

**ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ МОЩНОСТЕЙ  
В СЛОЖНОЗАМКНУТЫХ ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ 10 кВ  
ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**В.Т. СИДОРОВА, В.В. КАРЧИН**

Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола

*В распределительных сетях наибольшее распространение получила петлевая схема сети – замкнутая сеть, разомкнутая в одном из ее узлов. При этом точка размыкания должна выбираться по критерию минимизации потерь активной мощности, электроэнергии и обеспечивать надежность электроснабжения. Определение рациональной точки размыкания воздушной сети, соответствующей минимуму потерь активной мощности, является довольно трудоемкой задачей. Поэтому на практике эта точка берется произвольно, что ведет к значительным потерям активной мощности и напряжения. В настоящее время не существует методики определения точки разрыва для сложнозамкнутых воздушных сетей 10 кВ, учитывающей потери мощности в линии и реальные значения напряжения, что приводит к неверному определению точки разрыва. В данной работе разработана методика определения оптимальной точки размыкания сложнозамкнутых сетей 10 кВ, обеспечивающая минимальные потери активной мощности. Справедливость предлагаемой методики проверена на примере нескольких типичных сетей 10 кВ.*

*Ключевые слова: потокораспределение мощностей, сложнозамкнутые сети 10 кВ, точка размыкания, потери активной мощности.*

### **Введение**

В электрических сетях сетевых компаний источники питания, как правило, значительно удалены от понижающих подстанций 10/0,4 кВ. Энергия, вырабатываемая генераторами на электростанциях, проходя через повышающие трансформаторы, передается на высоком напряжении по линиям 110–750 кВ на понижающие подстанции. Передача электроэнергии по линии связана с процессами, определяющими режимы работы всей сети. Параметры режимов зависят от параметров элементов сети.

Развитие электрических сетей с целью повышения надежности привело к созданию сетей, имеющих замкнутые схемы. Под замкнутыми схемами понимают такие схемы, в которых потребители получают питание не менее чем с двух сторон.

При проектировании сети на основании расчета режимов выбираются параметры сети, оборудование, материалы и т.д. В процессе эксплуатации меняется конфигурация сети, добавляются новые марки проводов, меняется количество и мощность подстанций, меняется характер нагрузки. Таким образом, в реальных схемах при изменении точки потокораздела получится другое распределение мощности и величины напряжений на понижающих подстанциях 10/0,4 кВ. В новых условиях необходимо проводить тщательный анализ режимов работы замкнутых сетей, с возможностями изменения параметров режима с целью снижения потерь [1].

Практически все замкнутые сети неоднородны из-за неодинаковости отношения реактивных сопротивлений к активным  $X_i/R_i$  на каждом участке сети [2]. Как

показывают расчеты определения экономических мощностей, соответствующих минимуму потерь активной мощности, в неоднородной сети естественное распределение мощностей не совпадает с экономическим. Вследствие этого в контуре неоднородной сети протекает уравнивающая мощность, которая приводит к перераспределению потоков мощности по ветвям и увеличению потерь мощности [3].

Для достижения минимальных потерь мощности в линии с двусторонним питанием необходимо принудительно добиться экономического потокораспределения. Способ размыкания неоднородных контуров сети широко применяется как в распределительных сетях до напряжения 110 кВ, так и в местах более высокого напряжения [4]. Определение рациональной точки размыкания воздушной кольцевой сети, соответствующей минимуму потерь активной мощности, является довольно трудоемкой задачей. Поэтому на практике эта точка берется произвольно, что ведет к значительным потерям активной мощности. Выбор точки размыкания должен осуществляться по критерию минимизации потерь активной мощности и электроэнергии [5, 6]. Поскольку в настоящее время большинство сельских сетей работает в режиме минимальных нагрузок, необходимо периодически анализировать потоки мощности в них для выявления оптимальных точек раздела сети.

#### **Методика определения точек экономического потокораздела**

В данной работе было исследовано несколько реальных линий 10 кВ. Для каждой исследуемой сети определены потоки активной и реактивной мощностей. Далее определена точка естественного потокораздела мощности, исходя из условия [2]

$$\sum_{ij=1}^n S_{ij} R_{ij} = 0, \quad (1)$$

где  $S_{ij}$  – поток мощности рассматриваемого участка, кВА;  $R_{ij}$  – активное сопротивление рассматриваемого участка, Ом.

Потоки мощности по участкам проводились без учета потерь мощности в линии и с учетом. Потоки мощности по участкам без учета потерь мощности проводились согласно выражению

$$S_{ij} = S_{i-1, j-1} - S_i, \quad (2)$$

где  $S_i$  – мощность нагрузки в соответствующем узле, кВА. При получении отрицательного значения делалось предположение о разрыве линии в данной точке.

Расчет уровня потерь мощности был произведен согласно принятой методике [6]:

$$\Delta P = \sum_{i,j=1}^n \frac{S_{i,j}^2}{U_i^2} R_{i,j}. \quad (3)$$

Определение потоков мощности по участкам, с учетом потерь мощности в линии и на ответвлениях, осуществлялось согласно выражению

$$S_{ij} = S_{i-1, j-1} \pm S_i \pm \Delta S_i, \quad (4)$$

где  $\Delta S_i = \frac{S_i^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{ij} + jX_{ij})$ ;  $X_{ij}$  – реактивное сопротивление рассматриваемого участка,

Ом; знаки мощностей нагрузок и потерь мощности определяются направлением потоков мощностей.

Потери активной мощности определялись так же, как и в предыдущем случае. Если полученная точка потокораздела, соответствующая критерию минимума потерь мощности, питается с двух сторон, разомкнуть сеть необходимо на участке с меньшим потоком мощности, примыкающим к узлу. При этом необходимо проверить,



На рис. 2 показана схема исследуемой сети с определенной точкой естественного потококораздела, на рис. 3 – с определённой точкой экономического потококораздела с учетом потерь мощности в линии.

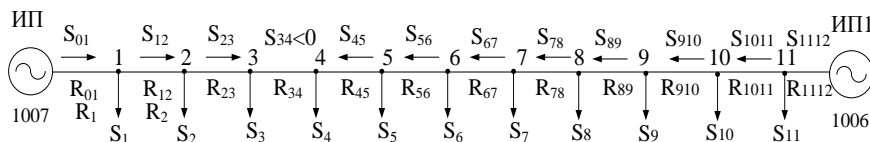


Рис. 2. Схема исследуемой сети с определенной точкой естественного потококораздела

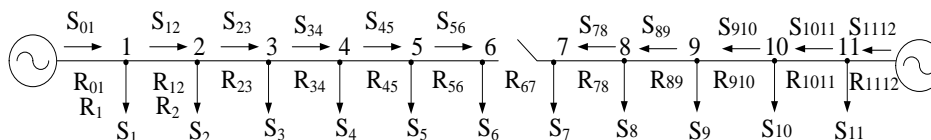


Рис. 3. Схема исследуемой сети с точкой экономического потококораздела

### Полученные результаты

Для всех исследуемых линий в случае учета потерь мощности в линии и на ответвлениях точка экономического потококораздела не совпала с точкой фактического потококораздела. В случае расчета без учета потерь мощности точка экономического потококораздела совпала с точкой фактического потококораздела. При этом различие в относительных потерях мощностей составило порядка 2%. Таким образом, можно сделать вывод о необходимости учета потерь мощности в линии и на ответвлениях, что позволит уменьшить потери электроэнергии.

Далее планируется исследование других неоднородных сельских сетей 10 и 35 кВ, исследование особенностей таких сетей и общего алгоритма определения точки деления сети, обеспечивающей минимальные потери мощности, минимальные значения отклонения напряжения и необходимую надежность электроснабжения.

Разработанная методика позволяет определить точку размыкания сложноразветвленных воздушных сетей 10 кВ, обеспечивающую минимальные потери активной мощности, и может использоваться в реальных сетях.

### Summary

*The distribution networks of the most widespread network loop circuit - closed network, open at one of its nodes. This disconnection point must be selected according to the criterion of minimization the active power losses, electric power and ensure the reliability of power supply. Definition of a rational point for breaking the overhead network, corresponding to the minimum active power losses, is quite a tedious task. In practice, therefore, this point is taken randomly, which leads to considerable losses of active power and voltage. Currently, there are no methods for determining the point of breaking for meshed networks of 10 kV overhead, taking into account the power loss in the lines and the actual value of the voltage, which results in an incorrect definition of the point of rupture. The method of determining the optimum point of breaking meshed network of 10 kV is developed. It is ensuring minimal loss of active power. The validity of the proposed method was checked by the example of several typical 10 kV networks.*

**Keywords: flux distributions of powers, meshed network of 10 kV, breaking point, the active power losses.**

#### **Литература**

1. Азаров В.С. Передача и распределение электроэнергии в примерах и решениях. Москва: МГОУ, 2005. 215 с.
2. Шведов Г.В., Сипачева О.В., Савченко О.В. Потери электроэнергии при ее транспортировке по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Под ред. Ю.С. Железко. Москва: Издательский дом МЭИ, 2013. 424 с.
3. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. Изд. 2-е. Ростов- на-Дону: Феникс, 2008. 715 с.
4. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебно пособие. Москва: Университетская книга: Логос, 2006. 254 с.
5. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. Москва: ЭНАС, 2009. 456 с.
6. Карташев И.И., Тульский В.Н. и др. Управление качеством электроэнергии / Под ред. Ю.В. Шарова. Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. 354 с.

**Поступила в редакцию**

**11 октября 2016 г.**

**Сидорова Вера Тагировна** – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Электромеханика» Марийского государственного университета. Тел: 8(917)715-21-74. E-mail: veranig@yandex.ru.

**Карчин Виктор Васильевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение и техническая диагностика» Марийского государственного университета. Тел: 8(906)138-55-54. E-mail: karchinvv@gmail.com.