое симметричные составляющие несимметричной трехфазной цепи? С какой целью определяются эти составляющие?

2. Напишите формулы для расчета симметричных систем векторов прямой, обратной и нулевой последовательностей по заданной несимметричной системе токов или напряжений в трехфазной цепи.

3. Как определить три вектора несимметричной трехфазной цепи по заданным симметричным составляющим?

4. Какие симметричные составляющие содержат несимметричные системы линейных и фазных напряжений (токов)?

5. Напишите уравнения мгновенных значений симметричных систем напряжений (токов) для прямой, обратной и нулевой последовательности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теории цепей/Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Негушин, С. В. Страхов — М.: Энергия, 1975, § 11-1, с. 280—289.

2. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Ч. I. Линейные электрические цепи. — М.: Энергия, 1978, с. 394—398.

3. Каплянский А. Е., Лысенко А. П., Полотовский Л. С. Теоретические основы электротехники. — М.: Высшая школа, 1972, § 127, с. 196—199.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 13. Трехфазная цепь с активной нагрузкой в виде звезды	3
Работа № 14. Трехфазная цепь с активной нагрузкой в виде треугольника	8
Работа № 15. Неодинородная нагрузка трехфазной цепи, соединенной звездой	12
Работа № 16. Симметричные составляющие напряжений в трехфазных цепях	17

Составители: Тюкфять Касымович Асанов, Станислав Петрович Власов,

Владимир Сергеевич Воротников, Лидия Георгиевна Сегал

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

по дисциплине

«Теоретические основы электротехники»

Раздел IV

Ответственный за выпуск Н. В. Кондратьева

Редактор И. С. Громыкина

Техн. редактор Н. Н. Васильева

Корректор Г. М. Пастушкова

Сдано в набор 13/XII 1985 г.

Подписано к печати 18/III 1986 г.

Формат 60×90^{1/16}. Печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,15. Зак. 2021. Тир. 1000.

Бесплатно

Редакционно-издательский отдел МИИТа

Типография МИИТа, Москва, ул. Образцова, 15.