

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14498854>

УДК 621.311.14

МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ГЕНЕТИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ

Пулатов Бехзод Маннонович

PhD, доцент, Ташкентский государственный технический университет
имени Ислама Каримова

АННОТАЦИЯ

В статье приводится математическая формулировка задачи минимизации потерь в распределительных электрических сетях с учетом всех видов режимных и технологических ограничений и генетический алгоритм её решения. Использование генетического алгоритма позволяет эффективно решить ряд проблем связанных с учетом различных видов ограничений при решении рассматриваемой задачи.

Ключевые слова: Электрическая сеть, потери в электрических сетях, минимизация потерь, целевая функция, ограничение, штрафная функция, алгоритм решения, генетический алгоритм.

MINIMIZATION OF LOSSES IN DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORKS BY GENETIC ALGORITHMS

Pulatov Bekhzod Mannonovich

PhD, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

ANNOTATION

The article presents a mathematical formulation of the problem of minimizing losses in distribution electrical networks taking technological limitations and into account all types of regime and a genetic algorithm for solving it. Using a genetic algorithm allows you to effectively solve a number of problems associated with taking into account various types of limitations when solving the problem under consideration.

Keywords: Power network, losses in electrical networks, losses minimization, target function, limitation, penalty function, algorithm of solving, genetic algorithm.

Минимизация потерь в распределительных электрических сетях, в общем случае, представляет собой сложную задачу нелинейного математического программирования с множеством простых и функциональных в виде равенств и неравенств. Поэтому, до сих пор не существует универсальный алгоритм её решения на основе использования соответствующих математических моделей. В связи с этим вопросы усовершенствования существующих и разработки новых алгоритмов решения этой задачи в направлении преодоления трудностей, связанные с использованием традиционных алгоритмов остаётся актуальной задачей.

В работе предлагается новый алгоритм минимизации активных потерь в распределительных электрических сетях путём оптимизации в регулируемых реактивных мощностях узлов.

Задача, в общем случае, математически формулируется в следующем виде [1, 2]:

минимизировать функции суммарных потерь активной мощности в электрических сетях, представляющей собой алгебраическую сумму активных мощностей всех узлов

$$\pi = \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

при условиях:

а) баланса мощности в узлах:

$$\left. \begin{aligned} W_i' &= P_i - P_{is} = 0, \quad i \in \Gamma + H; \\ W_i'' &= Q_i - Q_{is} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

б) выполнения режимных и технических ограничений в форме неравенств:

$$U_{i,\min} \leq U_i \leq U_{i,\max}, \quad i \in \Gamma + H; \quad (3)$$

$$Q_{i,\min} \leq Q_i \leq Q_{i,\max}; \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \quad (4)$$

$$K_{Tl,\min} \leq K_{Tl} \leq K_{Tl,\max}; \quad l \in T; \quad (5)$$

$$I_{l,\min} \leq I_l \leq I_{l,\max} \quad l \in L_l; \quad (6)$$

где n - число узлов в электрической сети (кроме балансирующей); H - множество нагрузочных узлов; Γ - множество генераторных узлов; Γ_1 - множество генераторных узлов с нерегулируемыми реактивными мощностями T - множество ветвей, содержащих трансформаторы с регулируемыми коэффициентами трансформации; L_l – множество ветвей, в которых контролируются токи.

Несмотря на существование множества методов и алгоритмов решения рассматриваемой задачи проблемы обеспечения эффективности расчетов для

современных электрических сетей в условиях наличия простых и функциональных ограничений не является до конца решенной. В связи с этим в данной работе предлагается эффективной алгоритм решения данной задачи путём оптимизации регулируемых реактивных мощностей узлов на основе генетического алгоритма.

Генетические алгоритмы предлагают новый и мощный подход к решению задач оптимизации. Их применение стало возможным благодаря расширению возможностей вычислительных средств при относительно низких затратах. Последнее время эти алгоритмы находят применение в решении глобальных проблем поисковой оптимизации, когда традиционные алгоритмы оптимизации не могут быть использованы. Они используют параллельные и глобальные поисковые методы, имитирующие природные генетические операторы. Вероятность сходимости генетического алгоритма к глобальному решению задачи наиболее высокая, так как она, одновременно, оценивает множество точек в пространстве параметров. Эти алгоритмы также не требуют дифференцируемости и непрерывности пространство поиска [2-4].

Простой генетический алгоритм состоит из последовательности следующих операций:

1. Генерация случайной популяции бинарных или вещественных рядов кандидатов решения.
2. Расчет функции соответствия для каждого ряда в популяции.
3. Создание потомства строк (хромосом) путем отбора, скрещивания и мутации.
4. Оценка новых рядов (хромосом) и расчет для каждого из них функции соответствия.
5. Проверка достижения цели поиска или допустимого поколения. В случае выполнения этого условия – выдача наилучшей хромосомы (кандидата решения); в противном случае – возврат к п.п.3.

Оценивание популяции осуществляется для выявления более и менее приспособленных особей. Для определения степени приспособленности каждой особи используется функция соответствия. В задачах оптимизации в качестве такой функции можно использовать целевую функцию.

Селекция (отбор) необходима для выбора более приспособленных особей для скрещивания. Существует множество вариантов селекции [5]. Наиболее известными из них являются рулеточная селекция, селекция усечением и турнирная селекция.

Отобранные в результате селекции особи, называемые родителями, скрещиваются и дают потомство. Созданные в процессе обмена генетической

информацией между родительскими особями (с применением оператора кроссовера) потомки составляют популяцию следующего поколения. Скрещивание может осуществляться на основе целочисленного или вещественного кодирования особей. В результате скрещивания двух случайно выбираемых особей (родителей) создаются два потомка. Такой процесс повторяется до получения столько же особей, сколько их было в исходной популяции. На этом этапе алгоритма важным параметром является вероятность скрещивания, определяющая число скрещиваний относительно общего числа особей в популяции.

При использовании целочисленного кодирования каждая хромосома (особь) представляет собой битовую строку, в которой закодированы параметры решения поставленной задачи.

При вещественном кодировании избавляется от операций кодирования и декодирования, используемых в целочисленном кодировании. Пример вещественного кодирования приведен на рисунке.

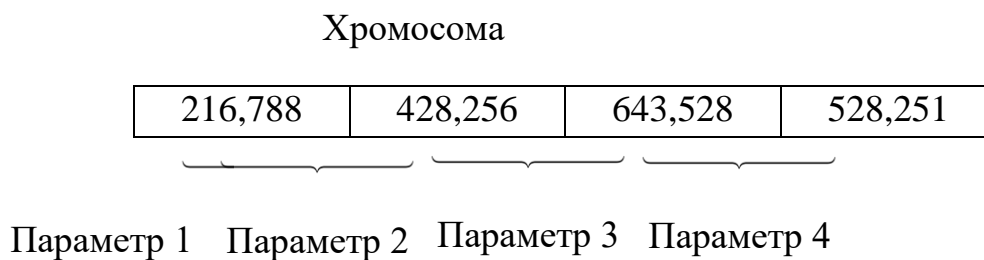


Рисунок. Пример вещественного кодирования.

Для скрещивания могут применяться 1-точечный, 2-точечный и однородный операторы кроссовера.

Согласно этому алгоритму задача условной минимизации функции, представляющей собой функцию суммарных потерь активной мощности в электрических сетях π (1) с учетом всех ограничений сводится к безусловной минимизации обобщенной функции, состоящей из суммы целевой функции исходной задачи и штрафных функций, учитывающих ограничений (2), (3) и (6). Простые ограничения (4) и (5) учитываются автоматически в соответствии с процедурой генетического алгоритма.

Штрафные функции, учитывающие этих ограничений должны равняться нулю при их выполнении и увеличиться при нарушении пропорционально степени нарушения.

В соответствии с этим для учета ограничения в виде равенства (2) принята штрафная функция в виде

$$Ш_p = \frac{\alpha}{2} \left(\sum_{i=1}^n P_i - P_H \right)^2. \quad (4)$$

Ограничения (3) и (5) учитываются штрафной функцией в виде

$$Ш_l = \beta e^{\gamma(P_i - P_i^{\max})} \quad \text{или} \quad Ш_l = \beta e^{\gamma(-P_i + P_i^{\min})}, \quad (5)$$

где α , β , γ - весовые (штрафные) коэффициенты.

Таким образом, обобщенная целевая функция, при минимизации генетическим алгоритмом с учетом ограничений описанными методами, представляется в следующем виде

$$F = \pi + Ш_p + Ш_Q + \sum Ш_l. \quad (6)$$

Эффективность описанного алгоритма исследована на примере минимизации активных потерь оптимизацией регулируемых реактивных мощностей узлов реальной распределительной электрической сети 35 кВ.

При этом функция (6) принята как функция соответствия. Популяция состояла из 50 хромосом особей. Вероятность скрещивания принята как $P_c = 0,6$, а вероятность мутации $P_m = 4^{-l} = 0,25$.

Оптимизация произведена описанным генетическим алгоритмом с использованием 1-точечного и 2-точечного кроссовера. Сходимость итеративного процесса при использовании вещественного кодирования с 2-точечным кроссовером оказалось быстрее чем с 1-точечным кроссовером.

Точность расчета предлагаемым алгоритмом проверялась на основе сравнения результатов с результатами, полученными при использовании классических алгоритмов.

Результаты исследований показали высокую эффективность описанного генетического алгоритма минимизации потерь в электрических сетях с учетом всех видов ограничений.

Выводы:

1. Предложен эффективный генетический алгоритм минимизации активных потерь в электрических сетях с учетом режимных и технологических ограничений.

2. Генетический алгоритм минимизации потерь в электрических сетях обладает достаточно высокой точностью и надежной сходимостью итеративного расчетного процесса. Он также не требует дифференцируемости и непрерывности пространства поиска.

Литература

1. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Т.: Молия, 1999.
2. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. Т.: Изд. ТашГТУ, 2014.
3. D. E. Goldberg Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, Ind. USA, 1989.
4. J. Yuryevich, K. P. Wong, Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm./ IEEE Transaction on power Systems. Vol. 14, No. 4, November 1999.
5. <http://qai.narod.ru/Publications/> Цой Ю.Р., Спицын В.Г. Генетический алгоритм / Спицын В.Г., Цой Ю.Р. Представление знаний в информационных системах: учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
6. L.L. Lai, J. T. Ma, R. Yokoma, M. Zhao. (1997) Improved genetic algorithms for optimal power flow under both normal and contingent operation states./ Electrical Power & Energy System. Vol. 19, No. 5, p. 287-292.
7. Гайибов Т.Ш. Оптимизация режимов энергосистем генетическими алгоритмами. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент. (2017) – № 1,2. – С. 43-48.
8. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. (2020) Optimization of Short-term Modes of Hydrothermal Power System. E3S Web of Conferences 209, 07014 ENERGY-21. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907014>
9. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. (2021) Taking into account the constraints in power system mode optimization by genetic algorithms. E3S Web of Conferences 264, 04045 CONMECHYDRO – 2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404045>