

# АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВЫБОРА МЕСТ УСТАНОВКИ И МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Семенова Л.А., Инжеватова А.О., Салимов Р.М.  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,  
г. Оренбург

Реактивная мощность необходима для создания магнитных полей и работы таких электроприемников промышленных предприятий, как асинхронные двигатели, трансформаторы, индукционные печи, преобразовательные установки и др., которые наряду с активной мощностью потребляют также и реактивную.

Вместе с тем перетоки реактивной мощности увеличивают потери электроэнергии, снижают пропускную способность электрических сетей, влияют на уровни напряжения у потребителей. В связи с этим для любого промышленного предприятия актуальной задачей является компенсация реактивной мощности с целью уменьшения потерь электроэнергии, т.к. при отсутствии устройств компенсации потери могут составить от 10% до 50% от среднего электропотребления [1].

В системах электроснабжения промышленных предприятий наиболее часто в качестве средств компенсации реактивной мощности используют статические регулируемые и нерегулируемые компенсирующие устройства (КУ) в виду малых удельных потерь активной мощности, простоты монтажа и эксплуатации, возможности размещения в любом узле электрической сети.

Вопросу компенсации реактивной мощности в энергосистемах и системах электроснабжения промышленных предприятий в частности посвящены многие работы, в том числе [2-4]. Однако вопрос выбора мощности КУ с учетом дискретности ее значений (устройства позволяют регулировать генерируемую ими мощность только ступенчато) остается недостаточно проработанным.

Выбор мест размещения и мощности КУ является оптимизационной задачей, цель которой – нахождение наилучшего относительно некоторого критерия или критериев варианта при соблюдении всех технических условий нормальной работы электрической сети и электроприемников промышленного предприятия. В общем виде математическая модель оптимизационной задачи записывается в виде:

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr}; \quad (1)$$

с учетом ограничений:

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_1, \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_2, \\ \dots \\ f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) > b_m \end{cases} \quad (2)$$

с граничных условий:

$$d_i \leq x_i \leq D_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – искомые переменные, общее количество которых равно  $n$  ;

$b_j$  – свободные члены,  $j = \overline{1, m}$  ;

$m$  – общее количество ограничений;

$d_i, D_i$  – соответственно нижняя и верхняя границы диапазона изменения переменной  $x_i$  .

При выборе метода решения оптимизационной задачи (1-3) необходимо учитывать характер искомых переменных и исходных данных, вид связей в математической модели, количество критериев оптимальности. Проведенный анализ методов оптимизации [5-7] позволил их условно разбить на пять групп.

К первой группе отнесены аналитические методы, такие как метод множителей Лагранжа, Каруша-Куна-Таккера, вариационные методы и т.п. Данные методы оптимизации предполагают аналитическое задание целевой функции (1) и определение производной от нее, которую, в свою очередь, приравнивают к нулю. Методы данной группы применяют, когда количество искомых переменных невелико.

К основным недостаткам аналитических методов следует отнести, во-первых, их применение для задач с малым количеством искомых переменных, иначе возникает так называемый барьер многомерности, затрудняющий поиск решения. Следует отметить, что количество узлов распределительной сети промышленного предприятия, в которых могут устанавливаться КУ достаточно велико. Во-вторых, усложнение решения при большом числе ограничений и введении дополнительных неопределенных множителей, из-за которых увеличивается порядок системы уравнений. В-третьих, искомые параметры (величины)  $x_i$  системы (2) являются непрерывными переменными [8].

Вторая группа – это численные методы, к которым относятся методы покоординатного спуска, наискорейшего спуска, сопряженных градиентов, дихотомии, золотого сечения, Фибоначчи и другие. Численные методы решения оптимизационной задачи построены на точном или приближенном вычислении ее характеристик (значений целевой функции (1), ограничений (2), их производных), на основании которых строится приближение к решению задачи – искомой точке экстремума  $x^*$  или к множеству точек экстремума. Достоинством этих методов является то, что они основаны на вычислении значений целевой функции, следовательно, не требуют выполнения условия дифференцируемости и записи целевой функции в аналитическом виде. Однако указанное достоинство является и их недостатком – у численных методов малая скорость сходимости и существует вероятность закливания алгоритма поиска решения.

К третьей группе отнесены методы случайного поиска, в том числе метод Монте-Карло, методы статического градиента, методы статического наискорейшего спуска и другие. Данные методы предполагают введение элемента случайности в алгоритм поиска решения. Область применения методов случайного поиска – оптимизационные задачи большой размерности, с множеством локальных экстремумов или не гладкостью целевой функции (1), т.е. те случаи, когда

аналитические методы неприменимы. К достоинствам следует также отнести сравнительную простоту реализации алгоритма поиска решения.

Основными недостатками методов этой группы являются необходимость проведения большого числа итераций с целью получить решение, близкое к оптимальному, т.е. низкая скорость сходимости к точке экстремума, а также неопределенность в выборе условия останова поиска.

К четвертой группе отнесен метод полного перебора. Он является самым простым методом для поиска экстремума целевой функции (1). К недостаткам данного метода следует отнести отсутствие приемов решения и алгоритмов мышления, кроме того необходимость проведения большого числа реализаций. Например, при  $n$  переменных (количество узлов распределительной сети), варьируемых на  $t$  уровнях (возможные варианты мощностей КУ), необходимо рассмотреть  $n^m$  вариантов.

К пятой группе отнесены методы искусственного интеллекта, одним из которых является генетический алгоритм (ГА). Генетический алгоритм, называемый «интеллектуальной» формой метода проб и ошибок, представляет собой эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации в различных областях и основанный на трех компонентах:

- генетической памяти, сконцентрированной в «хромосомах»;
- воспроизведении, осуществляемом при помощи операторов кроссинговера и мутации;
- селекции продуктивных решений методами оптимизации многоэкстремальных функций.

ГА, использующие элемент случайности, не относятся исключительно к методам случайного поиска, поскольку они успешно применяются в комбинациях с аналитическими методами или другими алгоритмами поиска оптимального решения.

Генетические алгоритмы имеют преимущества перед другими методами оптимизации при очень больших размерностях задач и отсутствия упорядоченности в исходных данных, когда альтернативой им является метод полного перебора вариантов. Возможность решения оптимизационной задачи в дискретных переменных с использованием ГА обусловлена тем, что на начальном этапе применения алгоритма необходимо дискретизировать пространство параметров целевой функции (1). Параметры  $x_i$  обычно кодируются бинарной строкой  $s$ .

На основании проведенного анализа методов оптимизации, выявленных достоинств и недостатков, в работе выдвинута гипотеза о целесообразности применения генетического алгоритма для решения задачи выбора мест размещения и мощности компенсирующих устройств. Дальнейшее исследование необходимо направить на разработку соответствующего алгоритма и его программную реализацию.

#### *Список литературы*

1. *Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения: Справочно-методическое издание / Э. А. Киреева [и др.] ; под редакцией Э. А. Киреевой. – М. : «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. – 304 с.*
2. *Железко, Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю.С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.*
3. *Ефременко, В. М. Выбор оптимальных способов компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий / В. М. Ефременко, Р. В. Беляевский, Н. В. Пономарев // Вестник Кузбасского технического университета. Энергетика. – 2011. - №5. – С. 81- 84.*
4. *Карагодин, В. В. Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях специальных объектов / В. В. Карагодин, Д. В. Рыбаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2015. – №10. – С. 823-828.*
5. *Костин, В. Н. Оптимизационные задачи в электроэнергетике : учеб. пособие / В.Н. Костин. – СПб. : СЗТУ, 2003. – 120 с.*
6. *Рейзлин, В. И. Численные методы оптимизации : учебное пособие / В. И. Рейзлин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 105 с.*
7. *Ротштейн, А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.*
8. *Семенова, Л.А. К вопросу выбора оптимальной мощности и мест размещения устройств компенсации реактивной мощности / Семенова Л.А., Инжеватова А.О., Салимов Р.М. // Энергетика: состояние, проблемы перспективы : труды VIII Всероссийской научно-технической конференции. – Оренбург: ООО Агентство «Пресса». – 2016. – С. 15-19.*