

УДК 621.332

РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Рачкевич В.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Для анализа и расчетов несимметричных режимов в трехфазных цепях широко применяется метод симметричных составляющих. Он основан на представлении любой трехфазной несимметричной системы величин в виде суммы в общем случае трех симметричных систем величин. Эти симметричные системы, называются симметричными составляющими.

Рассмотрим метод расчета на примере схемы рисунок 1, содержащей симметричную динамическую и несимметричную статическую нагрузки. Пусть заданы э.д.с. генераторов и сопротивления элементов схемы. Требуется найти токи и напряжения несимметричной нагрузки.

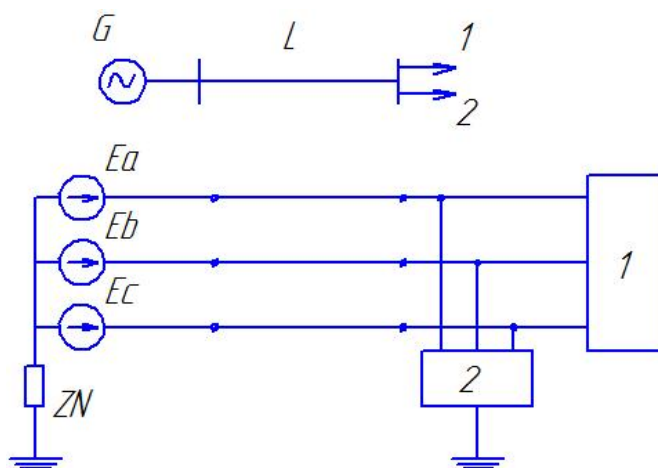


Рисунок 1. Исходная схема

- 1 – симметричная динамическая нагрузка;
- 2 – несимметричная статическая нагрузка;
- G – генератор;
- L – линия.

Таблица 1. Исходные данные

Параметр	Значение
Оператор фазы	$a = e^{j120^\circ}$
ЭДС генератора	$E_a = 10 \text{ кВ};$ $E_b = E_a \cdot a^2 = 10e^{-j120^\circ} \text{ кВ};$ $E_c = E_a \cdot a = 10e^{j120^\circ} \text{ кВ};$
Сопротивление прямой последовательности генератора:	$Z_{g1} = 0.2 + j0.4 \text{ Ом};$
Сопротивление обратной последовательности генератора	$Z_{g2} = 0.2 + j0.4 \text{ Ом};$

Таблица 1. Продолжение

Сопротивление нулевой последовательности генератора	$Z_{g0} = 0.03 + j0 \text{ Ом};$
Сопротивление линии:	$Z_{л} = 1.15 + 0.32j \text{ О};$
Сопротивление прямой последовательности линии:	$Z_{л1} = Z_{л} = 11.5 + 3.2j \text{ О};$
Сопротивление обратной последовательности линии	$Z_{л2} = Z_{л} = 1.15 + 0.32j \text{ О};$
Сопротивление нулевой последовательности линии	$Z_{л0} = 3Z_{л} = 3 \cdot (1.15 + 0.32j) = 3.45 + 0.96j \text{ С};$
Сопротивление нейтрали:	$Z_N = 2 \text{ О};$
Сопротивление симметричной нагрузки:	$Z_{s1} = Z_{s2} = 70 + 100j \text{ С};$
Сопротивление несимметричной нагрузки по фазам:	$Z_a = 120 \text{ О};$ Фазы В и С не нагружены.

Заменяем несимметричную нагрузку тремя источниками неизвестных напряжений U_a, U_b, U_c .

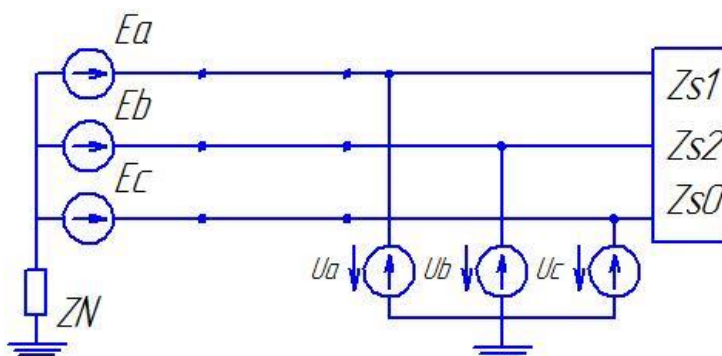


Рисунок 2. Замена несимметричной нагрузки источниками неизвестных напряжений

Разложим напряжения U_a, U_b, U_c на симметричные составляющие U_1, U_2, U_3 , приняв фазу А за основную.

$$\begin{aligned}
 U_a &= U_1 + U_2 + U_3; \\
 U_b &= a^2 \cdot U_1 + a \cdot U_2 + U_0; \\
 U_c &= a \cdot U_1 + a^2 \cdot U_2 + U_0.
 \end{aligned}$$

В симметричной цепи симметричная система напряжений какой-либо последовательности вызывает симметричную систему токов той же самой последовательности. Следовательно, можно составить три независимые схемы.

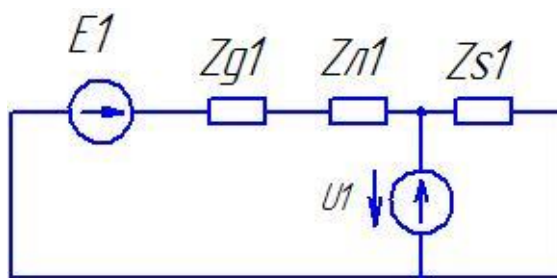


Рисунок 3. Схема прямой последовательности

Преобразуем схему к простейшему виду:

$$Y_1 = \frac{1}{Z_{\pi 1} + Z_{g1}} = 0.078 - 0.024j \text{ См};$$

$$Y_{s1} = \frac{1}{Z_{s1}} = 4.698 \cdot 10^{-3} - 6.711i \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$E_{\Sigma 1} = \frac{Y_1 \cdot E_{s1}}{Y_1 + Y_{s1}} = 9.237 + 0.527j \text{ кВ};$$

$$Z_{\Sigma 1} = \frac{Z_{s1} \cdot (Z_{\pi 1} + Z_{g1})}{Z_{\pi 1} + Z_{g1} + Z_{s1}} = 10.617 + 3.942j \text{ Ом}.$$

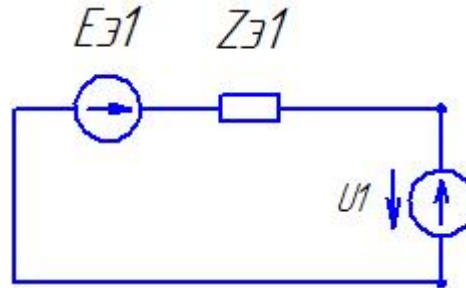


Рисунок 4. Схема прямой последовательности после преобразований

ЭДС генераторов симметричны, т.е. являются источниками только прямой последовательности, а значит, в схеме обратной последовательности существовать не будут.

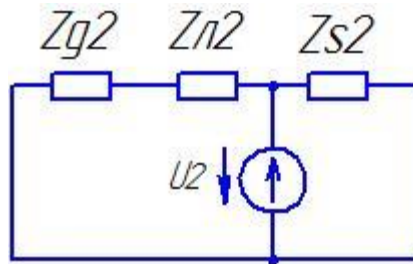


Рисунок 5. Схема обратной последовательности

Найдем эквивалентное сопротивление:

$$Z_{\Sigma 2} = \frac{Z_{s2} \cdot (Z_{\pi 2} + Z_{g2})}{Z_{\pi 2} + Z_{g2} + Z_{s2}} = 11.169 + 4.278j \text{ Ом};$$

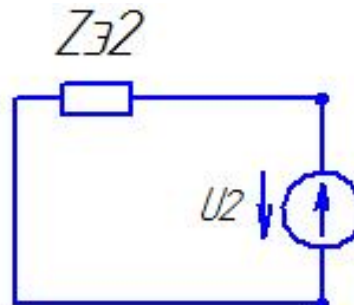


Рисунок 5. Схема обратной последовательности после преобразования

Нулевая последовательность. Схема нулевой последовательности не имеет разветвления, так как в правой части трехфазной цепи токов нулевой последовательности быть не может. Сопротивление в нейтральном проводе вводится в схему нулевой

последовательности утроенной величиной. Токи нулевой последовательности являются однофазным током, разветвленным между фазами и возвращающимся через землю и параллельные ей цепи.

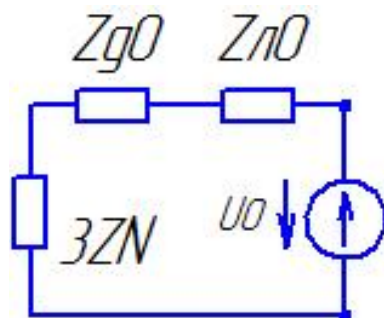


Рисунок 6. Схема нулевой последовательности

$$Z_{\varepsilon 0} = Z_{\text{л}0} + Z_{\text{г}0} + 3 \cdot Z_N = 40.53 + 9.7j \text{ Ом.}$$

Для каждой из трех схем напишем уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\begin{aligned} Z_{\varepsilon 1} \cdot I_1 + U_1 &= E_{\varepsilon 1}; \\ Z_{\varepsilon 2} \cdot I_2 + U_2 &= 0; \\ Z_{\varepsilon 0} \cdot I_0 + U_0 &= 0. \end{aligned}$$

В этих уравнениях 6 неизвестных. Дополнительные три уравнения, связывающие эти шесть неизвестных величин, могут быть составлены на основании схемы и параметров несимметричной нагрузки.

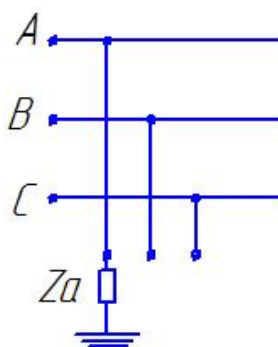


Рисунок 6. Схема подключения несимметричной нагрузки

Составим дополнительные уравнения:

$$\begin{aligned} U_1 + U_2 + U_0 &= Z_a \cdot (I_1 + I_2 + I_0); \\ a^2 \cdot I_1 + a \cdot I_2 + I_0 &= 0; \\ a \cdot I_1 + a^2 \cdot I_2 + I_0 &= 0. \end{aligned}$$

При совместном решении уравнений Кирхгофа для схем различных последовательностей с дополнительными уравнениями определяются симметричные составляющие тока и напряжения ответвлений несимметричного приемника.

$$\begin{aligned} I_1 &= 21.9e^{j0.84} \text{ А}; \\ I_2 &= 21.9e^{j0.84} \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_0 &= 21.9e^{j0.84} \text{ A}; \\
 U_1 &= 9e^{j2.8} \text{ кВ}; \\
 U_2 &= 0.262e^{-j158.2} \text{ кВ}; \\
 U_0 &= 0.912e^{-j165.7} \text{ кВ}.
 \end{aligned}$$

Вычислим суммарные напряжения и токи несимметричного приемника:

$$\begin{aligned}
 U_a &= U_1 + U_2 + U_3 = 7.88e^{j0.8} \text{ кВ}; \\
 U_b &= a^2 \cdot U_1 + a \cdot U_2 + U_0 = 9.68e^{-j119.8} \text{ кВ}; \\
 U_c &= a \cdot U_1 + a^2 \cdot U_2 + U_0 = 9.53e^{j126.9} \text{ кВ}; \\
 I_a &= I_1 + I_2 + I_3 = 65.662e^{j0.8} \text{ A}.
 \end{aligned}$$

Токи I_b и I_c равны нулю.

Литература

1. Основы теории цепей/ Г.В. Зевеке [и др.] 4-е изд., перераб. — М.: Энергия, 1975. — 752 с.: ил.
2. Силюк С.М. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах / С.М. Силюк, Л.Н. Свита. — Минск: БНТУ, 2004.-103с