

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАМЕНЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Н.С. Петрашевич

Белорусский национальный технический университет

e-mail: nik.petrashevitch@gmail.com

Summary. *The article is devoted to the optimization of electrical network. The author developed the efficient algorithm for determining of optimal location of transformers at substations of distributed electrical networks, based on search of the best solution from all sets of displacement in oriented graph. The result of algorithm's work is series displacement of transformers in networks, which allows to obtain an economic effect in comparison with replacement of single transformer.*

Упрощённый метод решения задачи об оптимизации замены трансформаторов. предполагает замену установленного трансформатора на новый по критерию максимума индекса доходности. Экономический расчёт, положенный в основу упомянутого метода, предполагает списание старого трансформатора как отработавшего свой ресурс. Однако на практике может сложиться ситуация, когда трансформатор, заменённый новым на одной подстанции, будет вполне работоспособным и может быть установлен на другой подстанции энергосистемы и продолжит своё функционирование. Такая практика замены может быть оправдана при ограниченных финансовых ресурсах и требует тщательного технико-экономического обоснования. Алгоритм решения данной задачи представлен ниже.

Суммарные ежегодные затраты $C(S)$ при реализации мероприятия по замене трансформатора S в сети включают несколько составляющих:

$$C(S) = C_{Kt}(S) + C_{Ect}(S) + C_{Rvt}(S) + Y_t(S), \quad (1)$$

где $C_{Kt}(S)$ – капитальные затраты на реализацию мероприятия;

$C_{Ect}(S)$ – эксплуатационные расходы на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание;

$C_{Rvt}(S)$ – переменные эксплуатационные расходы для компенсации потерь электроэнергии;

$Y_t(S)$ – ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям.

Выполнять расчёт режима для каждой новой расстановки трансформаторов затруднительно, поскольку в разветвлённых электрических сетях с числом потребительских трансформаторов n , общее количество расчётов Γ будет равно количеству перестановок трансформаторов и в предельном случае:

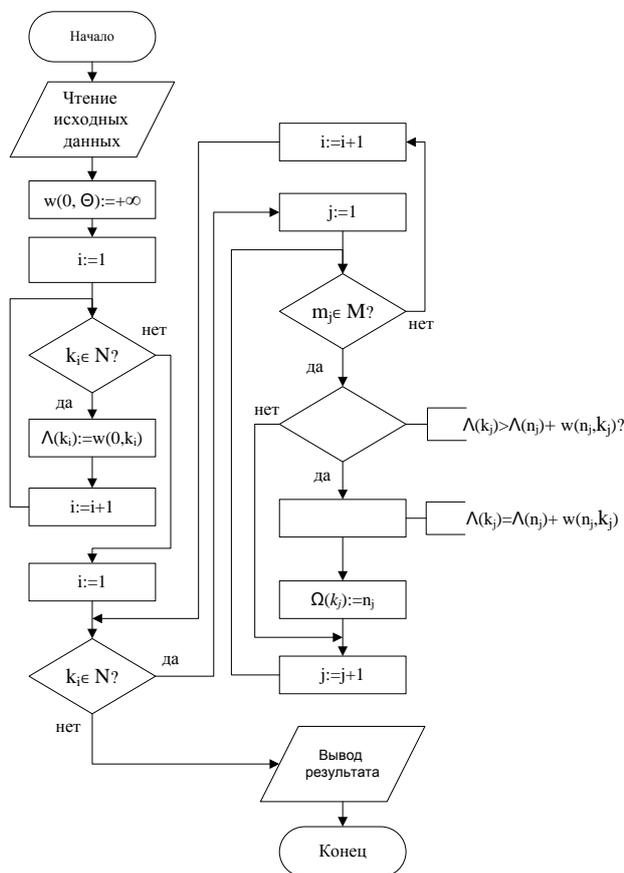
$$\Gamma = n! = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n. \quad (2)$$

Поэтому даже для небольшой сети из 10 трансформаторов расчёт режима необходимо производить до трёх с половиной миллионов раз.

Исходя из вышесказанного, авторами разработан алгоритм, позволяющий значительно сократить время расчётов и тем самым повысить эффективность замены трансформаторов в распределительной сети. Исходное состояние сети обозначим как $S(0)$. Совокупность перестановок представляет собой ориентированный граф $G=(N, M)$. Множество вершин графа N это места установки трансформаторов (подстанции), а множество рёбер M – пути возможных перестановок. Каждая перестановка трансформатора приводит к новому состоянию сети $S(i)$. Вес ребра графа m_j будет определяться изменением ежегодных затрат на эксплуатацию электрической сети, вызванным заменой трансформатора n_j на n_{j+1} , т.е. переходом из состояния $S(i-1)$ в состояние $S(i)$.

Учитывая вышесказанное, решение задачи сводится к поиску пути с наименьшим весом рёбер от вершины «приобретение» к вершине «списание». Такой путь назовём кратчайшим.

Возможное присутствие отрицательного цикла в графе замены не позволяет использовать некоторые алгоритмы поиска в полном объёме, например, такие как алгоритм Дейкстры и Флойда-Уоршелла. Поэтому для специфической задачи оптимизации размещения трансформаторов использование алгоритма Беллмана-Форда представляется наиболее целесообразным.



Введём следующие обозначения:

Θ – последняя вершина графа (в рассматриваемом случае обозначается 9);

$m_j(n_j, k_j)$ – j -е ребро графа с началом в вершине n_j и концом в $k_j, m_j(n_j, k_j) \in M; n_j, k_j \in N;$

$\Lambda(k_j)$ – кратчайший путь от вершины 0 к вершине $k_j;$

$\Omega(k_j)$ – предыдущая вершина до k_j в кратчайшем пути $\Lambda(k_j)$.

Следует отметить, что в силу нелинейности зависимости составляющий $C_{Rvt}(S)$ в выражении (1) вес пути от вершины n_i к вершине k_i будет зависеть от предыдущей вершины n_k в пути. Однако, предположив, что разница в значениях небольшая, условимся величину $w(n_j, k_j)$ считать постоянной.

Результатом выполнения разработанного алгоритма будет значение $\Lambda(\Theta)$, соответствующее кратчайшему пути. Если в результате расчёта окажется, что $\Lambda(\Theta) > 0$, то оптимизация сети не может быть достигнута заменой трансформаторов. Кратчайший путь $\Lambda(\Theta)$ представляет собой наибольшую сумму средств,

которую можно сэкономить при оптимизации электрической сети заменой трансформаторов.

Выводы

1. Показано, что ещё до достижения нормативного срока службы силового трансформатора возможна его экономически целесообразная замена.

2. Разработан эффективный алгоритм определения оптимального размещения трансформаторов на подстанциях распределительных электрических сетей, основанный на поиске наилучшего решения из совокупности перестановок в ориентированном графе.