

УДК 621.316

А.А. АКСЕНОВА, магистрант I курса гр. ЭПм-211
Научный руководитель А.В. КУЗНЕЦОВА, к.т.н., доцент
г. Кемерово

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ, ПРИМЕНЯЕМАЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Введение

При проектировании и эксплуатации различных энергообъектов необходимо регулярно решать задачу поиска наилучшего решения из некоторого множества допустимых решений. Наиболее подходящее решение – оптимальное решение. Сам процесс поиска оптимального решения – оптимизация, а задача в которой необходимо найти такое решение – оптимизационная задача. Задача поиска оптимального решения всегда будет актуальна в сфере энергетики, так как необходимо максимально экономить запасы различных видов ресурсов: финансовых, сырьевых, энергетических, а также времени.

Существует большое количество методов оптимизации в энергетике [1], каждый из которых подходит для решения различных задач (выбор оптимальной мощности энергообъектов, выбор места расположения объектов, выбор оптимального количества энергообъектов, выбор вида источников генерации, задача оптимального размещения устройств компенсации реактивной мощности и т.д.). Каждый метод оптимизации можно описать с помощью математической модели. Математическая модель любого оптимизационного метода должна включать в себя целевую функцию, ограничения и граничные условия.

Целевая функция – это математическая запись критерия оптимальности задачи. При решении оптимизационной задачи сначала необходимо найти экстремум целевой функции. В обобщенном виде целевую функцию можно записать в виде (1):

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

где $x_1, x_2, \dots x_n$ — это те переменные, которые необходимо найти, а их значения вычисляются в процессе решения оптимизационной задачи; n — это суммарное количество всех переменных.

Ограничения – это разные технические, экономические, географические, экологические условия, которые необходимо учесть при решении кон-

кретной оптимизационной задачи. Эти ограничения представляют собой зависимости между различными переменными и задаются в форме равенств или неравенств (2).

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i \quad (2)$$

Граничные условия в оптимизационной задаче позволяют установить диапазон изменения переменных, которые необходимо найти (3):

$$d_i \leq x_i \leq D_i \quad (3)$$

Постановка оптимизационной задачи и выбор метода оптимизации.

Рассмотрим принцип подбора целевой функции для решения задачи оптимального выбора мощности устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ). Данная задача решается с целью уменьшения потерь активной мощности, а также обеспечения необходимого уровня напряжения в энергосистеме и повышения надежности системы энергоснабжения. При решении такой задачи необходимо учесть общие эксплуатационные расходы, которые существовали до внедрения УКРМ и сравнить их с теми, которые станут после внедрения УКРМ в распределительную сеть.

Учитывать при решении задачи оптимального выбора мощности УКРМ только затраты на потери активной мощности и эксплуатационные расходы неверно, так как необходимо дополнительно учесть стоимость обслуживания и эксплуатации сетей.

Задачу оптимального выбора мощности УКРМ можно решить методом стаи сальп [2]. Преимуществами данного оптимизационного метода являются:

- 1) сохранение наилучшего решения на протяжении всего оптимизационного алгоритма;
- 2) углубленный поиск наилучшего решения вокруг лучшего на данный момент времени решения;
- 3) невозможность заикливания алгоритма в точке локального оптимума;
- 4) небольшое количество параметров алгоритма настройки;
- 5) простота внедрения и проведения расчетов алгоритма;
- 6) возможность решения задачи с большим количеством энергообъектов.

Выбор целевой функции для заданной задачи.

Рассмотрим целевую функцию (F), которая используется в работах [3-5], а также ее составляющие.

Индекс потерь активной мощности рассчитывается по формуле (4):

$$I_{\Delta P} = \frac{\Delta P_{PG}}{\Delta P_0}, \quad (4)$$

где ΔP_{PG} - потери активной мощности в сети с РГ; ΔP_0 - потери активной мощности в той же сети, но без РГ.

Индекс отклонения напряжения можно рассчитать, как максимальное отношение падения напряжения от базисного до -го узла сети к величине напряжения сети в базисном угле (5):

$$I_{\Delta U} = \max\left(\frac{U_1 - U_i}{U_1}\right), \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_{KY}, \quad (5)$$

где N_{KY} - количество узлов сети.

Использование в целевой функции индекса отклонения напряжения ($I_{\Delta U}$) позволяет уменьшать максимальное отклонение напряжения сети относительно уровня базисного угла (U_1) для целевой функции (F) во время решения задачи оптимизации.

При размещении энергообъектов требуется, чтобы выражение, которое получают, способствовало уменьшению стоимости эксплуатации распределительной сети. Таким образом, возникает необходимость учета затрат на установку объектов РГ и дополнительный доход от РГ в целевой функции. Такую функцию выполняет индекс стоимости.

В работах [3-5] экономический эффект от установки РГ учитывается как уменьшение электропотребления из сети по увеличенной цене и покупка ее от распределенных генераторов для F .

$$Z_{PG} = (c_{\text{э}} \cdot \sum P) + (c_{\text{э},PG} \cdot P_{PG}), \quad (6)$$

где $c_{\text{э}}$ и $c_{\text{э},PG}$ — стоимость электроэнергии при покупке из централизованной сети от центра питания и от РГ [6]; P_{PG} - общая мощность РГ; $\sum P$ - общая мощность электроэнергии, потребляемой из внешней сети от подстанции.

Индекс стоимости (I_c) рассчитывается как отношение годовых затрат на покупку электроэнергии при наличии энергообъектов к значению этой величины в исходной сети.

Недостаток данного подхода в том, что кроме разницы в стоимости электроэнергии между централизованной энергосистемой и УКРМ, необходимо также учитывать стоимость установки и эксплуатации энергообъектов.

Целевая функция (F), которая использовалась в работах [3-5] является многокритериальным выражением (7), включающим величину потерь активной мощности, отклонение напряжения и стоимость электроэнергии:

$$F = \omega_1 \cdot I_{\Delta P} + \omega_2 \cdot I_{\Delta U} + \omega_3 \cdot I_c, \quad (7)$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ - весовые коэффициенты.

Таким образом, опираясь на успешный опыт использования целевой функции для решения различных оптимизационных задач, была получена целевая функция (F), позволяющая описать математическую часть решения оптимизационной задачи. Полученная целевая функция является математическим алгоритмом для оптимизационного метода стаи сальп [7], в функции которого входит решать вышепоставленную задачу с учетом большого количества входных параметров и ограничений.

Решение оптимизационной задачи

На практике оптимизационные задачи в энергетике состоят из большого количества заданных переменных, поэтому их необходимо решать при помощи соответствующих программного обеспечения.

Для рассматриваемой задачи оптимизации выбора мощности устройств компенсации реактивной мощности были искусственно заданы входные параметры распределительной сети, состоящей из 33 узлов.

Описанный оптимизационный алгоритм (метод стаи сальп) был реализован в программной среде MATLAB. Для наглядности многофакторные целевые функции принято составлять таким образом, чтобы сумма весовых коэффициентов была меньше 1 [4]. Согласно выполненным расчетам наилучшими весовыми коэффициентами стали 0,7, 0,2 и 0,1 соответственно, так как для них были получены наименьшие показатели отклонения напряжения, потерь активной мощности и стоимости эксплуатации распределительной сети. Ключевые результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оптимизация мощности устройств КРМ

Входные и полученные параметры, (ед. изм.)	До внедрения УКРМ	После внедрения УКРМ
Сумма потерь мощности, (кВт)	202,6529	134,3423
$U_{\min}$, (о.е.)	0,9131	0,9374
Оптимальная мощность УКРМ, (кВАр)	-	700, 300, 700
$\cos \varphi$	0,8493	0,9843

Суммарная мощность КУ, (кВАр)	-	1700
$I_{\Delta P}$	0,6629	
$I_{\Delta U}$	0,8484	
I_c	0,9850	
Значение целевой функции ($F.$)	0,7322	

Для получения итоговых значений программа произвела 12 итерационных циклов, что позволило уменьшить потери мощности на 33,71 %.

Заключение

Таким образом, важной задачей является не только выбор метода оптимизации для решения конкретной оптимизационной задачи, но и правильное составление целевой функции ($F.$), позволяющей решить поставленную оптимизационную задачу.

При решении задачи оптимального выбора мощности УКРМ посредством оптимизации метода стай удалось уменьшить потери активной мощности почти на 34%, а перерасчет целевой функции осуществлялся 12 раз, пока не было найдено оптимальное значение.

Список литературы:

1. В.Н. Костин. Оптимизационные задачи в электроэнергетике: учебное пособие - СПб.: СЗТУ, 2003 – 120 с.
2. Толба, М.А.Х. Развитие методов оптимизации размещения компенсирующих устройств и возобновляемой распределенной генерации в радиальных электрических сетях / дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, МЭИ, Москва, 2018.
3. Meng K., Dong Z.Y., Qiao Y. Swarm Intelligence in Power System Planning // International Journal of Clean Coal and Energy, 2013. Vol. 2, no. 1. Pp. 1–7.
4. Farhoodnea M., Mohamed A., Shareef H., Zayandehroodi H. A Comprehensive Review of Optimization Techniques Applied for Placement and Sizing of Custom Power Devices in Distribution Networks // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 2012. Vol. 88, no. 11. Pp. 261–265.
5. Injeti S.K., Kumar N.P. A Novel Approach to Identify Optimal Access Point and Capacity of Multiple DGs in a Small, Medium and Large Scale Radial Distribution Systems. Elsevier, Science Direct, Electr. Power Energy Syst. 2013. pp. 142-151.
6. Ibrahim A.M., Swief R.A. Comparison of modern heuristic algorithms for loss reduction in power distribution network equipped with renewable

energy resources // Ain Shams Engineering Journal, 2018. Vol. 9, no. 4. Pp. 3347–3358.

7. Bansal R.C. Optimization Methods for Electric Power Systems: An Overview // International Journal of Emerging Electric Power Systems, 2005. Vol. 2, no. 1. Pp. 1–23.

Информация об авторах:

Аксенова Анастасия Александровна, магистрант I курса гр. ЭПм-211, преподаватель ЦДНИТТ при КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева «УникУм», 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, a.aksenova@inbox.ru

Кузнецова Алла Валериевна, к.т.н., доцент каф. Математики «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, kuznecovaav@kuzstu.ru