

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Азаров С.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.И. Фурсанов.

В работе представлена математическая модель и алгоритм расчета режима разомкнутых распределительных сетей 6-10-35 кВ. От известных подходов отличается тем, что на каждом шаге итерационного процесса выполняется баланс мощности в узлах сети. Алгоритм протестирован в практических расчетах, показана его высокая точность и быстрая сходимость. Идея, положенная в основу метода, заключается в разделении мощности центра питания (ЦП) (рис. 1) на потоки мощности, направляемые к узлам нагрузки. При этом в каждом узле сети, кроме концевых, входящий поток мощности разделяется на мощность нагрузки данного узла и потоки мощности по отходящим ветвям, причем в каждую ветвь направляются потоки мощности для узлов, питаемых по данной ветви.

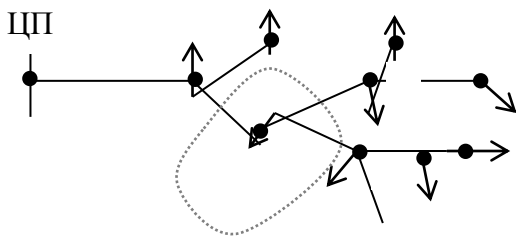


Рисунок 1 – Распределительная электрическая сеть с центром питания и выделенной областью узла k

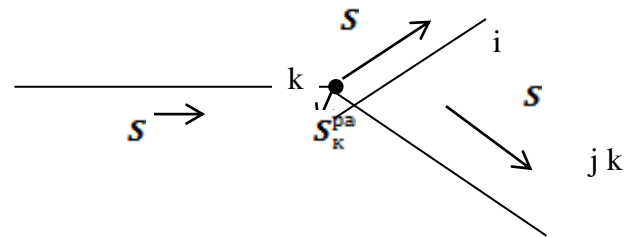


Рисунок 2 – Потоки мощности в узле k

Для реализации идеи введены специальные коэффициенты β_k , показывающие распределение мощности ЦП по узлам нагрузки отдельно для активной и реактивной мощности. Действительная составляющая β_k' соответствует распределению активной мощности, а мнимая β_k'' распределению реактивной мощности. При этом должно быть выполнено условие:

$$\sum_k \beta_k = 1 + j. \quad (1)$$

Для распределения потока мощности для каждого узла вычисляют суммарные коэффициенты γ_k по формуле:

$$\gamma_k = \beta_k + \sum_{i \in T_k} \gamma_i, \quad (2)$$

где T_k – множество узлов, непосредственно питаемых от узла k . Распределение мощности для узла k показано на рис. 2. Рассчитанная мощность нагрузки узла k $S_k^{\text{расч}}$ и потоки мощности по отходящим ветвям S_{ki}, S_{kj} определяются соотношением коэффициентов β_k и γ_k :

$$S_k^{\text{расч}} = \frac{\beta_k'}{\gamma_k'} \cdot P_k^{\text{вх}} + j \frac{\beta_k''}{\gamma_k''} \cdot Q_k^{\text{вх}}; \quad (3)$$

$$S_{ki} = \frac{\gamma_i'}{\gamma_k'} \cdot P_k^{\text{вх}} + j \frac{\gamma_i''}{\gamma_k''} \cdot Q_k^{\text{вх}}. \quad (4)$$

Если в узле k известно напряжение U_k , то по рассчитанной мощности отходящей ветви ki можно найти падение напряжения и потери мощности в этой ветви:

$$\Delta U_{ki} = \frac{S_{ki}}{U_k} \cdot Z_{ki}; \quad (5)$$

$$\Delta S_{ki} = \frac{S_{ki}^2}{U_k^2} \cdot Z_{ki}. \quad (6)$$

Напряжение узла i и мощность, входящая в этот узел определяются следующим образом:

$$U_i = U_k - \Delta U_{ki}; \quad (7)$$

$$S_i^{\text{вх}} = S_{ki} - \Delta S_{ki}. \quad (8)$$

Аналогичным образом расчет по формулам (3) - (8) произведем для узла i и ветвям, отходящим от него. При заданной мощности, отпускаемой в сеть, рассчитываем все узлы, начиная с узла ЦП (по алгоритму обхода дерева в глубину). Таким образом определяется режим всей электрической сети. Он будет полностью сбалансированный и в нем точно учтены законы Кирхгофа, Ома и Джоуля – Ленца.

В качестве исходной информации задаются напряжения и мощности на головном участке линии, а мощность нагрузки узлов связываются соотношениями:

$$\frac{P_k}{S_k^{\text{ном}}} = \text{idem}; \quad \frac{Q_k}{S_k^{\text{ном}}} = \text{idem}, \quad (9)$$

где $S_k^{\text{ном}}$ – суммарная номинальная мощность ТП, установленных в узле k . В соответствии с этим можно определить идеальные коэффициенты распределения α_k , которым должны соответствовать рассчитанные мощности узлов:

$$\alpha_k = \frac{S_k^{\text{ном}}}{\sum_k S_i^{\text{ном}}}; \quad (10)$$

$$\sum_k \alpha_k = 1. \quad (11)$$

Коэффициенты β_k в начале расчета задаются равными идеальным коэффициентам, то есть по распределению установленной мощности ТП:

$$\beta_k^{(0)} = \alpha_k + j\alpha_k; \quad (12)$$

$$\sum_k \beta_k^{(0)} = 1 + j. \quad (13)$$

Затем выполняются несколько итераций. Каждая итерация состоит из трех шагов: 1 - расчет γ_k по формуле (2) (обратный ход); 2- расчет режима электрической сети по формулам (3)-(9) (прямой ход); 3 – проверка критерия остановки и корректировка коэффициентов β_k . Расчетные коэффициенты распределения $\omega_k = \omega'_k + j\omega''_k$ определяем по расчетным мощностям узлов:

$$\omega_k = \frac{P_k^{\text{рас}}}{\sum_i P_i^{\text{рас}}} + j \frac{Q_k^{\text{рас}}}{\sum_i Q_i^{\text{рас}}}; \quad (14)$$

$$\sum_k \omega_k = 1 + j. \quad (15)$$

Пусть $\varepsilon > 0$ – заданная точность. Тогда, если для всех узлов выполняется по модулю неравенство:

$$\omega_k - (\alpha_k + j\alpha_k) < \varepsilon, \quad (16)$$

то заданная точность расчета достигнута и итерационный процесс прекращается, в противном случае выполняется корректировка β_k по формуле:

$$\beta_k^{(n+1)} = \beta_k^{(n)} + (\alpha_k + j\alpha_k) - \omega_k \quad (17)$$

Отметим, что из (11),(13),(15) и (17) следует равенство:

$$\sum_k \beta_k^{(1)} = \sum_k \beta_k^{(0)} + \sum_k (\alpha_k + j\alpha_k) - \sum_k \omega_k = (1 + j) + (1 + j) - (1 + j) = 1 + j.$$

Это означает, что $\beta_k^{(1)}$ выполняется условие (1). Укрупненная блок-схема алгоритма расчета приведена на рис. 3. В качестве «следующей ветви» здесь может быть использована любая ветвь, для которой еще не выполнены расчеты по формулам (3) –(9), но уже известны напряжение и входящая мощность узла начала ветви. Расчеты, выполненные по программе на базе этого алгоритма, показали высокую эффективность метода для любых сельских и городских распределительных сетей 6-10-35 кВ. Таким образом, использование метода распределения мощности для разомкнутых электрических сетей позволяет, с одной стороны, избежать применения сложных алгоритмов на базе методов Ньютона, а с другой стороны, обеспечивает необходимую точность расчета режима и сходимости вычислительного процесса для решения практических задач расчета.

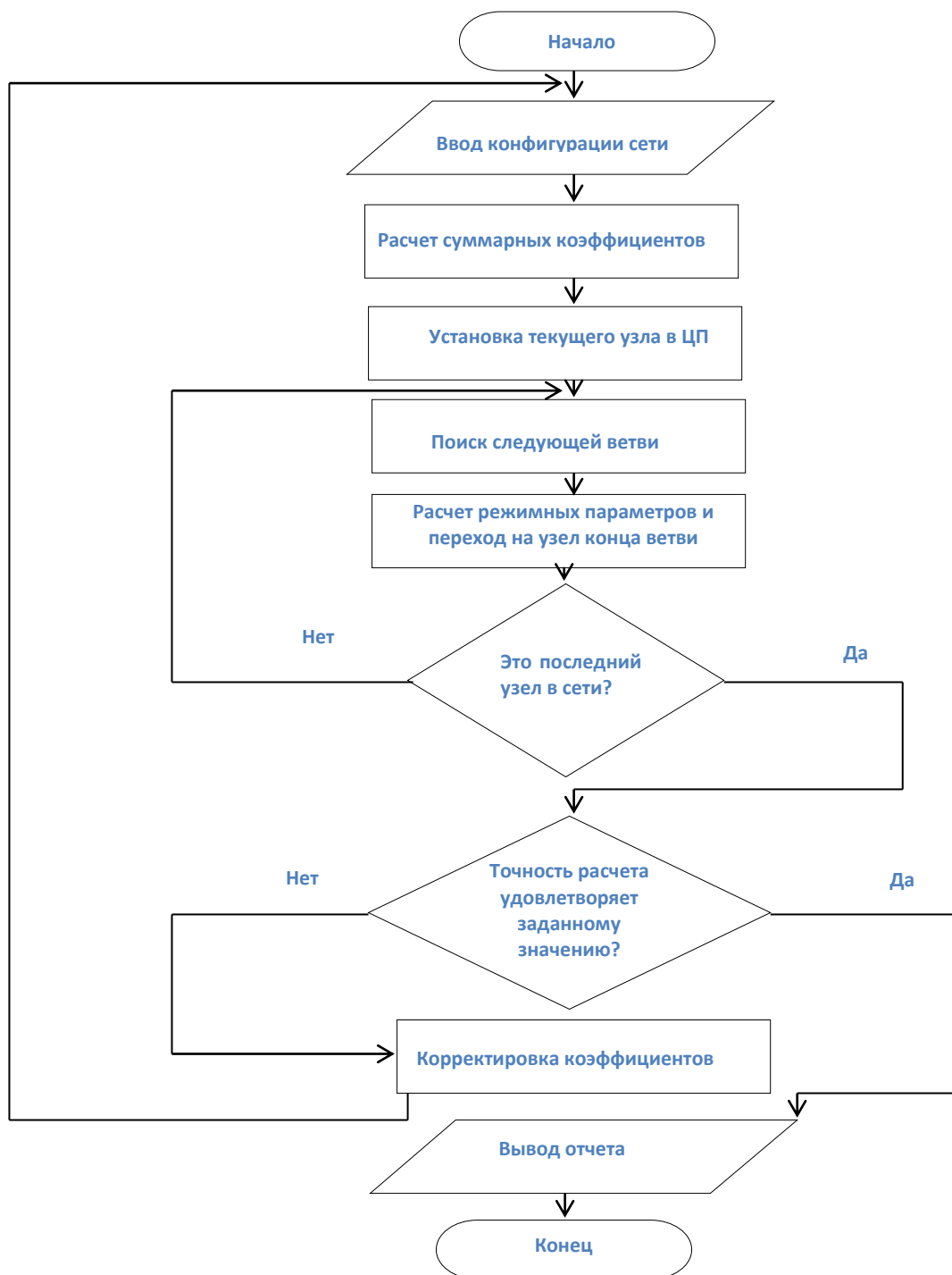


Рисунок 3 – Блок схема алгоритма расчета режима

Литература

1. Винников Б. Г., Зеленский Д. А., Картавцев В. В., Расчет режимов разомкнутых распределительных сетей методом распределения мощности. Вестник Воронежского технического университета. 2009, №8, том 5, 15-20.
2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети/М.: Энергоатомиздат, 1989.- 592 с.