

УДК 621.3.052.3

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ В НЕСИММЕТРИЧНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

М. Г. Гончаров, Д. И. Зализный

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Рассмотрен алгоритм расчета суммарных потерь мощности и потерь напряжения для каждой фазы низковольтной трехфазной электрической сети на примере простейшей схемы. Полученный алгоритм может быть использован для разработки программного обеспечения по расчету несимметричных трехфазных электрических сетей.

Ключевые слова: трехфазный потребитель, электрическая сеть, напряжение, проводимость, потери, нагрузка.

CALCULATION OF VOLTAGE AND POWER LOSSES IN ASYMMETRIC THREE-PHASE CIRCUITS

M. G. Goncharov, D. I. Zalizny

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

An algorithm for calculating the total power losses and voltage losses for each phase of a low-voltage three-phase power grid is considered using the example of a simple circuit. The resulting algorithm can be used to develop software for the calculation of asymmetric three-phase electrical networks.

Keywords: three-phase consumer, power grid, voltage, conductivity, losses, load.

В процессе проектирования и эксплуатации систем электроснабжения зачастую возникают задачи уточненного расчета значений напряжений питания потребителей с целью проверки пропускной способности линий электропередачи. Для таких расчетов существуют известные компьютерные программы RastrWin, Mustang и другие. Однако подавляющее большинство этих программ ориентировано на симметричные трехфазные цепи, то есть расчеты выполняются фактически как для однофазных цепей. Вместе с тем, в ряде случаев требуется учитывать несимметрию нагрузок потребителей. Это актуально для низковольтных систем электроснабжения в общественных и административных зданиях, а также для бытовых потребителей.

Цель данного исследования – создать алгоритм расчета для вычисления потерь напряжения и суммарных потерь мощности в простейшей трехфазной цепи.

В теории электрических сетей потерями напряжения принято называть алгебраическую разность между действующими значениями напряжений в требуемых узлах схемы [1]. Соответственно, для несимметричной трехфазной сети потери напряжения необходимо рассчитывать для каждой фазы между шинами низкого напряжения на трансформаторе и шинами потребителей.

Суммарные потери мощности в низковольтной сети определяются как разность между мощностью, передаваемой через трансформатор, и мощностью нагрузки на шинах потребителя. Если рассчитывать потери со стороны приходящего на трансформатор высокого напряжения, то необходимо прибавить еще и общие потери в трансформаторе.

Исследуемая схема представляет собой некоторую низковольтную трехфазную сеть от шин понижающей трансформаторной подстанции до шин потребителя с не-

симметричной нагрузкой. На рис. 1 представлена соответствующая схема замещения исследуемой сети.

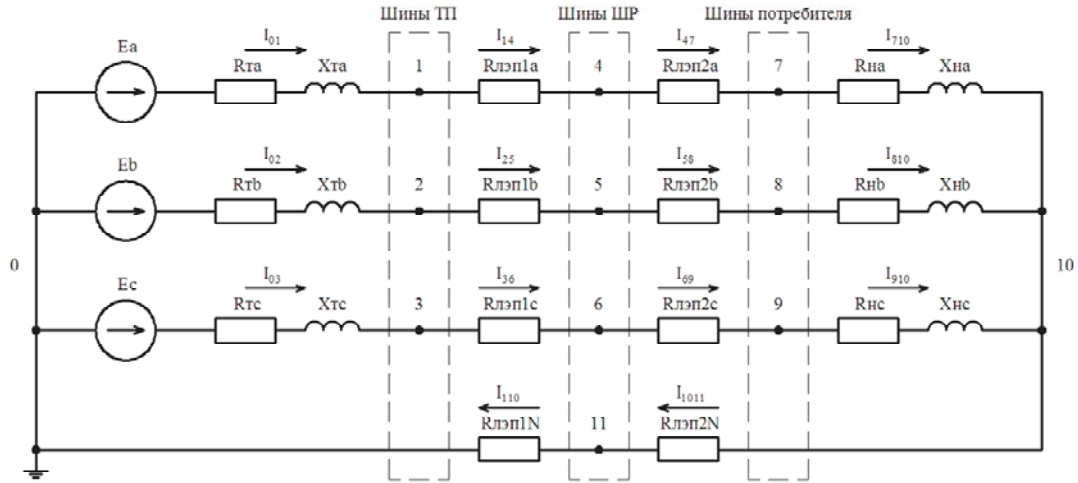


Рис. 1. Схема замещения цепи «Трансформаторная подстанция – потребитель»

Рассмотрим порядок расчета потерь напряжения:

1. Методом узловых потенциалов [2] рассчитываем комплексные значения потенциалов $\dot{\phi}_i$ во всех узлах схемы.

2. Находим потери напряжения в каждой фазе как разность модулей потенциалов на шинах ТП и потребителя:

$$\Delta U_A = |\dot{\phi}_1| - |\dot{\phi}_7|; \Delta U_B = |\dot{\phi}_2| - |\dot{\phi}_8|; \Delta U_C = |\dot{\phi}_3| - |\dot{\phi}_9|. \quad (1)$$

3. Приводим полученные значения в относительную форму:

$$\delta U_A = \frac{\Delta U_A}{U_{\text{ном}}} 100; \delta U_B = \frac{\Delta U_B}{U_{\text{ном}}} 100; \delta U_C = \frac{\Delta U_C}{U_{\text{ном}}} 100, \quad (2)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное значение фазного напряжения потребителя, равное, как правило, 220 В.

Для потребителей частного жилого фонда полученные значения не должны превышать предел в 8 %, указанный в нормативном документе [3].

Рассмотрим порядок расчета суммарных потерь мощности в электрической сети.

1. Определяем полную мощность нагрузки на шинах потребителя как сумму произведений фазного напряжения на потребителе на комплексно сопряженное значение тока в ветви цепи [2]:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{\text{нагрузки}} = & (\dot{\phi}_7 - \dot{\phi}_{10}) \left(\frac{\dot{\phi}_7 - \dot{\phi}_{10}}{R_{\text{HA}} + jX_{\text{HA}}} \right)^* + (\dot{\phi}_8 - \dot{\phi}_{10}) \left(\frac{\dot{\phi}_8 - \dot{\phi}_{10}}{R_{\text{HB}} + jX_{\text{HB}}} \right)^* + \\ & + (\dot{\phi}_9 - \dot{\phi}_{10}) \left(\frac{\dot{\phi}_9 - \dot{\phi}_{10}}{R_{\text{HC}} + jX_{\text{HC}}} \right)^*. \end{aligned} \quad (3)$$

2. Аналогично определяем полную мощность, отдаваемую от шин трансформатора:

$$\dot{S}_{\text{ТП}} = (\dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_4) \left(\frac{\dot{\Phi}_1 - \dot{\Phi}_4}{R_{\text{ЛЭП1А}}} \right)^* + (\dot{\Phi}_2 - \dot{\Phi}_5) \left(\frac{\dot{\Phi}_2 - \dot{\Phi}_5}{R_{\text{ЛЭП2В}}} \right)^* + (\dot{\Phi}_3 - \dot{\Phi}_6) \left(\frac{\dot{\Phi}_3 - \dot{\Phi}_6}{R_{\text{ЛЭП1С}}} \right)^*. \quad (4)$$

3. Рассчитываем потери активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{хх}} + \left(\frac{|\dot{S}_{\text{ТП}}|}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \Delta P_{\text{к.ном}}, \quad (5)$$

где $\Delta P_{\text{хх}}$ – потери холостого хода трансформатора; $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора; $\Delta P_{\text{к.ном}}$ – потери короткого замыкания трансформатора.

4. Находим потери активной мощности сети:

$$\Delta P_{\text{сети}} = \Delta P_T + \text{Re}(\dot{S}_{\text{ТП}}) - \text{Re}(\dot{S}_{\text{нагрузки}}). \quad (6)$$

5. Приводим полученное значение в относительную форму:

$$\delta P_{\text{сети}} = \frac{\Delta P_{\text{сети}}}{\Delta P_T + \text{Re}(\dot{S}_{\text{ТП}})} 100. \quad (7)$$

Корректный расчет $\delta P_{\text{сети}}$ имеет важное значение, так как этот параметр является одним из основных коммерческих показателей распределения электроэнергии.

Рассмотренные алгоритмы могут быть использованы при разработке программного обеспечения по расчету несимметричных режимов трехфазных электрических сетей. Алгоритмы являются универсальными и позволяют выполнять расчеты для схем с большим количеством потребителей.

Л и т е р а т у р а

1. Сибикин, Ю. Д. Электрические сети объектов электроснабжения : учебное пособие : [16+] / Ю. Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2021. – 280 с. : ил., табл. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=619094>.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : Высш. шк., 1996. – 638 с.
3. Электрические сети 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения. Порядок расчета электрических нагрузок : СТП 33240.20.178-20. – Минск : Белэнерго, 2021. – 96 с.

УДК 621.315.1

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПАКТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СЕТОЧНОГО ТИПА

Г. И. Селиверстов, Т. Н. Савкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Выполнены исследования электрических и режимных параметров компактных воздушных линий сеточного типа. Дана сопоставительная оценка их параметров с параметрами традиционных воздушных линий.