

А. Е. Гаврилова, С. А. Ерошенко

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Allbina@icloud.com

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В работе рассмотрена проблема оптимального секционирования электрической сети с точки зрения уменьшения токов коротких замыканий. Проанализированы современные алгоритмы поисковой оптимизации применительно к проблеме оптимального секционирования. Более подробно рассмотрены метод роя частиц и алгоритм поиска с запретами.

Ключевые слова: оптимальное секционирование; методы поисковой оптимизации; токи короткого замыкания; метод роя частиц; алгоритм поиска с запретами.

A. E. Gavrilova, S. A. Eroshenko

Ural Federal University, Ekaterinburg

MODERN OPTIMIZATION METHODS FOR ELECTRIC NETWORK RECONFIGURATION

The problem of electrical network optimal reconfiguration is considered from the point of view of reducing short-circuit currents. The article contains analysis of modern search optimization algorithms in relation to the problem of optimal reconfiguration. The particle swarm optimization and the tabu search algorithm are discussed in more detail.

Keywords: optimal reconfiguration; modern optimization algorithms; short circuit currents; particle swarm optimization; tabu search algorithm.

Исторически сложилось так, что рост потребления обуславливал рост генерации и развитие электросетевого комплекса. Это привело к тому, что в настоящее время энергосистема обладает высокой

плотностью электрических сетей со сложнзамкнутыми кольцами в узлах нагрузок и радиальными электрическими сетями для питания потребителей. Для оптимизации режимов производится секционирование и деление электрической сети на подстанциях и электростанциях. Большая часть точек секционирования магистральных сетей находится на классе напряжения 110 кВ. Решение о секционировании принимается экспертно, в случае необходимости, например, для недопущения перегрузки транзитными токами, для обеспечения условий действия релейных защит, а также для снижения уровней токов КЗ с целью обеспечения отключающей способности выключателей. Оптимизация секционирования электрической сети позволила бы уменьшить уровни токов короткого замыкания, улучшить режимные параметры, но такая оптимизация на данный момент не производится. В связи с этим возникает задача *оптимального* секционирования электрической сети.

В литературе данная проблема рассматривается с точки зрения минимизации потерь в электрической сети и уменьшения уровней токов коротких замыканий как в распределительных, так и в магистральных сетях.

В связи с дискретностью переменных решения в качестве методов оптимизации используются эвристические и метаэвристические алгоритмы решения. На данный момент существует большое количество стратегий поиска, которые в работе Карпенко [1] классифицированы на алгоритмы случайного поиска, эволюционные алгоритмы, популяционные алгоритмы и поиск с запретами. На рисунке представлена классификация современных алгоритмов поисковой оптимизации. Подчеркнутые черным цветом алгоритмы были использованы для задачи оптимального секционирования с целью снижения потерь в сети; синим цветом – для минимизации токов коротких замыканий. Т. к. в настоящее время наблюдается рост уровней токов коротких замыканий в связи с вводом нового генерирующего оборудования, что приводит к необходимости принятия мер для их ограничения [2], рассмотрим оптимизацию секционирования электрической сети более подробно именно с этой точки зрения.

Современные алгоритмы поисковой оптимизации



Классификация современных алгоритмов поисковой оптимизации

Метод роя частиц основывается на поведенческой модели толпы. Популяция возможных решений (частиц) перемещаются в пространстве решений согласно принципу наилучшего найденного в этом пространстве положения, которое постоянно изменяется при нахождении частицами более выгодных положений.

Алгоритм был реализован в [3] для реконфигурации распределительной сети с целью уменьшения токов коротких замыканий. Уровень токов коротких замыканий определяется как:

$$SCL_i^{pu} = \frac{V_i^2(p.u.)}{Z_i(p.u.)}, \quad (1)$$

где V_i^2 – это доаварийное напряжение в i -том узле, Z_i – это суммарное сопротивление, приведенное к узлу i . Учитывается ограничение по поддержанию напряжения в сети в требуемом диапазоне. Целевая функция определяется согласно выражению:

$$F = \text{Min} \left(\alpha \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{SCL_i^{new}}{SCL_i^{old}} \right)^2 \right] + \beta \left[\sum_{i=1}^n (V_i - 1)^2 \right] + X \right) \quad (2)$$

где SCL_i^{new} – это уровень ТКЗ после реконфигурации, SCL_i^{old} – это уровень ТКЗ до реконфигурации. V_i – величина напряжения в узле i , и N – это количество узлов. α, β, X – это весовые коэффициенты, которые выбираются произвольно. В результате применения данного алгоритма оптимизации для 83-узловой схемы уровни напряжения становятся значительно ближе к требуемым значениям, снижаются токи коротких замыканий в сети.

Алгоритм поиска с запретами (Tabu Search algorithm) относится к классу метаэвристических алгоритмов интеллектуального поиска. Основным механизмом, который позволяет алгоритму TS преодолевать локальные экстремумы, является список запретов.

Hwachang Song и др. [4] предложили методику оптимизации топологии сети для снижения уровня тока короткого замыкания на основе алгоритма поиска с запретами. В качестве мероприятий предлагаются отключение секционированных выключателей и размыкание линий электропередач для изменения топологии сети. Целевая функция представлена следующим образом:

$$F = \text{Min}(\sum_{i=1}^{N_{RA}} w_i b_i + c_F \sum_{i \in S_p} P_{Fi} + c_V \sum_{i=1}^{N_B} P_{Vi} + c_S \sum_{k=1}^{N_{BR}} P_{Sk} + c_T \sum_{i=1}^{N_T} P_{Ti}), \quad (3)$$

где b_i – переменная принятия решения для i -ого мероприятия; w_i – весовой коэффициент для мероприятия b_i ; P_{Fi} – штрафная величина от превышения допустимого тока короткого замыкания; P_{Vi} – штрафная величина, обеспечивающая ограничение по напряжению; P_{Sk} – штрафная величина, обеспечивающая ограничение по пропускной способности. Представленный алгоритм позволяет найти оптимальное решение для 10 переменных решения.

Вышеописанные алгоритмы, как и алгоритмы, представленные на рисунке, являются алгоритмами глобальной оптимизации, но они позволяют минимизировать целевую функцию лишь в определенной степени, не гарантируя при этом нахождение глобального минимума. В дальнейшей работе будет произведена реализация и анализ работы различных алгоритмов глобальной оптимизации применительно к задаче оптимального секционирования электрической сети с целью уменьшения токов короткого замыкания.

Список использованных источников

1. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А. П. Карпенко. 2-е изд. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. 446 с.
2. Егоров А. О., Ерошенко С. А., Загидуллин М. Р., Зиновьев К. А., Сенюк М. Д. Исследование уровней токов коротких замыканий в Свердловской энергосистеме // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017 : сборник докладов VIII Междунар. молодеж. науч.-техн. конфе. (Самара, 2–6 октября 2017 г.) Самара : Самарский гос. техн. ун-т, 2017. Т. 1. С. 281–284.
3. Optimal distribution systems reconfiguration for short circuit level reduction using PSO algorithm / Ali Parizad, H. R. Baghaee, Amirnaser Yazdani, G. B. Gharehpetian // IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 22-23 Feb. 2018. P. 1–6. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8334976>
4. Tabu Search Based Topology Modification for Reduction of Fault Current Level in Power Systems / Manuelito Y. Del Castillo, Hwachang Song // The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems, 2012. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6505386>