

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИАГЕНТНОГО УПРАВЛІННЯ ОПТИМАЛЬНИМ РОЗМИКАННЯМ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Досліджено можливості формування мультиагентної системи управління конфігурацією розподільних електричних мереж в режимі реального часу. Розроблений математичний апарат підтримки рішень локальної системи управління оптимальним розмиканням розподільних електричних мереж, які дозволяють адаптувати конфігурацію електричної мережі відповідно до поточних умов функціонування електричної системи.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, оптимальне управління, мультиагентна система управління, прийняття рішень в режимі реального часу.

Вступ

Забезпечення надійного та якісного електропостачання в розподільних електричних мережах напругою 6–35 кВ на сучасному етапі вимагає створення «розумних» електричних мереж (Smart Grid), здатних адаптувати свої параметри до поточних умов роботи наявних джерел живлення, під'єднаних споживачів тощо [1]. Водночас вирішення проблеми інтелектуалізації управління ускладнено великою розмірністю та розгалуженістю розподільної мережі, низькою спостереженістю її режиму, обмеженим набором заходів адаптивного управління.

Відповідно до чинних «Норм технологічного проектування електричних мереж» розподільні електричні мережі за своєю структурою є замкненими, проте їх експлуатують за розімкненими схемами, що зумовлено вимогами зниження струмів короткого замкнення та однофазного замикання на землю, необхідністю розривання контурів протікання зрівнювальних струмів в неоднорідних мережах, зменшенням кількості аварійних відключень тощо. Загалом задача вибору місць розмикання кільцевих та петлевих схем розподільних електричних мереж є складною багатокритеріальною задачею, цільова функція якої має враховувати обмеження щодо показників надійності електропостачання, якості електричної енергії на затискачах споживачів, втрати енергії на її транспортування тощо. Слід зазначити, що на етапі експлуатації розподільних електричних мереж на передові позиції виходить критерій економічності режиму системи електропостачання. Справа в тому, що зміна положення резервної перемички в робочій схемі електричної мережі майже не впливає на показники надійності електропостачання, а підвищення економічності режиму, зазвичай, зумовлює одночасне покращення якості електричної енергії за напругою на затискачах споживачів.

Для реалізації економічних режимів розподільних електричних систем напругою 6–35 кВ персонал підприємств щорічно, або декілька разів на рік проводить оптимізаційні розрахунки та розробляє нормальну комутаційну схему експлуатації мережі. Реалізація таких заходів дозволяє оптимізувати втрати активної потужності в розподільній електричній мережі для усередненого режиму її роботи. Проте, відхилення поточного режиму електричної мережі від усередненого знижує економічність режиму та зумовлює додаткові втрати активної потужності в мережі. Відомо, що втрати енергії в розподільних електричних мережах України складають 10 % та вище, що значно більше втрат в магістральних електричних мережах вищих класів номінальної напруги. Очевидно, оптимальне оперативне управління розмиканням кільцевих схем розподільних мереж відповідно до поточних умов роботи електричної системи дозволить зменшити витрати ресурсів на покриття втрат електричної енергії.

Отже, впровадження концепції SmartGrid в сучасних розподільних електричних мережах зумовлює необхідність вирішення проблеми зміни топології робочої схеми мережі в режимі реального часу відповідно до поточних умов режиму передавання електричної енергії.

Матеріали досліджень

Оптимізаційна задача вибору місць розмикання робочих схем електричних мереж відома давно. Відомі методи розв'язання такої задачі поділяють на дві групи. До першої групи відносять класичні методи, в яких пошук оптимального рішення починають з повністю замкненої робочої схеми, розмикаючи її в точках поточкорозділу для оптимального режиму складнозамкненої схеми [2, 3]. В методах другої групи розв'язання задачі починають з деякого початкового стану розімкненої схеми, організовуючи направлений пошук оптимального рішення. Нову точку розмикання визначають виходячи з умови зниження втрат електричної енергії в мережі [4—8].

Відомі методи оптимізації розмикання електричних мереж передбачають централізований підхід до виконання відповідних систем управління, що практично унеможливує здійснення оптимальних комутаційних перемикачів в режимі реального часу через надвеликі обсяги інформації, яка має надходити до центрів управління, дефіцит часу для прийняття рішень тощо. Доцільно використовувати альтернативний децентралізований підхід, який базується на принципах мультиагентного управління розподільною електричною мережею, що проілюстровано на рис. 1 [9—11]. Тут управління оптимальними комутаційними перемикачами здійснюється окремими агентами, яким для прийняття рішень достатньо збирати режимну інформацію тільки з суміжної мережі та обмінюватися інформацією тільки з сусідніми агентами.

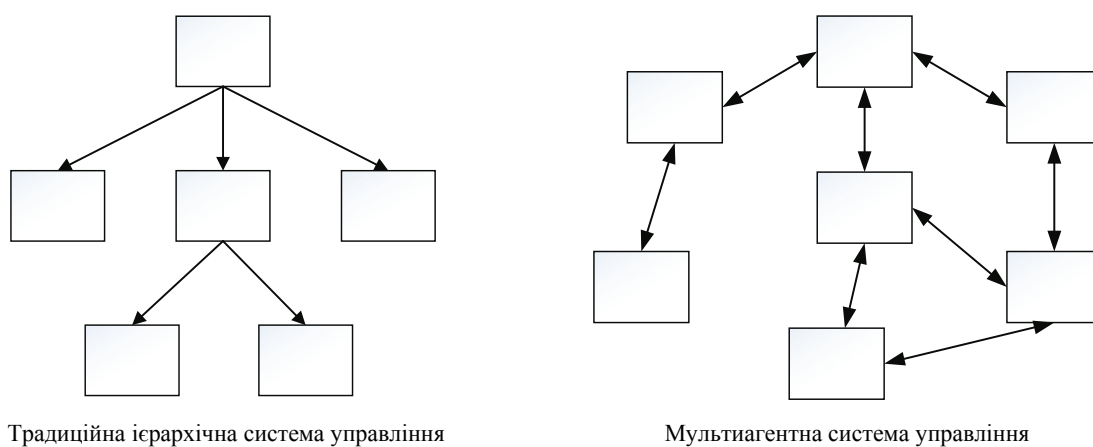


Рис. 1. Традиційна ієрархічна та мультиагентна системи управління

Відомі основні вимоги до формування мультиагентної системи управління оптимальними оперативними перемикачними конфігурації розподільної мережі:

- 1) локальність контролю режиму (агент збирає інформацію про режимні параметри тільки суміжної з ним частини електричної мережі);
- 2) локальність обміну інформації (агент обмінюється інформацією тільки із суміжними агентами);
- 3) мінімальний обмін інформацією між агентами;
- 4) непогіршення функціональності системи електропостачання внаслідок прийняття рішень щодо переконфігурації розподільної мережі окремим агентом.

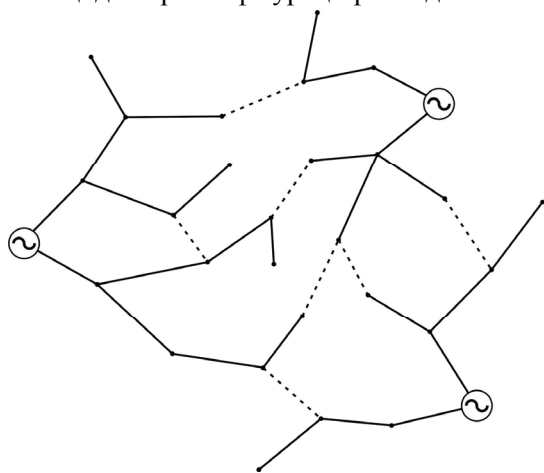


Рис. 2. Схема розподільної електричної мережі

Для формування такої мультиагентної системи управління розроблено математичний апарат підтримки рішень з оптимальної оперативної перекомутації робочої схеми, яке забезпечить мінімум втрат активної потужності для поточного режиму навантажень розподільної мережі.

Нехай задана деяка вихідна схема розподільної електричної мережі з відомими положеннями місць розмикання контурів, як показано на рис. 2. Розімкнені ділянки показано пунктирними лініями. Замикання будь-якого комутаційного апарата приведе до утворення кільцевої схеми, отже відносно будь-якого місця розмикання робочу схему розподільної мережі можна представити лінією з двобічним живленням, наприклад, як на рис. 3.

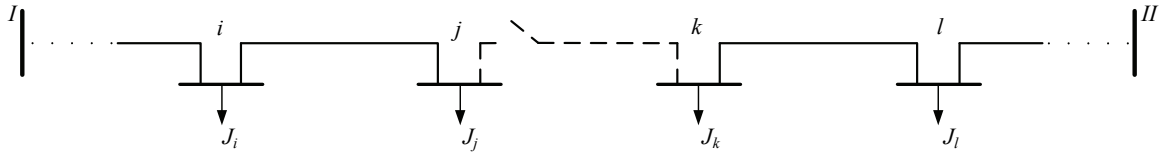


Рис. 3. Фрагмент секціонованої лінії з двобічним живленням

Нехай, відповідно до поточного способу секціонування лінії з двобічним живленням, споживачі ТП i та j отримують живлення від джерела I , а ТП k та l — від джерела II . Перенесення місця розмикання схеми на один крок визначає переведення живлення споживачів відповідної трансформаторної підстанції з одного фідера на інший. Реконфігурація робочої схеми, що полягає в переведенні живлення споживачів j -ї ТП до джерела II , очевидно, приводить до збільшення профілю напруги з боку джерела I і, одночасно, до зменшення профілю з боку джерела II . Очевидно, що втрати активної потужності в розподільній мережі будуть меншими, якщо профіль напруги в пунктах схеми буде найвищим серед всіх можливих способів розмикання робочої схеми. Тобто реконфігурація схеми буде доцільною у тому разі, коли збільшення профілю з боку джерела I буде більшим, ніж його зменшення з боку джерела II , і в цілому по схемі профіль напруги збільшиться. Розглянемо цей підхід детальніше.

Можна показати, що оптимальне положення вимкненої ділянки лінії з двобічним живленням характеризується найменшою можливою різницею напруг пунктів, які обмежують цю ділянку

$$U_j - U_k = \min.$$

Переведення живлення j -ї ТП на джерело II супроводжується збільшенням напруги на шинах i -ї ТП відповідно до закону Ома

$$U'_i = U_i + J_j Z_{I-j},$$

де U_i — напруга на шинах i -ї ТП у вихідній схемі (до здійснення оперативних перемикачів); J_j — струм навантаження j -ї ТП; Z_{I-j} — сумарний опір ділянок лінії між джерелом I та j -ю ТП.

Напруга на шинах j -ї ТП після здійснення оперативних перемикачів становитиме

$$U'_j = U_k - J_j Z_{II-j},$$

де U_k — напруга на шинах k -ї ТП у вихідній схемі; Z_{II-j} — сумарний опір ділянок лінії між джерелом II та j -м пунктом.

Різниця напруг пунктів, що обмежують вимкнену ділянку після здійснення перемикачів, становитиме

$$U'_i - U'_j = (U_i + J_j Z_{I-j}) - (U_k - J_j Z_{II-j}) = U_i - U_k + J_j Z_{I-II}.$$

Оперативні перемикачання будуть доцільними тоді, коли задовольнятиметься умова

$$U'_i - U'_j < U_j - U_k;$$

$$U_i - U_k + J_j Z_{I-II} < U_j - U_k$$

або

$$U_j - U_i < J_j Z_{I-II}. \quad (1)$$

Аналогічний критерій можна сформулювати для обґрунтування переведення живлення споживачів k -ї ТП до живлення від джерела I :

$$U_k - U_l < J_k Z_{I-II}. \quad (2)$$

Таким чином, оперативна реконфігурація робочої схеми розподільчої електричної мережі полягає у постійній перевірці виконання умов (1) та (2) на підставі даних моніторингу струмів навантаження ТП, які обмежують вимкнену ділянку лінії з двобічним живленням, а також режиму напруги в цих пунктах та суміжних. У разі виконання цих умов здійснюють оперативне перемикачання конфігурації робочої схеми.

Очевидно, що для реалізації оперативних перемикачів за наведеною схемою агентам управління достатньо отримувати оперативну інформацію про режим напруги та струм навантаження відповідного пункту схеми, а також режим напруги суміжного пункту, тобто розроблена математична мо-

дель задовольняє вимогам, які висувають до мультиагентних систем управління. Це визначає можливість організації мультиагентної системи управління оптимальним розмиканням робочих схем розподільних мереж в режимі реального часу відповідно до поточних умов функціонування системи електропостачання.

Висновки

1. Вирішення проблеми інтелектуалізації управління ускладнено великою розмірністю та розгалуженістю розподільної мережі, низькою спостереженістю її режиму, обмеженим набором заходів адаптивного управління.

2. Впровадження концепції SmartGrid в сучасних розподільних електричних мережах зумовлює необхідність вирішення проблеми зміни топології робочої схеми мережі в режимі реального часу відповідно до поточних умов режиму передавання електричної енергії.

3. Відомі методи оптимізації розмикання електричних мереж передбачають централізований підхід до виконання відповідних систем управління, що практично унеможливує здійснення оптимальних комутаційних перемикань в режимі реального часу.

4. Доцільно використовувати децентралізований підхід, який базується на принципах мультиагентного управління розподільною електричною мережею.

5. Розроблено математичний апарат підтримки рішень мультиагентною системою управління оперативною реконфігурацією розподільних електричних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стогній Б. С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. — 2010. — № 6. — С. 44—50.
2. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей. / В. Г. Холмский. — М.: Высшая школа, 1975. — 280 с.
3. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии / Ю. С. Железко. — М.: ЭНАС, 2009. — 456 с.
4. Булатов Б. Г. Алгоритмы оптимальной реконфигурации распределительной сети / Б. Г. Булатов, В. В. Тарасенко. // Вестник ЮУрГУ. — 2013. — № 2. — С. 14—18. — (Энергетика).
5. McDermott T. E. A Heuristic Nonlinear Constructive Method for Electric Power Distribution System Reconfiguration / Thomas E. McDermott. — Blacksburg, Virginia, 1998. — 66 p.
6. Кацадзе Т. Л. Применение аппарата генетических алгоритмов для принятия проектных решений по развитию электроэнергетических систем / Т. Л. Кацадзе, В. Н. Сулейманов, В. А. Баженов // Энергетика: економіка, технології, екологія. — 2013. — № 2. — С. 58 — 65.
7. Методические принципы определения оптимальных мест размыкания распределительных электрических сетей с учётом питающей сети 110 кВ и выше / М. И. Фурсанов, А. А. Золотой, В. В. Макаревич, А. Н. Муха // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. — 2008. — № 6. — С. 23—32.
8. Multiobjective Optimization Algorithm for Switch Placement in Radial Power Distribution Networks / [J. R. Bezerra, G. C. Barroso, R. S. Leão, R. F. Sampaio] // IEEE Transactions on Power Delivery. — 2015. — Vol. 30, № 2. — P. 545—552.
9. Інформаційне та нормативне забезпечення організації мультиагентного керування електроенергетичної системи із активним споживачем / [О. В. Кириленко, С. П. Денисюк, С. Є. Танкевич, Т. М. Базюк] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2016. — № 1. — С. 29—34.
10. Manickavasagam K. Intelligent Energy Control Center for Distributed Generators Using Multi-Agent System / Krishnan Manickavasagam // IEEE Transactions on Power Systems. — 2015. — Vol. 30, № 5. — P. 2442 — 2449.
11. Фишов А. Г. Реконфигурация электрических сетей с распределённой генерацией и мультиагентным управлением / А. Г. Фишов, Б. Б. Мукатов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2015. — №9. — С. 143—152.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.10.2017

Кацадзе Теймураз Луарсабович — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних мереж та систем, e-mail: teymuraz@ukr.net .

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

T. L. Katsadze¹

Organization Principles of Multi-Agent Control of Optimum Disposable Electric Power Distribution Systems

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sykorsky Kyiv Polytechnic Institute»

The possibilities of forming a multi-agent control system for the distribution of distributive electrical networks in real-time are investigated. The mathematical apparatus for supporting the decisions of the local control system for optimal switching off of distributive electrical networks is developed. The mathematical model allows adapting the configuration of the electrical network in accordance with the current conditions of the operation of the electrical system.

Keywords: power distribution network, optimal control, multi-agent control system, making decisions in real time.

Katsadze Teimuraz L. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Electric Networks and Systems, e-mail: teymuraz@ukr.net

Т. Л. Кацадзе¹

Принципы организации мультиагентного управления оптимальным размыканием распределительных электрических сетей

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Исследованы возможности формирования мультиагентной системы управления конфигурацией распределительных электрических сетей в режиме реального времени. Разработан математический аппарат поддержки решений локальной системы управления оптимальным размыканием распределительных электрических сетей, позволяющий адаптировать конфигурацию электрической сети в соответствии с текущими условиями функционирования электрической системы.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, оптимальное управление, мультиагентная система управления, принятие решений в режиме реального времени.

Кацадзе Теймураз Луарсабович — канд. техн. наук, доцент кафедры электрических сетей и систем, e-mail: teymuraz@ukr.net