

УДК.517.977

Клименко Юрий Алексеевич, Преображенский Андрей Петрович

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧАСТКОМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В данной статье предлагается новый подход к разработке, проектированию и эксплуатации электрических сетей низкого напряжения энергетическими компаниями путем разработки алгоритма оптимизации распределения электрических нагрузок на определенном участке сетевого хозяйства при условии

обеспечения контроля параметров электрической энергии, влияющих на ее качественные показатели. Приведено описание задачи распределения электрических мощностей в сети равномерным образом. Представлена схема системы управления этими процессами. Рассмотрены различные математические методы достижения цели при разработке оптимизационной модели и алгоритма выравнивания нагрузок по фазам путем применения итерационной вариационной процедуры альтернативной оптимизации. В результате проведенного исследования рассмотрена возможность оптимизации энергетических систем с использованием метода роя частиц и приведен пример алгоритма оптимизации.

Распределительная сеть; алгоритм; оптимизация; электроэнергия; распределение; нагрузка; выравнивание; модель.

Klimenko Yuri Alekseevich, Preobrazhensky Andrei Petrovich

DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR CONTROL OF A DISTRIBUTED ELECTRICAL NETWORK SECTION

This article proposes a new approach to the development, design and operation of low-voltage electrical networks by energy companies by developing an algorithm for optimizing the distribution of electrical loads in a certain area of the network, subject to control of electrical energy parameters that affect its quality indicators. A description of the problem of distributing electrical power in a network in a uniform manner is given. A diagram of the control system for these processes is presented. Various mathematical methods for achieving the goal are considered when developing an optimization model and an algorithm for leveling loads across phases by applying an iterative variational alternative optimization procedure. As a result of the study, the possibility of optimizing energy systems using the particle swarm method was considered and an example of an optimization algorithm was given.

Distribution network; algorithm; optimization; electricity; distribution; load; alignment; model.

Введение

В больших электрических сетях разработчики стремятся к тому, чтобы обеспечивать соответствующий уровень качества электрической энергии, которая будет поставляться к различным потребителям. При этом интерес представляют сети с относительно небольшими значениями напряжений. При этом необходимо учитывать, что значения потерь электроэнер-

гии могут быть достаточно большими [1]. Это будет оказывать влияние на степень энергетической эффективности в разных компаниях.

Сетевая структура может быть модифицирована на основе различных научных подходов и разработок. Тогда между потребителями будет достигаться согласование, более простым образом будет осуществляться процесс модернизации технологического оборудования [2].

Целью данной работы является проведение разработки алгоритма для того, чтобы проводить оптимизацию распределения электрической энергии на заданных участках сетей, а также обеспечивать соответствующий контроль и управление качеством [3].

Описание задачи по распределению электрической энергии на участке распределенной электрической сети.

Мы будем рассматривать участок распределительной электрической сети. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы было обеспечено распределение равномерным образом нагрузок относительно трех фаз [4]. Сами нагрузки будут однофазными. Для этого необходимо создать соответствующий алгоритм. Он будет применяться в системе управления. За счет этого будут повышаться энергетические характеристики сетей. На рис. приведена схема анализируемого участка электрической сети (рис. 1). При этом выделены модули, на основе которых осуществляется процесс управления.

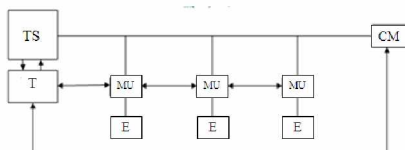


Рис. 1. Схема системы управления участком распределительной электрической сети для обеспечения равномерности нагрузок по фазам сети

Их обозначения следующие. TS - комплектная трансформаторная подстанция; Т – управляющий трансформаторный комплекс, СМ - модуль, требующийся для управления на удалении, при этом используются результаты множества измерений; МУ – модуль, предназначенный для управления процессами использования электроэнергии различных потребителей, при этом могут применяться процессы подстройки параметров; Е – электрооборудование, которое будет размещаться на базе потребителей.

TS обычно размещают на подстанциях. При этом она обычно применяется для осуществления контроля по характеристикам качества электрической энергии. Также данные собираются, обрабатываются и передаются в Т.

MU применяют для того, чтобы в анализируемой трехфазной сети было обеспечено равномерное распределение по однофазным нагрузкам.

Опишем основные принципы работы такого модуля [5]. Каждый из потребителей электрической энергии имеет соединение с MU.

Электропитание будет подаваться к входным контактам относительно фаз.

Характеристики качества электрической энергии внутри распределительных сетей определяется тем, какие будут соответствующие параметры. Они влияют на различные технологические процессы. При этом сами технологические процессы направлены на то, чтобы в электрических сетях были определены соответствующие значения по показателям качества [6]. При этом они будут формироваться исходя из соответствующих нормативных документов.

Чтобы достичь требуемых значений параметров могут в ходе управления применяться различные математические методы. Среди них можно указать:

- методы оптимизации;
- методы, в которых учитываются корреляционные зависимости между различными параметрами в сети;
- подходы, базирующиеся на адаптивном управлении.

Если рассматривать технологические процессы в распределенных электрических сетях, тогда в алгоритмах управления необходимо, чтобы учитывались неконтролируемые параметры [7].

В ходе построения модели технологического процесса необходимо описывать его отдельные операции.

При управлении в технологических процессах возникают возможности для того, чтобы по режимам работы технологического оборудования были сформированы алгоритмы по выбору и коррекции режимов их функционирования. [8]. Вследствие их использования качество электрической энергии в распределенных электрических сетях будет улучшено. Кроме того, будет происходить уменьшение значений потерь.

Разработка оптимизационной модели и алгоритма выравнивания нагрузок в участке электрической сети

В качестве основного подхода для обеспечения равномерности нагрузок в распределенных энергетических сетях был выбран оптимизационный подход. Была применена итерационная вариационная процедура многоальтернативной оптимизации [9].

Оптимизируемая функция F показывала степень неравномерности распределения нагрузок между фазами.

Для каждого k -го ($k = 1, 2, \dots$) шага осуществлялись процедуры по поиску вариаций подобной функции F относительно переменной x_j :

$$\Delta_j^k F = F(\tilde{x}^k / x_j = 0) - F(\tilde{x}^k / x_j = 1), \quad (1)$$

здесь $\tilde{x}^k = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_\pi, \dots, \tilde{x}_j)$ $\pi = \overline{1, J}$, $\pi \neq j$ - вектор, иллюстрирующий случайные реализации альтернативных переменных. Они в себя включали значения мощностей и напряжений, соответствующим различным потребителям. Для этих переменных мы рассматривали распределение

$$p_{x_\pi} = p(\tilde{x}_\pi = 1), \quad q_{x_\pi} = p(\tilde{x}_\pi = 0), \quad p_{x_\pi} + q_{x_\pi} = 1. \quad (2)$$

При этом вероятность, относящаяся к случайному событию будет обозначаться как $p(\cdot)$.

Оптимальное управление включает в себя несколько этапов.

Прежде всего, указанные вариации определялись на базе того, что проводился натурный эксперимент.

Результаты этих экспериментов были использованы для того, чтобы сформировать имитационную модель. Параметры модели были определены при помощи значений, которые относились к значениям альтернативных переменных x_j , $j = \overline{1, J}$.

Чтобы для альтернативной переменной x_π определить ее значение, которое является случайным, необходимо опираться на выражение

$$\tilde{x}_\pi = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{x_\pi} > \xi \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (3)$$

В указанном выражении ξ - рассматривается в виде дискретной случайной величины. Распределение ее является равномерным и относится к интервалу [10]. После этого начинается итерационный процесс. Он содержит в себе несколько этапов. Первый этап, когда $k=1$, связан с тем, что будет задаваться значение $p_{x_\pi}^1$. Исследователи во многих случаях рассматривают случай $p_{x_\pi}^1 = 0.5$, при этом могут применяться на практике и другие значения. На следующих этапах относительно некоторой j -ой переменной будет рассматриваться совокупность таких реализаций. Полученное мно-

жество значений применяется для того, чтобы величина вероятности p_{x_j} была спрогнозирована с точки зрения своего роста или убывания. При этом вычисления относятся к k -му шагу итерации. Шаг \tilde{B}_j является случайным. Он находится в пределах границ 1 и 0. Само случайное распределение определяется такими параметрами:

$$p_{Bjn} = p(\tilde{B}_j = 1), \quad q_{Bjn} = p(\tilde{B}_j = 0) = 1 - p_{Bjn}. \quad (4)$$

Указанная реализация (3) применяется несколько раз. При этом в данной работе мы опираемся на созданную процедуру, связанную с управлением распределением (4). Это управление базировалось на том, что отслеживались значения вариации. Кроме того, учитывались параметры, относящиеся к распределению случайного шага \tilde{c}_j :

$$p_{cjn} = p(\tilde{c}_j = 1), \quad q_{cjn} = p(\tilde{c}_j = 0) = 1 - p_{cjn}. \quad (5)$$

Существуют неявные зависимости среди параметров. В этой связи необходимо, чтобы величина вероятности p_{Bjn} была увеличена. Это связано с тем, что в ходе подобных процедур величина p_{x_j} будет более существенным образом изменяться. Это относится к варианту, когда по реализациям вариаций $F_{\Delta_{1jF}}$ и $F_{\Delta_{2jF}}$ мы будем наблюдать совпадение в знаках. Величина вероятности p_{Bjn} будет уменьшена, если знаки будут разными. Тогда мы предлагаем подход, на основе которого определения p_{Bjn} в ходе $(k + 1)$ -й итерации:

$$p_{Bjn}^{k+1} = p_{Bjn}^k + p_{Bj}^{k+1} \times (\Delta_{1j}^k F_{\Delta_{2j}^k F}) - p_{Bj}^{k+1} \times (-\Delta_{1j}^k F_{\Delta_{2j}^k F}). \quad (6)$$

В указанном выражении величину p_{Bjn}^{k+1} мы будем определять, рассматривая то, какая будет сила связи между прогнозируемой величиной в (6).

Уменьшение значения вероятности p_{x_j} будет наблюдаться для случая, когда в (2) мы будем наблюдать отрицательные значения. Чтобы выражение (8) использовалось более эффективным способом, требуется, чтобы переменные x_j не просто перебирались. Важно, чтобы их выбор был управляемым. При этом применяется третья реализация по случайным величинам. Мы исходим из предположения того, что перебора осуществляется последовательным образом. При этом вероятности с точки зрения поиска переменных применяются одинаковым способом. Тогда в рамках первого шага:

$$p_j^1 = \frac{1}{J} \forall j = \overline{1, J}, \quad (7)$$

При этом, когда ведется подобный поиск, тогда необходимо стремиться к росту вероятности p_j . Это соответствует случаю, когда необходимо увеличить, когда в величине (2) при ее реализациях имеем одинаковые знаки. Процесс уменьшения будет при различных знаках.

Процедура изменения базируется на том, что привлекается соответствующий случайный шаг \tilde{d} . Для него будет некоторое распределение:

$$p_d = p(\tilde{d} = 1), \quad q_d = p(\tilde{d} = 0) = 1 - p_d. \quad (8)$$

В итоге мы получаем вариационную процедуру. Для того, чтобы ее реализовать, необходимо, чтобы шагов K по вычисления было довольно много.

Заключение

В работе рассмотрены возможности оптимизации сложных распределительных энергетических систем. Методика оптимизации включает в себя подход, основанный на методе роя частиц. Приведен пример использования предлагаемого алгоритма, для повышения равномерности нагрузок среди различных потребителей электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клименко Ю.А., Преображенский А.П.* Разработка устройства измерения параметров электрической сети / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский. // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2020. № 3. С. 152.
2. *Тульский В.Н.* Управление качеством электроэнергии в электрических сетях / В.Н. Тульский, И.И. Карташев, М.Г. Симуткин, Х.Б. Назиров, Н.М. Кузнецов // Горный журнал. – 2012. – №12. – С. 52-55.
3. Управление качеством электрической энергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2006. – 320 с.
4. *Савина Н.В.* Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях: моногр. / Н.В. Савина; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Изд-во Наука, 2008. – 228 с.
5. *Клименко Ю.А.* Адаптивная система управления для устранения несимметричности нагрузки фаз в трёхфазной сети 0,4 кВ./ Клименко Ю.А., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 4 (27). С. 9-10.
6. *Александров А. Г.* Оптимальные и адаптивные системы /А. Г. Александров. – М.:Высшая школа, 2003.–287 с.

7. *Klimenko Y., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich I.Y.* Optimization of technological process of monitoring of power quality in distribution networks 10/0,4 kV. / Klimenko Y., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich I.Y. // В сборнике: Proceedings - 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2019 2019. С. 422-427.

8. *Дед А.В.* Сравнение методов расчета коэффициентов учета несимметрии распределения нагрузок при оценке потерь мощности./ Дед А.В., Паршукова А.В.// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9 (часть 2) – С. 221-225.

9. *Клименко Ю.А.* Об оценке потерь электроэнергии в распределительных сетях 10/0,4 кВ / Клименко Ю.А., Преображенский А.П. // Актуальные вопросы энергетики. 2019. № 1, С. 6-15.

10. *Жежеленко И.В.* Оценка надёжности электрооборудования при пониженном качестве электроэнергии / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, А.В. Горпинич // Вести в электроэнергетике. – 2006. – №6. – С. 13-17.

Клименко Юрий Алексеевич, преподаватель, ФГКВБОУ ВО ВУНЦ "Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" 394064 г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А, Телефон: +7 (910) 346-27-10, E-mail: klm71165@mail.ru.

Преображенский Андрей Петрович, профессор, доктор технических наук, доцент, "Воронежский институт высоких технологий"-АНОО ВО. 394043 г. Воронеж, ул. Ленина, д. 73А, Телефон: +7 (910) 243-87-53, E-mail: app@vivt.ru.

Klimenko Yuri Alekseevich, teacher, FGKVOU VO VUNTS "Air Force Academy named after N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin".

Preobrazhensky Andrei Petrovich, Professor, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, "Voronezh Institute of High Technologies" -ANOO VO.