Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественные и математические науки»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторной работе «Исследования трехфазных цепей»
для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

Очной, очно-заочной и заочной формы обучения

Энгельс 2024

Лабораторная работа 4.1.

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ. СОЕДИНЕНИЕ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ

Цель работы: изучить цепь трехфазного тока при соединении приемника звездой в симметричном и несимметричном режимах. Определить роль нейтрального (нулевого) провода.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Трехфазной системой переменных токов называется совокупность трех однофазных электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые по фазе на 1/3 периода и создаваемые общим источником электрической энергии. Трехфазная система была изобретена и разработана во всех деталях талантливым русским инженером М.О.Доливо-Добровольским в 1891 году.

Источником энергии в трехфазной системе служит трехфазный генератор. В пазах его статора размещены три электрически изолированные друг от друга обмотки (фазные обмотки или просто фазы) генератора. Если ротор генератора двухполюсный, то оси фазных обмоток генератора повернуты в пространстве относительно друг друга на угол $2\pi/3$. При вращении ротора в фазных обмотках статора индуктируются синусоидальные фазные ЭДС. Вследствие симметрии конструкции генератора максимальные E_m и действующие E значения ЭДС во всех фазах одинаковы.

Соединение фаз (обмоток) генератора может осуществляться по схеме “звезда” или “треугольник”. Фазы трехфазного генератора принято обозначать первыми буквами латинского алфавита: A, B, C. Чередование фаз генератора строго определенное и определяется изменением во времени фазных ЭДС, т.е. в очередности максимумов ЭДС: сначала фазы A, затем через 1/3T фазы B и через 2/3T фазы C. Такая последовательность чередования называется прямой.

Мгновенные значения ЭДС трехфазных обмоток генератора равны:

$$e_A=E_m\sin\omega t \qquad e_B=E_m\sin(\omega t-2/3\pi) \qquad e_C=E_m\sin(\omega t-4/3\pi) \qquad (1)$$

На рис.8.1 показаны графики мгновенных значений фазных ЭДС и три вектора соответствующих им действующих значений ЭДС.

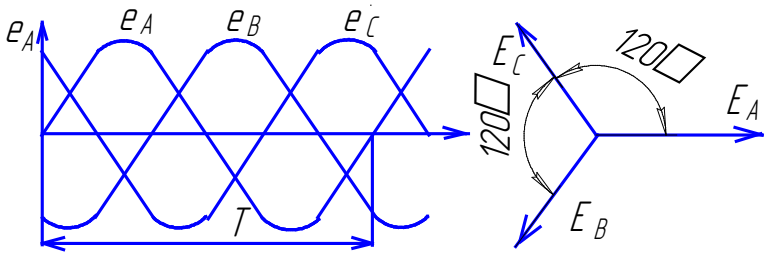


Рис. 8.1

Как видно из рис.8.1 сумма мгновенных значений ЭДС в любой момент времени равна нулю, следовательно, геометрическая сумма действующих значений фазных ЭДС генератора также равна нулю:

$$e_A+e_B+e_C=0 \qquad (2)$$
$$\underline{E}_A+\underline{E}_B+\underline{E}_C=0$$

Согласно рис.8.1, выразим комплексные значения ЭДС трехфазного генератора через одинаковое для всех трех фаз действующее значение E, тогда

$$\underline{E}_A=E\cdot e^{j0}$$
$$\underline{E}_B=E\bullet e^{-j2/3\pi} \qquad (3)$$
$$\underline{E}_C=E\bullet e^{2/3\pi}$$

Для получения трехфазной системы необходимо определенным образом соединить также фазы приемника, обычно по схеме “звезда” или “треугольник”.

В настоящее время трехфазная система является основной для передачи и распределения энергии.

Фазные обмотки трехфазного генератора можно соединить с тремя приемниками по схеме “звезда”. “Звездой” называется такое соединение, при котором концы фаз соединены в одну общую точку N называемую нейтральной или нулевой, а к началам фаз A, B, C подведены линейные провода. В «звезду» соединяют и фазы нагрузки с нулевой точкой n и началами фаз a, b, c (Рис.8.2).

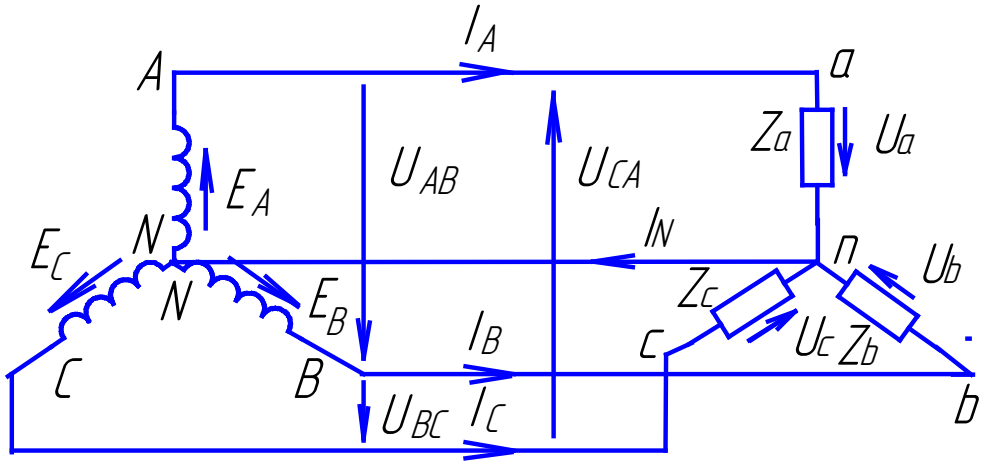


Рис.8.2

Провод, соединяющий точки N-n, называется нейтральным или нулевым. Провода, соединяющие точки A-a, B-в и C-c, называют линейными.

Приняв сопротивления всех проводов равным нулю, можно определить токи трех фаз приемника и генератора :

$$\underline{I}_A=\underline{E}_A/Z_A\ ;\ \underline{I}_B=\underline{E}_B/Z_B\ ;\ \underline{I}_C=\underline{E}_C/Z_C. \qquad (4)$$

Токи $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$, протекающие по линейным проводам, называют

линейными ($I_Л$). Токи протекающие в фазах генератора и в фазах нагрузки называются фазными токами ($I_ф$). Для соединения “звездой” линейные токи равны фазным, то есть

$$\underline{I}_Л=\underline{I}_ф \qquad (5)$$

Ток в нейтральном проводе по первому закону Кирхгофа равен:

$$\underline{I}_N=\underline{I}_A+\underline{I}_B+\underline{I}_C \qquad (6)$$

Приемники с одинаковым сопротивлением всех трех фаз $\underline{Z}_a=\underline{Z}_b=\underline{Z}_c$ называются симметричными. При симметричном приемнике $\underline{I}_A=\underline{I}_B=\underline{I}_C$ и ток в нейтральном проводе $I_N=0$

Напряжение между началом и концом фазы генератора (или фазы нагрузки) или напряжение между линейным и нулевым проводом называется фазным напряжением. Для генератора и линии электропередачи фазные напряжения (их три) обозначаются так: U_A, U_B, U_C или $U_{ф.}$ Фазные напряжения нагрузки обозначаются так: Ua, Ub, Uc.

Напряжения между двумя началами фаз генератора (или двумя началами фаз нагрузки) или между двумя линейными проводами называются линейными и обозначаются для генератора и линии электропередачи: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}, или Uл, для нагрузки Uab, Ubc, Uca.

Рассматривая поочередно контуры abn, bcn, can (рис.8.2) по второму закону Кирхгофа линейные напряжения равны :

$$\begin{aligned} \underline{U}_{AB} &= \underline{U}_A - \underline{U}_B \\ \underline{U}_{BC} &= \underline{U}_B - \underline{U}_C \qquad (7) \\ \underline{U}_{CA} &= \underline{U}_C - \underline{U}_A \end{aligned}$$

Пользуясь этим соотношением, построим векторную диаграмму (рис.8.3а) напряжений для симметричной нагрузки.

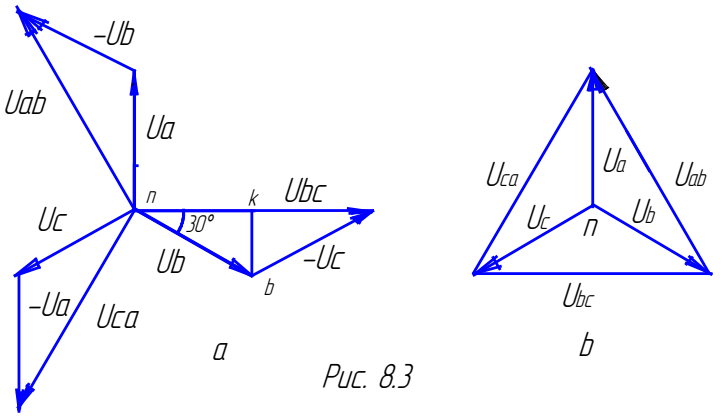


Рис. 8.3

Из рис.8.3а видно, что “звезда” линейных напряжений опережает “звезду” фазных напряжений на 30°. Отсюда из Δnkb:

$$U_{BC}/2U_B=30° \quad U_{BC}=\sqrt{3}*U_B, \text{ т.е. } U_л=\sqrt{3}*U_Ф \qquad (8)$$

При наличии нейтрального провода условие (8) выполняется как при симметричном, так и при несимметричном приемнике. На Рис.8.3b приведены векторная диаграмма фазных напряжений и топографическая диаграмма линейных напряжений.

Фазные коэффициенты мощности равны:

$$\cos\varphi_a=R_a/Z_a\ ;\ \cos\varphi_в=R_b/Z_b\ ;\ \cos\varphi_c=R_c/Z_c \qquad (9)$$

где φ_a, $\varphi_в$, φ_c углы сдвига фаз между фазными напряжениями и фазными токами.

При симметричной нагрузке :

$$\underline{I}_a=\underline{I}_b=\underline{I}_c=I_ф=U_Ф/Z_ф \qquad (10)$$

$$\cos\varphi_a=\cos\varphi_в=\cos\varphi_c=R_ф/Z_ф$$

Ток в нейтральном проводе I_N=0, поэтому для подключения трехфазных симметричных установок (нагревательных печей, сушильных установок , электродвигателей и других симметричных установок) применяется трехпроводная цепь. Для осветительной нагрузки наличие нейтрального провода обязательно, так как почти постоянно сохраняется несимметрия. В нейтральном проводе в четырехпроводной осветительной сети запрещена установка предохранителей или выключателей, так как при отключении нейтрального провода фазные напряжения могут стать неравными. В одних фазах напряжение будет больше номинального, в других – меньше номинального. В обоих случаях возможен выход приемника из строя. При этом нарушается цепь защитного зануления.

Векторная диаграмма напряжений и токов при симметричной активно-индуктивной нагрузке приведена на рис.8.4

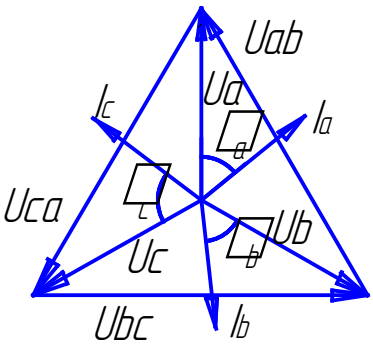


Рис.8.4

При несимметричном приемнике, например : $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$ соотношение $\underline{I}_Л=\underline{I}_Ф$ сохраняется, а соотношение $U_л=\sqrt{3}*U_Ф$ нарушается.

На рис.8.5 показана векторная диаграмма при увеличении нагрузки в фазе «а», то есть при $Z_a<Z_b=Z_c$, нагрузка активная.

На рис.8.6 - векторная диаграмма короткого замыкания фазы “а”, что соответствует перемещению нейтральной точки n в точку а, и U_A=0, Z_a=0.

На рис.8.7 - векторная диаграмма для случая обрыва фазы А, что соответствует $Z_a=\infty$ нейтральная точка n переместится на середину линейного напряжения вектора U_{bc} (n^1), тогда напряжения на фазах “b” и “c” будут

$$U_b=U_c=U_{bc}/2=Ua/2 \qquad (11)$$

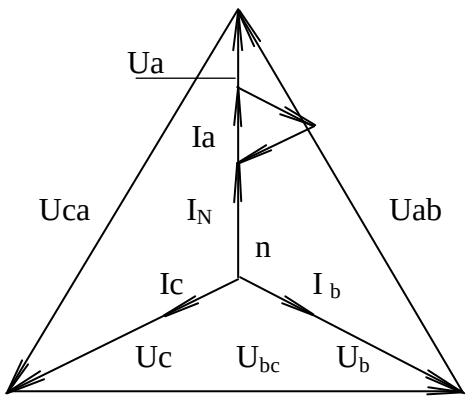


Рис. 8.5

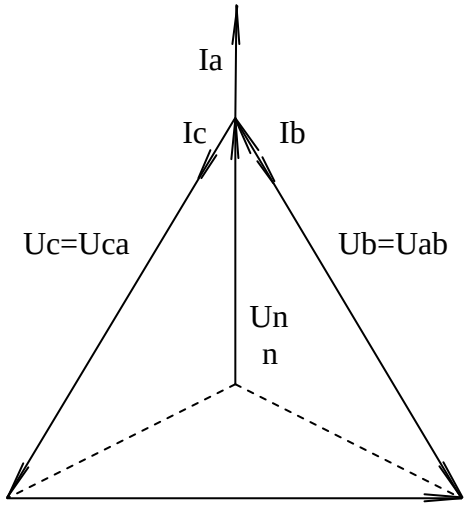


Рис. 8.6

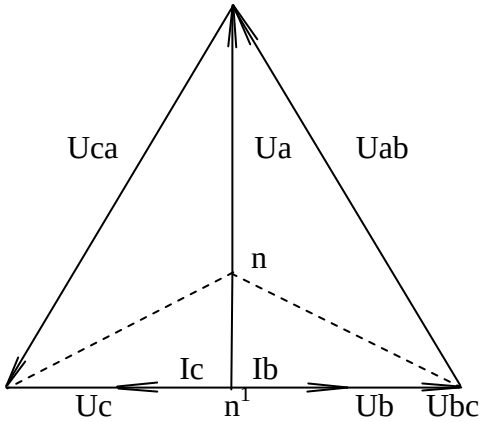


Рис.8.7

Активная мощность фазы при соединении нагрузки “звездой” например, фазы а, равна:

$$P_a=U_aI_a\cos\varphi.$$

Активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равны:

$$P=P_a+P_b+P_c$$

$$Q=\pm Q_a \pm Q_b \pm Q_c$$

Для реактивной мощности знак + при индуктивном характере нагрузки, знак – при емкостном характере нагрузки.

Полная мощность трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равна:

$$S=\sqrt{P^2+Q^2}$$

При симметричной нагрузке полная, активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи соответственно равны:

$S=\sqrt{3}*U_Л*I_Л$; $P=\sqrt{3}*U_Л*I_Л*\cos\varphi_Ф$; $Q=\sqrt{3}*U_Л*I_Л*\sin\varphi_Ф$

Или $S=3S_Ф=3U_Ф*I_Ф$; $P=3P_Ф=3U_Ф*I_Ф*\cos\varphi_Ф$; $Q=\sqrt{3}*U_Л*I_Л*\sin\varphi_Ф$

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.

В работе измерения электрических величин проводятся с помощью приборов непосредственной оценки. На стендах установлены амперметры для включения в каждую фазу. Для измерения тока в нулевом проводе на стендах установлены отдельные приборы. На рис.8.8 приведена принципиальная схема лабораторной работы.

К клеммам A, B, C и N подводится напряжение 36 В от трехфазного понижающего трансформатора, соединенного по схеме “звезда”/ “звезда” с нулевой точкой с напряжением 380/36 В.

Приборы A1..A7 и V измеряют линейные и фазные токи и напряжения. В качестве нагрузки трехфазной цепи служат лампы накаливания с $U_{ном}$=36 В, $P_{ном}$=40 Вт, включаемые тумблерами SA1-SA3.

Изменение нагрузки регулируется числом включенных ламп накаливания в каждой фазе. Обрыв фазы осуществляется отключением тумблера SA4. Короткое замыкание проводится путем соединения проводом начала и конца одной из фаз только в трехпроводной цепи. Изучение трехфазной цепи проводится по схеме стенда.

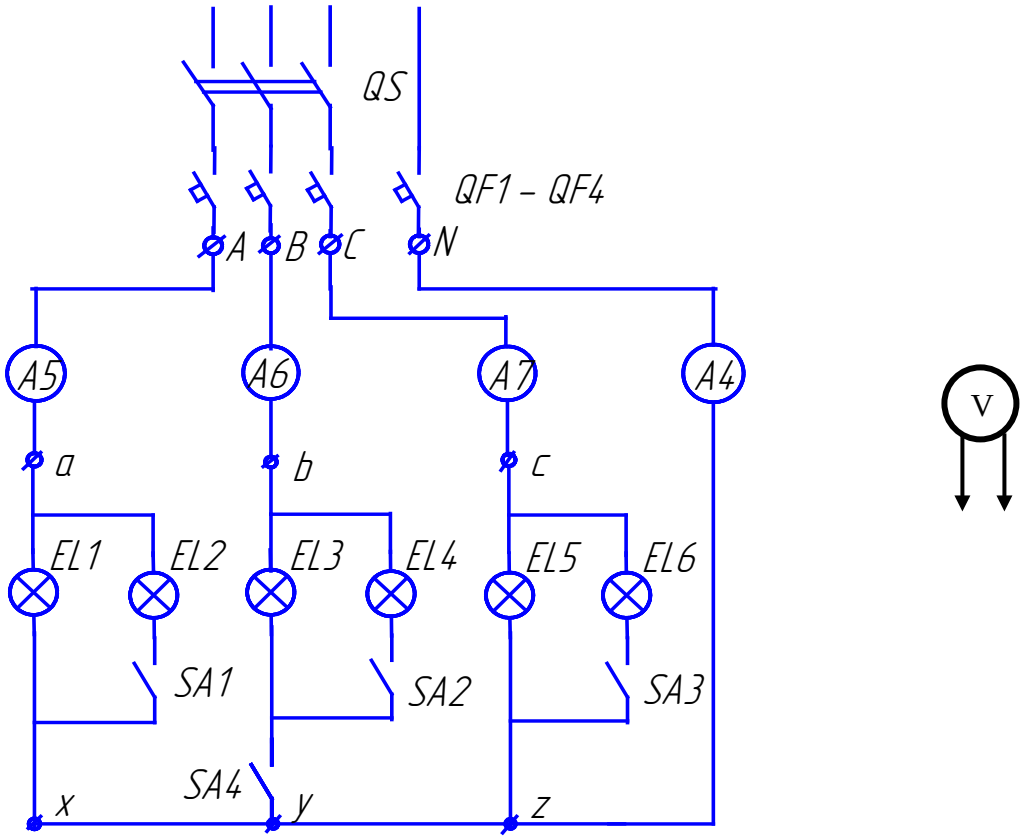


Рис.8.8

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.

1. Включать стенд в сеть только с разрешения преподавателя.
2. Во время работы стенда не прикасаться к клеммам.

3. Не проводите никаких ремонтных работ на стенде, о неисправности доложите преподавателю.
4. Не касайтесь ламп накаливания во время и после их работы.
5. Не оставляйте работающий стенд без присмотра.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Приборы и принадлежности.

Выключение стенда осуществляется пакетным выключателем QS, Рис.8.8.

Назначение приборов :

A4 – амперметр для измерения силы тока в нулевом проводе;

A5, A6, A7 – амперметры для измерения силы тока в фазах a, b, c;

V – вольтметр для измерения линейных и фазных напряжений цепи;

1. Ознакомьтесь с лабораторным стендом. Найдите сетевой выключатель, тумблеры дополнительных нагрузок.
2. Соберите схему соединения нагрузки звездой с нулевым проводом. Монтажные схемы опыта приведены на стенде. Покажите собранную схему для проверки преподавателю или лаборанту.
3. Запишите технические данные применяемых приборов. Выключите стенд и установите симметричную нагрузку фаз. Тумблеры SA1, SA2, SA3 должны быть отключены, тумблер SA4 в исходном состоянии должен быть включен.

По показаниям амперметров в фазах убедитесь в равенстве токов в фазах, а так же в отсутствии тока в нулевом проводе. Измерьте фазные и линейные напряжения. Данные запишите в табл. 8.1

Таблица 8.1

Режим нагрузки	Измерено											Вычислено			
	Uab, В	Ubc, В	Uca, В	Ua, В	Ub, В	Uc, В	Ia, А	Ib, А	Ic, А	In, А	U_{Nn}, В	Ra, Ом	Rb, Ом	Rc, Ом	P, Вт

Исследуйте нагрузку в четырехпроводной цепи в несимметричных режимах, проделав следующие опыты:

увеличьте (уменьшите) нагрузку в одной из фаз (например, “a”) ;

то же в двух фазах;

обрыв одной из фаз.

Исследуйте трехпроводную цепь, то есть без нейтрального провода. Для этого выключите автоматический выключатель QF4 в цепи нулевого провода и проделайте следующие опыты:

симметричная нагрузка (так же, как пункт 3);

увеличьте (уменьшите) нагрузку в одной из фаз (например, “a”) ;

то же в двух фазах;

короткое замыкание одной из фаз.

В соответствии с данными табл. 8.1 для всех опытов постройте векторные диаграммы токов и напряжений. Сделайте выводы по работе по форме, приведенной в лабораторной работе №10 настоящего руководства.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

В работе проводятся прямые, однократные измерения, точность которых оценивается классом точности измерительного пробора ($U_Ф$, $U_Л$, U_{Nn}, $I_Ф$, $I_Л$, I_N). Результат измерения выражаем двумя числами, например: I=4.00 ± 0,05 А, где 4.00 А – значение измеряемой величины, 0,05 А – абсолютная погрешность измерения. Оценку точности минимальных значений U_{Nn}, I_{Nn} провести по формуле относительной погрешности:

$$\delta = \pm K(X_N/x) ;$$

где К – класс точности прибора ;

X_N – нормирующие значения измеряемой величины (верхний предел шкалы прибора);

x – значение измеряемой величины.

Результаты измерений запишите в табл. 8.2.

Таблица 8.2.

Измеренные значения в единицах	U_{Nn}	I_{Nn}	
δ, %			

Вычерчивание электрических схем производится в соответствии с ГОСТом. Построение векторных и топографических диаграмм производится в масштабе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Какова цель работы и каков порядок ее выполнения ?
2. Изобразить схему опыта с включением всех приборов. Указать назначение всех приборов.
3. Написать формулы связи линейных токов и напряжений с их фазными значениями при симметричной нагрузке при соединении в “звезду”. Как определяются величины $\cos \varphi_a$, $\cos \varphi_b$, $\cos \varphi_c$, $P_Ф$, P_A, P_B, P_C, P, Q, S?
4. Рассказать о порядке построения векторной диаграммы напряжений и токов для активной нагрузки.
5. Каково назначение нулевого провода? В каких случаях по нулевому проводу протекает ток и как он определяется?
6. Изобразить схему соединения нагрузки “звездой” и включить приборы для измерения фазных и линейных токов, тока в нейтральном проводе.
7. Почему в нулевой провод никогда не ставят предохранитель?
8. Изобразите векторную диаграмму напряжений и токов при увеличении нагрузки одной из фаз четырехпроводной цепи.

9. Изобразите векторную диаграмму напряжений и токов при увеличении нагрузки в двух фазах четырехпроводной цепи.
10. Изобразите векторную диаграмму напряжений и токов при обрыве одного из линейных проводов в четырехпроводной цепи.

Литература

1. Богданов, В. В. Электротехника : учебное пособие / В. В. Богданов, О. Б. Давыденко, Н. П. Савин, А. В. Сапсалев. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 148 с. - ISBN 978-5-7782-3954-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239548.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника / П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин. - Москва : ДМК Пресс, 2013. - 416 с. - ISBN 978-5-94074-894-6. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940748946.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
3. Клепча, В. Ф. Электротехника. Лабораторный практикум : учеб. пособие / В. Ф. Клепча- 3-е изд. , стер. - Минск : РИПО, 2019. - 179 с. - ISBN 978-985-503-867-3. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855038673.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
4. Марченко, А. Л. Электротехника : учебное пособие / А. Л. Марченко. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 236 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-017056-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1587594 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
5. Электротехника. В примерах и задачах : учебное пособие / Е. И. Алгазин, В. В. Богданов, А. В. Сапсалев [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Алгазина. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 128 с. - ISBN 978-5-7782-4287-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1869119 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
6. Гальперин, М. В. Электротехника и электроника : учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 480 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-00091-779-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2030904 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
7. Маркелов, С. Н. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. Н. Маркелов, Б. Я. Сазанов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 267 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014451-1. - Текст:

электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/982772 (дата обращения: 18.09.2023). – Режим доступа: по подписке.

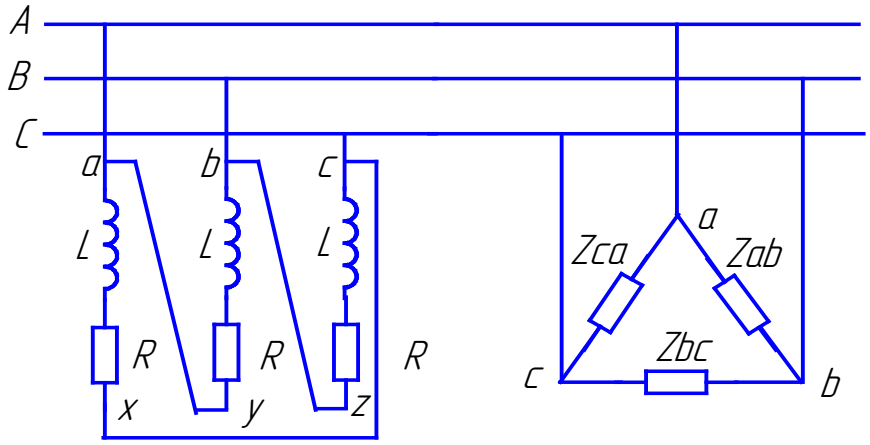
Лабораторная работа 4.2.

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ. СОЕДИНЕНИЕ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

Цель работы: изучить цепь трехфазного тока при соединении приемника треугольником в симметричном и несимметричном режимах.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.

Соединением фаз в треугольник называется такое соединение, при котором начало одной фазы соединяют с концом второй фазы, начало второй фазы соединяют с концом третьей фазы, начало третьей фазы соединяют с концом первой фазы. К общим точкам соединения начал и концов присоединяют линейные провода. Два способа графического представления соединения по схеме треугольник показаны на рис. 9.1а и 9.1б.



а б

Рис. 9.1

Рассмотрим схему соединения фаз генератора в звезду и фаз приемника электрической энергии в треугольник, Рис. 9.2.

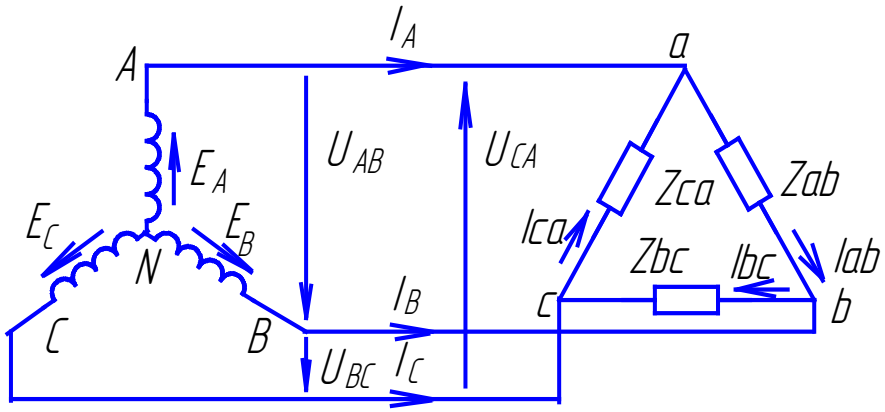


Рис. 9.2

Из схемы видно, что если сопротивления линейных проводов равны 0, то фазные напряжения приемника будут равны соответствующим линейным

напряжениям генератора, то есть $U_Ф=U_Л$. Фазное напряжение при треугольнике в 1.73 раза больше, чем фазное напряжение при звезде.

Принятым условным положительным направлениям линейных напряжений (рис.9.1) соответствуют условные положительные направления токов; токи в фазах равны:

$$\underline{I}_{ab}=\underline{U}_{ab}/\underline{Z}_{ab}\ ;\ \underline{I}_{bc}=\underline{U}_{bc}/\underline{Z}_{bc}\ ;\ \underline{I}_{ac}=\underline{U}_{ac}/\underline{Z}_{ac} \qquad (1)$$

Для узлов a, b, c (рис.1) линейные токи по первому закону Кирхгофа равны :

$$\begin{aligned} \underline{I}_A&=\underline{I}_{ab}-\underline{I}_{ca}\ ;\\ \underline{I}_B&=\underline{I}_{bc}-I_{ab}\ ;\\ \underline{I}_C&=\underline{I}_{ca}-\underline{I}_{bc}\ ; \end{aligned} \qquad (2)$$

Для симметричной нагрузки $\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{bc}=\underline{Z}_{ca}$ фазные токи $\underline{I}_{ab}=\underline{I}_{bc}=\underline{I}_{ac}$ имеют одинаковый угол φ к фазным напряжениям.

На рис.9.3 приведены векторные диаграммы напряжений и токов при симметричной нагрузке, соединении треугольником (нагрузка фаз активно – индуктивная).

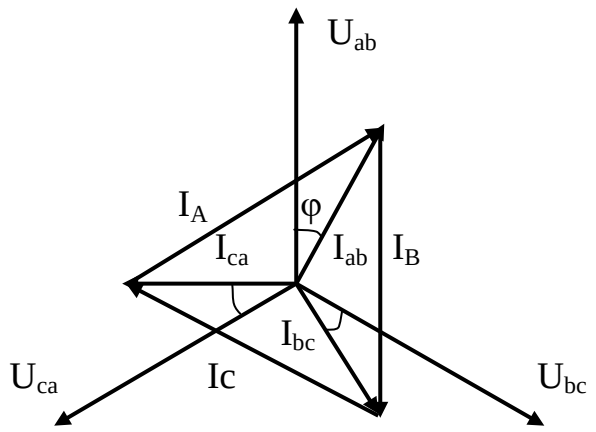


Рис.9.3

Из диаграммы следует, что при симметричной нагрузке соотношение между фазными и линейными токами равно :

$$I_Л=\sqrt{3}*I_Ф.$$

Расчет токов ведут для одной фазы:

$$I_Ф=U_Ф/Z_Ф \qquad и \qquad I_Л=\sqrt{3}*I_Ф$$

В случае несимметричной нагрузки, например увеличение нагрузки в фазе ab ($Z_{ab}<Z_{bc}=Z_{ca}$), ток в фазе ab возрастает, в двух других фазах bc и ca будет прежним, то есть $I_{ab}>I_{bc}=I_{ca}$. На рис.9.4 приведена векторная диаграмма этого случая.

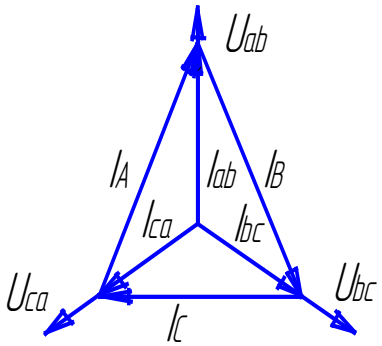


Рис. 9.4

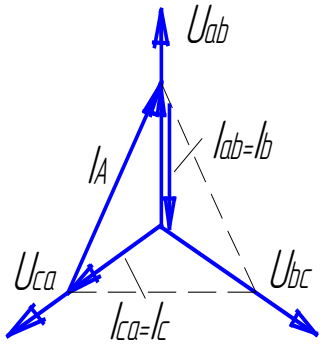


Рис. 9.5

При увеличении сопротивления фазы “bc” до бесконечности, что соответствует обрыву этой фазы, ток в ней $I_{bc}=0$ и уравнения (2) запишутся в виде:

$$\underline{I}_A=\underline{I}_{ab}-\underline{I}_{ca}\,;$$
$$\underline{I}_B=-\underline{I}_{ab}\,; \qquad (3)$$
$$\underline{I}_C=\underline{I}_{ca}\,;$$

Векторная диаграмма этого случая дана на рис.9.5

В случае обрыва одного из линейных проводов (например, провода А) цепь становится однофазной с двумя параллельными ветвями, находящимися под напряжением $\underline{U}_{bc}$.

Так как $\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{bc}=\underline{Z}_{ca}$, то $\underline{I}_{ca}=\underline{I}_{ab}=0{,}5\underline{I}_{bc}$; $\underline{I}_b=\underline{I}_{bc}+\underline{I}_{ab}$; $\underline{I}_c=-\underline{I}_b$.

Векторная диаграмма для обрыва линейного провода фазы дана на рис.9.6

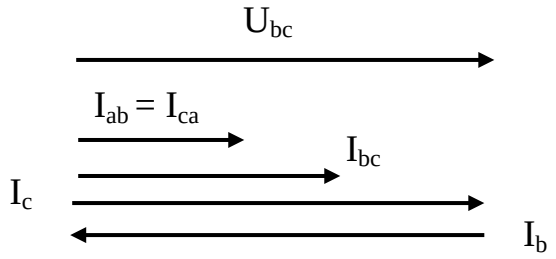


Рис.9.6

Мощности приемников для соединения треугольником.

Активная мощность каждой фазы при соединении нагрузки треугольником, например, фазы ab, равна : $P_{ab}=U_{ab}*I_{cb}*\cos\varphi_{ab}$

Активная, реактивная и полная мощности приемников трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равны :

$P=P_{ab}+P_{bc}+P_{ca}$, $\quad Q=\pm Q_{ab}\pm Q_{bc}\pm Q_{ca}$ $\quad S=\sqrt{P^2+Q^2}$

При симметричной нагрузке активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи равны :

$$P=3P_ф=3U_{ф*}I_{ф*}\cos\varphi_Ф$$
$$Q=3Q_ф=3U_{ф*}I_{ф*}\sin\varphi_Ф$$

или

$$P=\sqrt{3}U_{Л*}\mathbf{I}_{Л*}\cos\varphi_{Ф}$$
$$Q=\sqrt{3}U_{Л*}I_{Л*}\sin\varphi_{Ф}$$

Полная мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке:

$$S=3S_{Ф} \text{ или } S=\sqrt{3}*U_{Л}*I_{Л}$$

Полная мощность трехфазной цепи при несимметричной нагрузке:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.

Описание работы стенда смотрите в данном разделе предыдущей работы (№ 8)

Обрыв фазы осуществляется отсоединением приемника в точке a, b или c. Измерение напряжения производится вольтметром V.

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.

Смотрите соответствующий раздел лабораторной работы (№ 8)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Приборы и принадлежности :

Описание работы стенда дано в предыдущей лабораторной работе (№ 8).

Назначение приборов :

A1, A2, A3 – амперметры для измерения линейных токов;

A4, A5, A6 – амперметры для измерения фазных токов;

V – вольтметр для измерения фазных и линейных напряжения;

1. Ознакомьтесь с лабораторным стендом, найдите сетевой выключатель, тумблеры включения – отключения дополнительных нагрузок
2. Соберите схему соединения нагрузки в треугольник. Монтажная схема приведена на стенде. Покажите схему для проверки преподавателю или лаборанту.
3. Запишите технические данные применяемых приборов.
4. Включите стенд и установите симметричную нагрузку фаз. Тумблеры SA1, SA2, SA3, по указанию преподавателя, должны быть отключены, либо включены. Тумблер SA4 в исходном состоянии должен быть включен.

По показаниям амперметров убедитесь в равенстве токов в фазах и линейных проводах. Данные измерений токов и напряжений всех опытов запишите в табл. 9.1. В графе “Режим нагрузки” укажите режим нагрузки (симметричная или несимметричная).

5. Выполните следующие опыты при несимметричной нагрузке:
   - увеличение нагрузки в одной из фаз
   - увеличение нагрузки в двух фазах
   - обрыв фазного провода
   - обрыв линейного провода

Таблица 9.1

Режим нагрузки	Измерено									Вычислено			
	Uab, В	Ubc, В	Uca, В	Ia, В	Ib, В	Ic, В	Iab, А	Ibc, А	Ica, А	Pab, Вт	Pbc, Вт	Pca, Вт	P, Вт

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

В работе обработка результатов эксперимента проводится в соответствии с соответствующим разделом предыдущей работы. Сделайте выводы по работе по форме приведенной в лабораторной работе №10 настоящего руководства.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Каковы цели работы и порядок ее выполнения? Ответ пояснить по схеме лабораторной работы.
2. Изобразить схему опыта с включением всех приборов. Указать назначение всех приборов.
3. Написать формулу связи линейных токов и напряжений с их фазными значениями при симметричной и несимметричной нагрузках при соединении нагрузки в треугольник. Как определяются фазные мощности, мощности всей трехфазной цепи?
4. Каков порядок построения векторной диаграммы напряжений и токов для активной нагрузки?
5. Изобразить векторную диаграмму напряжений и токов при увеличении нагрузки в одной из фаз.
6. Изобразить векторную диаграмму напряжений и токов при увеличении нагрузки в двух фазах.
7. Изобразить векторную диаграмму напряжений и токов при обрыве фазного провода.
8. Во сколько раз изменяется фазные и линейные токи и напряжения при переключении симметричной нагрузки со “звезды” на “треугольник”? Ответ пояснить на примере данных, полученных при исследовании нагрузки, соединенной в “звезду” по предыдущей лабораторной работе.
9. Во сколько раз изменятся мощности при переключении схемы нагрузки со “звезды” на “треугольник”? Ответ пояснить на примере данных, полученных в предыдущей лабораторной работе при симметричной нагрузке.

10. Построить векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве линейного провода.

Литература

1. Богданов, В. В. Электротехника : учебное пособие / В. В. Богданов, О. Б. Давыденко, Н. П. Савин, А. В. Сапсалев. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 148 с. - ISBN 978-5-7782-3954-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL :

https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239548.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника / П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин. - Москва : ДМК Пресс, 2013. - 416 с. - ISBN 978-5-94074-894-6. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940748946.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
3. Клепча, В. Ф. Электротехника. Лабораторный практикум : учеб. пособие / В. Ф. Клепча- 3-е изд. , стер. - Минск : РИПО, 2019. - 179 с. - ISBN 978-985-503-867-3. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855038673.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
4. Марченко, А. Л. Электротехника : учебное пособие / А. Л. Марченко. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 236 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-017056-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1587594 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
5. Электротехника. В примерах и задачах : учебное пособие / Е. И. Алгазин, В. В. Богданов, А. В. Сапсалев [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Алгазина. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 128 с. - ISBN 978-5-7782-4287-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1869119 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
6. Гальперин, М. В. Электротехника и электроника : учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 480 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-00091-779-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2030904 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
7. Маркелов, С. Н. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. Н. Маркелов, Б. Я. Сазанов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 267 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014451-1. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/982772 (дата обращения: 18.09.2023). – Режим доступа: по подписке.

Лабораторная работа 4.3.

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ФАЗ ПРИЕМНИКА ЗВЕЗДОЙ И ТРЕУГОЛЬНИКОМ

Цель работы: изучить цепь трёхфазного тока при соединении фаз приёмника сначала по схеме «звезда», затем по схеме «треугольник» в симметричном и несимметричном режимах.

Основные понятия.

Смотри соответствующие разделы лабораторных работ № 4.1. и № 4.2.

Методика эксперимента.

Лабораторная работа проводится на стенде, описание которого приводится на странице 9 данного руководства. Для выполнения работы, в учебной группе преподаватель формирует чётное число бригад (2,4 или 6). При этом нечётные бригады выполняют сначала работу № 8, а чётные - № 9. Затем бригады обмениваются местами, и уже на собранных стендах выполняют работу соответственно: нечетные № 9, четные - № 8. Порядок постановки опытов в лабораторной работе №10 такой же, как и лабораторных работах № 8 и № 9, но по сокращенной схеме. Исследуются 3 трехфазных цепи:1.Четырехпроводная цепь при соединение фаз нагрузки звездой; 2. Трехпроводная цепь при соединении фаз нагрузки звездой. 3. Трехпроводная цепь при соединении фаз нагрузки в треугольник. Для каждой цепи выполняют 2 режима нагрузки : а) симметричная ; б)несимметричная (например увеличение нагрузки в одной из фаз). Таким образом, выполняется 6 опытов. Требования безопасности труда такие же, как в соответствующем разделе лабораторной работы № 8.

Порядок выполнения работы :

1. Ознакомьтесь с лабораторным стендом. Найдите сетевой выключатель, тумблеры включения дополнительных нагрузок (ламп накаливания) SA1….SA3, которые должны быть отключены, тумблер отключения

фазы SA4, который должен быть включен. Амперметры А1, А2, А3, предназначены для измерения линейных токов при соединении фаз приемника в треугольник. Амперметр А4- для измерения тока в нулевом проводе четырехпроходной цепи. Амперметры А5, А6, А7.- для измерения фазовых токов как при соединении фаз нагрузки по схеме «звезда», так по схеме «треугольник». Для измерения фазных и линейных напряжений на схеме имеется вольтметр на 50 вольт. Для измерения напряжения между нейтралями генератора и нагрузки на стенде имеется вольтметр на 15 вольт.

2.Соберите схему опыта. Нечетные бригады собирают схему, по которой фазы приемника соединяется по схеме «звезда» а четные по схеме «треугольник». Монтажные схемы, приведены на стендах.

3. **Нечетные бригады** выполняют работу в следующем порядке :

А. исследуется 4-х проводная цепь по схеме «звезда»

Опыт 1: симметричная нагрузка. В табл.1 лабораторной работы № 8 записываются показания амперметров и измеренные линейные и фазные напряжения.

По результатам измерения токов и напряжений делается вывод, форма которого приведена в конце данного раздела.

Опыт 2. Несимметричная нагрузка. Для этого по указанию преподавателя включается один из тумблеров SA1…..SA3 и вновь в таблицу данных записывается показания амперметров и вольтметров и в выводы записываются результаты наблюдений.

Б. Исследуется 3-х проводная цепь при соединении фаз приемника в «звезду»

Опыт 3. Симметричная нагрузка. Для этого выключить тумблер, который был включен в опыте 2 и отключить автоматический выключатель QF4, отключив тем самым нулевой провод. Записать показания приборов в таблицу, а в выводах записать результаты наблюдений.

Опыт 4. Несимметричная нагрузка. Включается тот же тумблер ,что и в опыте 2. В таблицу записываются показания всех приборов ,а в выводах записываются результаты наблюдений.

В. Далее нечетные бригады переходят к стендам, где собрана схема соединения фаз приемника в «треугольник».

Опыт 5. Симметричная нагрузка. Тумблеры SA1. . ……..SA3 отключены , тумблер SA4 включен.

Включив сетевой выключатель SA, записывают показания амперметров и вольтметра в табл. 9.1 (стр.15 настоящего руководства) и заполняют выводы.

Опыт 6. Несимметричная нагрузка. Тоже ,что и в опыте 2.

После этого записывается технические характеристики всех применяемых приборов.

Четные бригады проводят опыты в следующем порядке: Опыт 5; Опыт 6; Опыт 1; Опыт 2; Опыт 3; Опыт 4.

В соответствии с полученными данными провести расчеты и результаты расчетов записать в таблицу в графы «вычислено».

Для всех опытов построить векторные диаграммы напряжений и токов в масштабе на миллиметровой бумаге или бумаге в клетку.

Выводы по работе.

1. Соединение фаз приемника в «звезду».

А. 3-х фазная, 4-х проводная цепь (с нулевым проводом).

Опыт 1. При симметричной нагрузке 3-х фазной, 4-х проводной цепи, при соединении фаз приёмника в «звезду» нами установлено:

напряжения на фазах приёмника _____между собой, лампы горят с_____яркостью
(равны или не равны) (одинаковой или разной)

линейные напряжения _____ фазных в _____ раз,
(больше, меньше) (число)

что отличается от теорететич. на_____%

Опыт 2. При несимметричной нагрузке в 3-х фазной, 4-х проводной цепи, при соединении фаз в «звезду» из опыта получили:

- напряжения на фазах приёмника _____
(изменились или нет, равны или не равны между собой)
- лампы горят _____ яркостью
(с одинаковой или разной яркостью)
- линейные напряжения _____ фазных в _____ раз
(больше, меньше) (число)

Таким образом, наличие 4-го провода обеспечивает _____фазных напряжений и позволяет включать в такую сеть _____
(а) симметричную, б) несимметричную, в) и симметр. и несимметр. нагрузку)

Б. 3-х фазная, 3-х проводная цепь. Соединение фаз приёмника в «звезду».

Опыт 3. Симметричная нагрузка.

фазные напряжения на нагрузке _____лампы горят с_____яркостью
(изменились или нет) (одинаковой или разной)

- нулевой провод при симметричной нагрузке_____
(обязателен или необязателен)

Опыт 4. Несимметричная нагрузка.

При несимметричной нагрузке в 3-х фазной, 3-х проводной цепи, при соединении фаз в «звезду».

- фазные напряжения на нагрузке _____яркость ламп_____
(одинаковые или различные) (одинаковая или различная)
- несимметричную нагрузку в 3-х фазную, 3-х проводную цепь включать _____
(можно, нельзя)

2. Соединение фаз приемника в треугольник.

Опыт 5.Симметричная нагрузка.

При соединении фаз приемника по схеме «треугольник» из опыта установлено:

Фазные напряжения_____по сравнению с таким же режимом по схеме «звезда»
(увеличились, уменьшились)

лампы горят _____яркостью и _____ по сравнению со схемой «звезда»
(с одинаковой или разной) (ярче или слабее)

Линейные токи_____фазных в _____раз, что отличается от теоретического на ____%
(больше или меньше)

Опыт 6. Несимметричная нагрузка.

Напряжения на фазах нагрузки _____
(уменьшились, увеличились, не изменились)

Лампы горят_с_____яркостью
(одинаковой, разной)

Таким образом, по схеме «треугольник» можно включать _____нагрузку.
(а) симметричную, б) несимметричную, в) и симметричную и несимметричную)

Обработка результатов эксперимента см. соответствующий раздел лаб.раб.№ 4.1.

Вопросы для самопроверки см. соответствующие разделы лаб. раб.№ 4.1. и № 4.2.

Литература:

Та же что и в лабораторной работе № 4.1.

Методические указания составил _____/А.С. Мостовой/