

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ

Цель работы: исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой с симметричной и несимметричной нагрузками при наличии нейтрального провода и без него.

Краткие сведения из теории

Трёхфазная система используется для электроснабжения благодаря следующим своим преимуществам:

- малые потери напряжения в линии электропередачи;
- малые потери электроэнергии в проводах линии;
- увеличенная пропускная способность линии электропередачи по сравнению с однофазной;
- возможность подключения однофазных потребителей с двумя значениями номинального напряжения питания;
- возможность подключения трёхфазных потребителей звездой Y либо треугольником Δ ;
- выпрямление переменного тока с малыми пульсациями.

Трёхфазная система питающих напряжений представляет собой три источника одинаковой частоты (рисунок 1) с одинаковым значением электродвижущих сил, сдвинутых по фазе на треть периода или 120° (электрических):

$$e_A = E_m \sin \omega t;$$

$$e_B = E_m \sin (\omega t - 120^\circ);$$

$$e_C = E_m \sin (\omega t + 120^\circ).$$

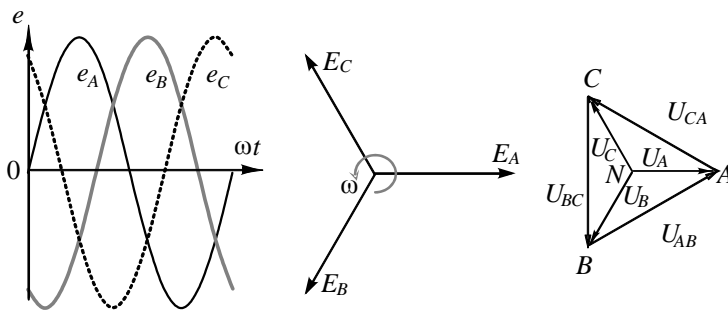


Рисунок 1 – Система из трех ЭДС и создаваемые ими напряжения

Один из выводов каждого из источников подключён к линейному проводу (рисунок 2) соответствующей фазы $A(L1)$, $B(L2)$ и $C(L3)$, вторые выводы всех трёх источников объединены в нейтраль, соединённую с нейтральным проводом N или нулевым PEN .

Напряжения линейных проводов относительно нейтрали U_A , U_B и U_C называются фазными, а напряжения между линейными проводами питающей линии U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} называются линейными. Линейные напряжения больше фазных, $U = \sqrt{3}U_{\Phi}$. В обычной распределительной сети линейное напряжение $U = 380$ В, а фазное $U_{\Phi} = 220$ В. При обозначении применяется запись $380/220$ В. Иногда, с целью уменьшения опасности поражения электрическим током, применяют трёхфазную сеть пониженного напряжения $220/127$ В (линейное напряжение равно 220 В, а фазное – 127 В).

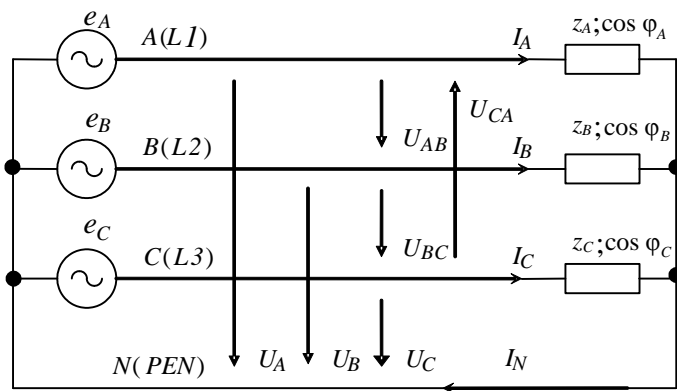


Рисунок 2 – Трёхфазная цепь с подключением нагрузки звездой

В схеме подключения нагрузки звездой один из выводов каждой фазы потребителя подключается к фазному проводу питающей линии, а вторые выводы соединяются вместе в нейтраль. В трёхпроводной схеме нейтраль потребителя изолирована, такая схема применяется только при симметричной нагрузке, когда в каждую фазу включены одинаковые потребители. В четырёхпроводной схеме нейтраль потребителя подключается к нулевому проводу *PEN* (*protect electric and neutral*). Этот провод одновременно служит для защитного зануления (защитный) и для выравнивания напряжений на фазах при несимметричной нагрузке (рабочий). В последнее время происходит переход на пятипроводную распределительную сеть, в которой применяют отдельные нулевой рабочий проводник (нейтральный) *N* и нулевой защитный проводник *PE*.

Ток нейтрального провода является суммой фазных токов. На векторной диаграмме (рисунок 3, а) видно, что при симметричной нагрузке сумма фазных токов равняется нулю.

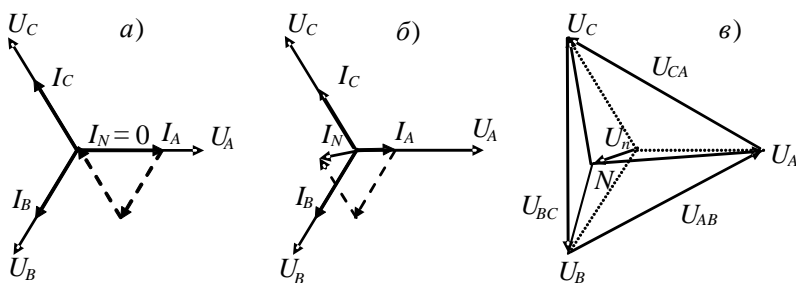


Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов при симметричной (а) и несимметричной нагрузке (б); перекосе фаз (в)

Таким образом, при симметричной нагрузке отсутствуют потери в нейтральном проводе и из формул потерь напряжения и мощности, выведенных для однофазной линии переменного тока, исчезает двойка

$$\Delta u_{\%} = l \frac{r_0 P + x_0 Q}{U^2} \cdot 100 \% ; \Delta p_{\%} \approx l \frac{r_0 P}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100 \% .$$

Кроме того, в формулах используется линейное напряжение, которое больше фазного, $U = \sqrt{3}U_{\phi}$. Поэтому потери напряжения и мощности в линии при трёхфазном подключении в шесть раз меньше, чем при однофазном подключении потребителей такой же мощности.

При несимметричной нагрузке нейтральный провод необходим, по нему должен проходить выравнивающий ток. На векторной диаграмме (рисунок 3, б) видно, что при несимметрии фазных токов появляется ток в нейтральном проводе. Если попытаться включить несимметричную нагрузку без нейтрального провода, получится перекося фаз, при котором на нагруженных фазах напряжение понизится, а на разгруженных появляется перенапряжение (рисунок 3, в). Снижение напряжения нарушает работу потребителей, а перенапряжение может вывести их из строя. Одновременно появляется напряжение смещения нейтрали потребителя относительно нейтрали источника U_{nN} . Поэтому в нейтральном проводе не устанавливают предохранители. С подключением нейтрального провода в нём появляется выравнивающий ток, нейтраль потребителя «притягивается» к нейтрали источника, а фазные напряжения выравниваются. Однако преимущества трёхфазной системы частично утеряны. Потери энергии в нейтральном проводе снижают коэффициент полезного действия линии. Из-за потери напряжения в нейтральном проводе, а также из-за разности потерь напряжения в фазных проводах возникает несимметрия трёхфазной системы напряжений, которая ухудшает качество электроснабжения. Поэтому с целью получения симметричной нагрузки однофазные потребители стараются равномерно распределять по фазам.

Мощность трёхфазного потребителя равна сумме мощностей отдельных фаз. При симметричной нагрузке

$$S = 3U_{\phi}I = \sqrt{3}UI ; P = \sqrt{3}UI \cos \varphi ; Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi .$$

Ток в проводах линии электропередачи при подключении симметричного трёхфазного потребителя

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cos \varphi} .$$

Порядок выполнения работы

1 Собрать схему исследования трёхфазной цепи по рисунку 4. Для исследования режима симметричной нагрузки включаются резисторы $R37$, $R39$ и $R40$. При этом резистор $R38$, конденсатор $C11$ и цепочка из катушки индуктивности $L2$ и резистора $R18$ должны быть закорочены перемычками (места установки перемычек выделены на схеме).

2 Тумблером $SA14$ и $SA15$ подключить функциональный блок для исследования трёхфазной цепи и измерить значения фазных напряжений, тока фазы C и мощности.

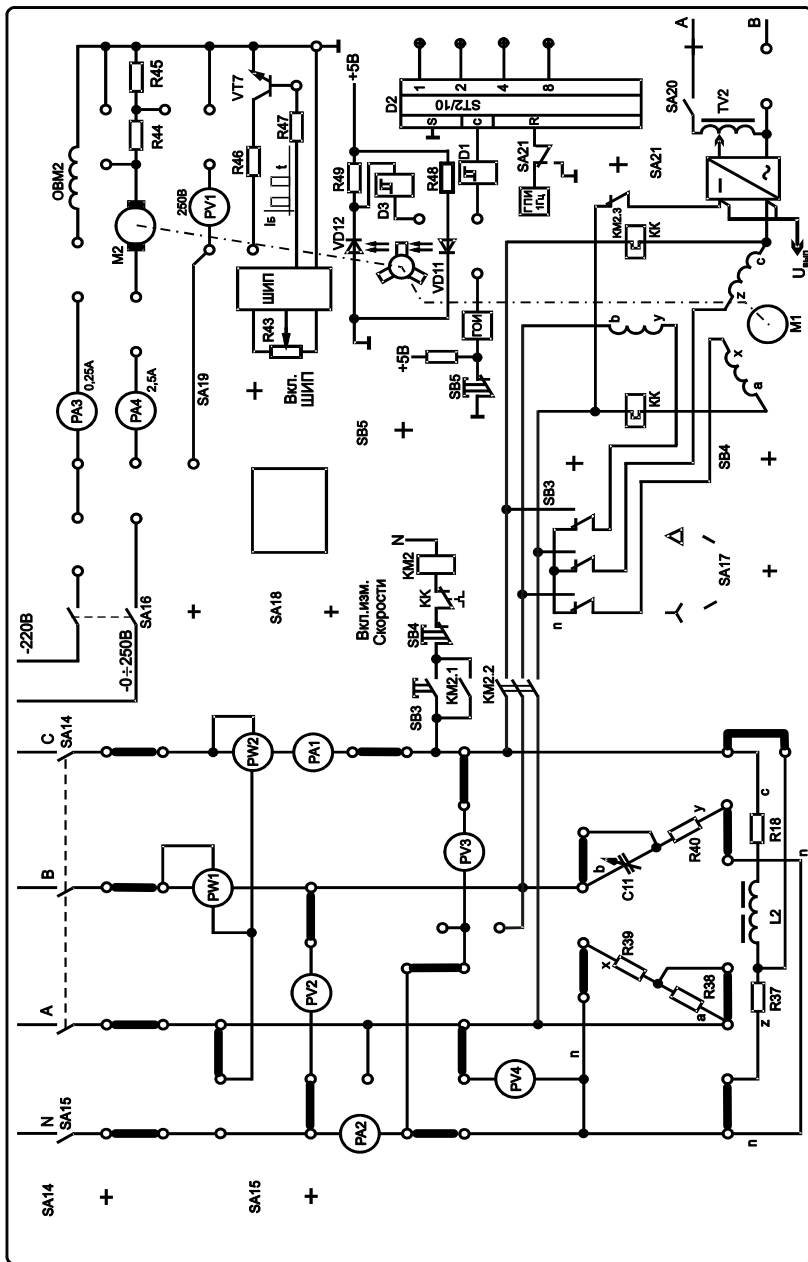


Рисунок 4 – Схема исследования трёхфазной цепи при подключении нагрузки звездой

Убедиться в том, что ток нейтрального провода равен нулю. Результаты измерений внести в таблицу 1.

Таблица 1 – Исследование трёхфазной цепи при симметричной нагрузке

Измерено							Рассчитано		
$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{CA}, В$	$I_C, А$	$I_N, А$	$P, Вт$	U/U_Φ	$R, Ом$	$I, А$

3 Отключая и подключая нейтральный провод тумблером SA15, убедиться, что эти коммутации не отражаются на показаниях приборов.

4 Отключить перемычку вольтметра PV4 от провода A и на это гнездо переключить левую перемычку вольтметра PV3.

Измерить линейное напряжение U_{CA} . Вернуть перемычки на прежнее место. Рассчитать отношение линейного напряжения к фазному U/U_Φ .

5 Рассчитать сопротивление фазы нагрузки R по закону Ома и ток I в проводах линии.

6 Построить диаграмму напряжений и токов при симметричной нагрузке.

7 Установить режим несимметричной нагрузки, для чего удалить перемычку с резистора R38.

8 Отключить перемычки фаз B и C, расположенные под контактами тумблера SA14. Амперметром PA2, вольтметром PV4 измерить, соответственно, ток и напряжение фазы A. Аналогично измерить напряжение и ток фаз B и C. Результаты измерений внести в таблицу 2.

Таблица 2 – Несимметричная нагрузка трёхфазной цепи с нейтральным проводом

Измерено						
$U_A, В$	$I_A, А$	$U_B, В$	$I_B, А$	$U_C, В$	$I_C, А$	$I_N, А$

9 Восстановить перемычки в фазах и измерить амперметром PA2 ток нейтрального провода.

10 Построить векторную диаграмму токов при несимметричной нагрузке.

11 Отключить нейтральный провод тумблером SA15. Измерить фазные напряжения. Результаты измерений внести в таблицу 3.

Таблица 3 – Несимметричная нагрузка трёхфазной цепи без нейтрального провода

Измерено			
$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{nN}, В$

12 Подключить нейтральный провод тумблером SA15 и отключить его перемычкой, расположенной ниже амперметра PA2. Отключить вольтметр

$PV3$ от провода C и подключить его к нейтрали n . Измерить вольтметром $PV3$ напряжение смещения нейтрали U_{nN} .

13 Построить диаграмму напряжений трёхфазной цепи при несимметричной нагрузке без нейтрального провода (при перекосе фаз).

Содержание отчета

Наименование и цель работы; схема исследования; таблицы результатов измерений и расчётов; расчёт сопротивления фазы нагрузки; векторные диаграммы токов и напряжений; заключение.

Контрольные вопросы

- 1 В чём заключаются преимущества трёхфазной системы электроснабжения?
- 2 Что такое линейные и фазные напряжения? Какое соотношение между ними?
- 3 В чём разница между трёх-, четырёх- и пятипроводной схемами подключения?
- 4 Как выглядит векторная диаграмма токов при симметричной нагрузке?
- 5 Чему равны потери напряжения в трёхфазной линии?
- 6 Чему равны потери мощности в трёхфазной линии?
- 7 Во сколько раз потери напряжения и мощности при трёхфазном подключении меньше, чем при однофазном (при той же мощности потребителей)? Почему?
- 8 Почему необходим нейтральный провод при несимметричной нагрузке?
- 9 Как выглядит векторная диаграмма токов при несимметричной нагрузке с нейтральным проводом?
- 10 Как выглядит диаграмма напряжений при несимметричной нагрузке без нейтрального провода?
- 11 Как рассчитать мощность симметричного трёхфазного потребителя?