

О. С. Яндульський¹
А. Б. Нестерко¹
Г. О. Труніна¹
О. В. Тимохін¹

ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ СПРАЦЮВАНЬ СИСТЕМИ РПН ТРАНСФОРМАТОРА В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ

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

Змінний характер джерел розосередженого генерування приводить до збільшення коливань напруги в електричній мережі, що спричиняє збільшення кількості спрацювань системи РПН, і, як наслідок, до скорочення її терміну роботи. Розроблено систему координованого керування різнотипними засобами регулювання напруги із залученням джерел розосередженого генерування, що мають здатність регулювати напругу в вузлі підключення. Координування базується на визначенні коефіцієнтів чутливості напруги у вузлах електричної мережі відносно зміни реактивної потужності засобів регулювання, що входять до складу системи координованого керування. Такий підхід дозволяє врахувати змінний характер джерел розосередженого генерування, знизити кількість спрацювань системи РПН трансформатора при регулюванні напруги в розподільній електричній мережі, а також підвищити вихідну активну потужність джерел розосередженого генерування.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, джерело розосередженого генерування, синхронний компенсатор, РПН трансформатора, регулювання напруги, втрати потужності.

Вступ

Останнім часом спостерігається значне зростання частки джерел розосередженого генерування (ДРГ) на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Таким чином, збільшується їх вплив на роботу розподільних електричних мереж (РЕМ), зокрема на напругу [1]. У разі зміни конфігурації та навантаження електричної мережі за наявності ДРГ, що підключаються зі сторони споживача, в РЕМ може змінюватись величина перетоків активної потужності (зменшуються або змінюють свій напрям), що, у свою чергу, може призводити до підвищення рівнів напруги у вузлах мережі [2]. Це може привести до необхідності зниження потужності генерування ДРГ. Водночас регулювання напруги в РЕМ ускладнюється змінністю генерування ДРГ на основі ВДЕ.

Для зменшення рівнів напруги у вузлах мережі з метою підвищення потужності генерування ДРГ, використовують засоби компенсації реактивної потужності, що, у свою чергу, може супроводжуватись збільшенням втрат активної потужності в мережі та характеризується високою вартістю обладнання, але при цьому забезпечує утримання напруги в допустимих межах. Також використовуються системи регулювання положення РПН трансформаторів, але за змінного характеру генерування ДРГ збільшується кількість спрацювань системи РПН, що приводить до зменшення її терміну служби. ДРГ має здатність самостійно регулювати напругу в вузлі підключення до мережі. Для цього ДРГ може знижувати свою активну потужність або регулювати коефіцієнт потужності, що призводить до споживання реактивної потужності і тим самим викликає збільшення втрат активної потужності в РЕМ. Разом з тим, поєднання роботи ДРГ та декількох різнотипних засобів регулювання напруги дозволить уникнути низки недоліків роботи окремо взятих засобів регулювання напруги (у тому числі, до зменшення кількості спрацювань системи РПН трансформаторів) та максимально збільшити потужність генерування ДРГ.

Питання координованого керування різнотипними засобами регулювання напруги в РЕМ за наявності ДРГ розглянуті у низці вітчизняних та зарубіжних робіт. Так, в [3, 4] пропонується координувати роботу ДРГ з перемиканням положення системи РПН трансформатора, що дозволяє зни-

зити втрати активної потужності в мережі та дає можливість ДРГ збільшити потужність генерування. Головний недолік розглянутого підходу полягає у збільшенні кількості спрацювань системи РПН, що, як зазначалося раніше, призводить до зменшення терміну служби РПН.

В [5] пропонується поєднання роботи ДРГ та БСК з регулюванням положення системи РПН, причому керування відбувається на основі прогнозування зміни перетоків потужності в електричній мережі. Такий підхід дозволяє зменшити втрати активної потужності в РЕМ, але водночас, не вирішує питання зменшення кількості спрацювань положення системи РПН через неможливість БСК знижувати напругу у вузлах мережі.

Враховуючи результати аналізу, пропонується виконувати координування роботи різнотипних засобів регулювання напруги на основі теорії чутливості, що передбачає визначення коефіцієнтів чутливості [6] за напрузою відносно зміни реактивної потужності пристроїв компенсації, і таким чином, дозволяє встановити яким саме пристроєм слід регулювати напругу у конкретному вузлі мережі.

Мета роботи — розробити підхід до регулювання напруги в РЕМ з ДРГ, який передбачає координоване керування різнотипними засобами регулювання на основі теорії чутливості, а також враховує здатність ДРГ регулювати напругу у вузлі підключення та дозволяє зменшити кількість спрацювань систем РПН трансформаторів.

Результати дослідження

Регулятор координованого керування СК пропонується побудувати таким чином, щоб врахувати коефіцієнти чутливості зміни напруги у вузлах РЕМ [7] відносно зміни реактивної потужності СК. Таким чином, для регулювання напруги у конкретному вузлі мережі обирається той СК, який має найбільший вплив на напругу.

$$dU_i/dQ_{CKn} = [dU_1/dQ_{CKn} \quad dU_2/dQ_{CKn} \quad \dots \quad dU_{ДРГ}/dQ_{CKn} \quad \dots \quad dU_m/dQ_{CKn}], \quad (1)$$

де i — номер вузла мережі; m — кількість вузлів, що відслідковуються системою координованого регулювання; n — номер СК.

Модель розробленого регулятора координованої роботи СК показана на рис. 1. Значення напруг у вузлах РЕМ надходять у блоки «diff», де визначається їх відхилення від номінального значення напруги ($\leq 0,05$). На основі відомих коефіцієнтів чутливості та значень відхилень напруги визначається, яким саме СК та на яку величину слід виконувати регулювання.

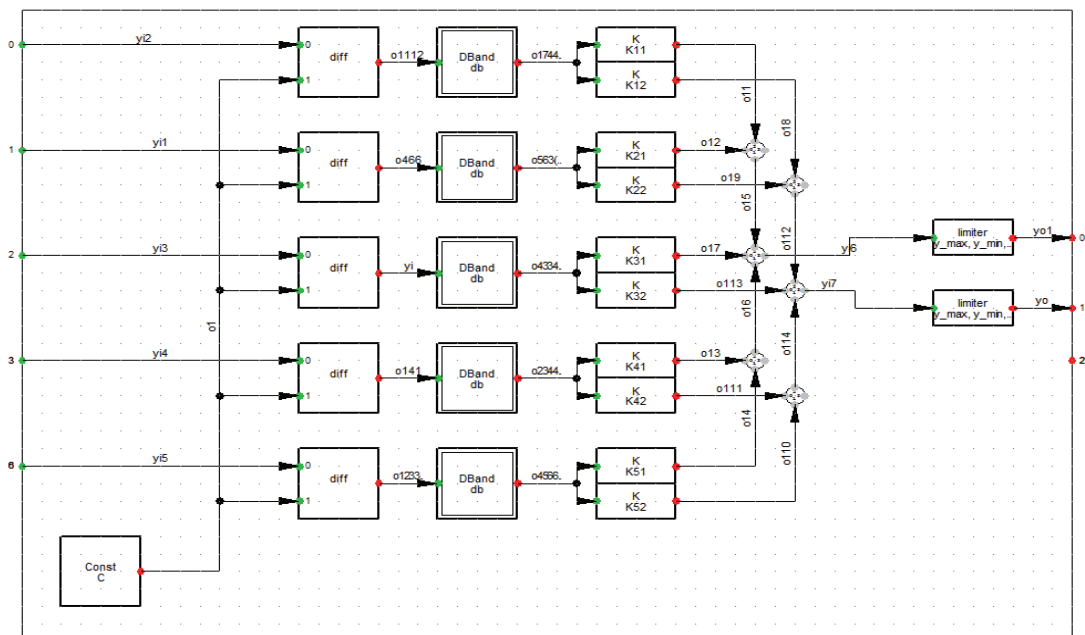


Рис. 1. Модель регулятора координованої роботи СК

Дослідження проводилися для типової розподільної електричної мережі 150/35/10 кВ (на прикладі Молочанської РЕМ (рис. 2) в програмному забезпеченні PowerFactory. Координована система регулювання напруги складається з двох СК типу КСВБ-50-11 потужністю 50 МВА, систем РПН

на трьох трансформаторах (діапазон регулювання двох систем РПН ± 6 , третьої ± 12 положень), та двох залучених до регулювання ДРГ.

Проведено дослідження координованої роботи ДРГ з різнотипними засобами регулювання:

1. Робота ДРГ в режимі максимального генерування у поєднанні з роботою СК та РПН трансформаторів;
2. Робота ДРГ в режимі регулювання напруги у поєднанні з роботою СК та РПН трансформаторів;
3. Робота ДРГ в режимі регулювання коефіцієнта потужності у поєднанні з роботою СК та РПН трансформаторів.

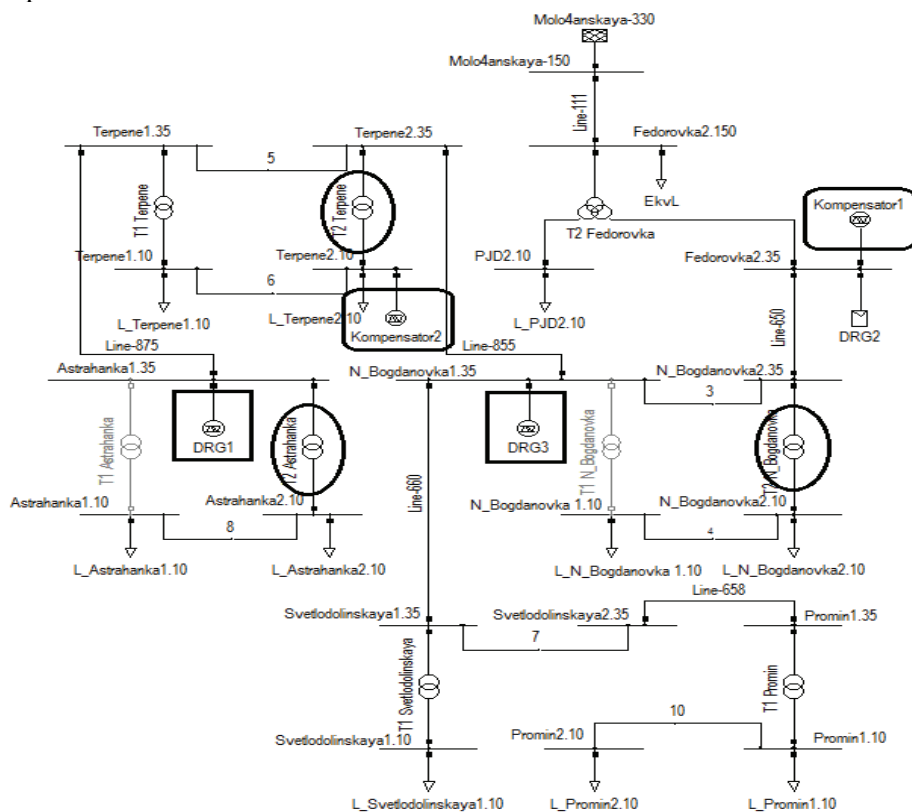


Рис. 2. Модель типової розподільної електричної мережі 150/35/10 кВ (на прикладі Молочанської РЕМ)

Зміну потужності ДРГ у випадках їх залучення до регулювання напруги показано на рис. 3.

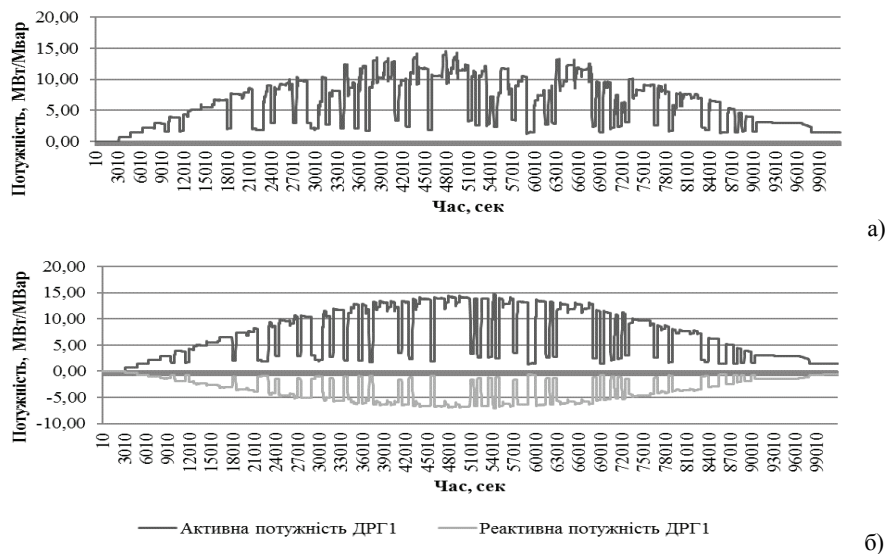


Рис. 3. Зміна потужності ДРГ в режимах регулювання напруги або $\cos \varphi$ у поєднанні з іншими засобами регулювання напруги: а) СК+РПН+ДРГ в режимі регулювання напруги; б) СК+РПН+ДРГ в режимі регулювання $\cos \varphi$

Сумарну кількість спрацювань систем РПН трьох трансформаторів в різних випадках показано

на рис. 4. Коли до системи координованого регулювання напруги долучається ДРГ в режимі регулювання напруги або $\cos \varphi = \text{const}$, то кількість спрацювань системи РПН зменшується в 8—9 разів. При цьому напруги у вузлах РЕМ змінюються в допустимих межах.

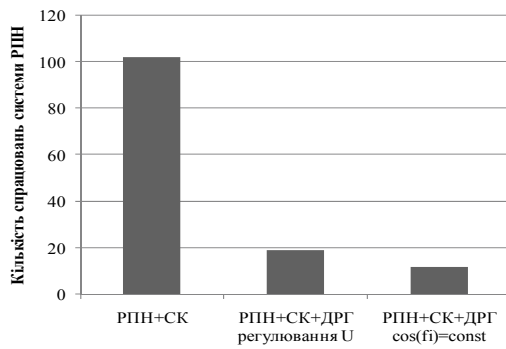


Рис. 4. Сумарна кількість спрацювань систем РПН

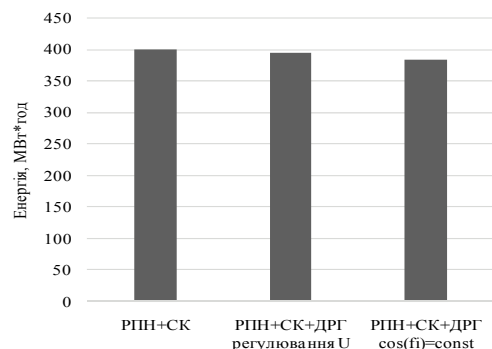


Рис. 5. Енергія, вироблена ДРГ

Кількість виробленої енергії ДРГ у випадку регулювання СК та РПН трансформаторів без залучення ДРГ максимальна і становить 400 МВт·год., а при залученні до контуру системи керування напругою ДРГ, його вироблена енергія становить близько 383 МВт·год. (рис. 5).

Висновки

Розроблено підхід до регулювання напруги в РЕМ з ДРГ, який передбачає координоване керування різнотипними засобами регулювання на основі теорії чутливості, а також враховує здатність ДРГ регулювати напругу у вузлі підключення та дозволяє зменшити кількість перемикачів положення системи РПН. Таким чином, завдяки керуючим властивостям ДРГ, можливо послабити їх вплив на напругу в РЕМ. Для цього ДРГ можуть знижувати свою активну потужність.

Аналіз результатів дослідження показав, що у разі координованої роботи системи РПН з СК, сумарна кількість спрацювань систем РПН трансформаторів становить більше 100. При цьому потужність генерування ДРГ максимальна. Із залученням ДРГ до координованого регулювання напруги сумарна кількість спрацювань систем РПН зменшується в 8—9 разів. При цьому вироблена енергія ДРГ зменшується лише на 17 МВт·год. Це пов'язано зі споживанням/генеруванням реактивної потужності ДРГ в режимі регулювання коефіцієнта потужності.

Отже, розроблений підхід до регулювання напруги в РЕМ з ДРГ, який передбачає координоване керування різнотипними засобами регулювання на основі теорії чутливості, а також враховує здатність ДРГ регулювати напругу у вузлі підключення, дозволяє зменшити кількість спрацювань систем РПН трансформаторів в 8—9 разів за умови зміни напруги у вузлах РЕМ в допустимих межах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах / [П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик]. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 204 с.
2. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лукьяненко // Технічна електродинаміка. — 2011. — Вип. 1. — С. 46—53.
3. Kojovic, L. A. Coordination of Distributed Generation and Step Voltage Regulator Operations for Improved Distribution System Voltage Regulation / L. A. Kojovic // IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 18—22 June. 2006. — Pp. 122—127.
4. Agalgaonkar Y. P. Distribution Voltage Control Considering the Impact of PV Generation on Tap Changers and Autonomous Regulators / Y. P. Agalgaonkar, B. C. Pal, R. A. Jabr // IEEE Transactions on Power Systems. — 2014 — Vol. 29, Issue 1. — Pp. 182—192.
5. Viawan F. A. Coordinated Voltage and Reactive Power Control in the Presence of Distributed Generation / F. A. Viawan, D. Karlsson // IEEE Power Engineering Society Summer Meeting “Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century”, 20—24 July, 2008. — Pp. 231—236.
6. Яндульський О. С. Визначення зон ефективного регулювання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням у розподільній електричній мережі / О. С. Яндульський, Г. О. Труніна // Наукові праці Вінницького національного технічного університету — 2014. — № 4. — Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/422/420>.
7. Труніна Г. О. Зони ефективного регулювання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням в розподільній електричній мережі / Г. О. Труніна // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 5. — С. 54—56.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.10.2017

Яндульський Олександр Станіславович — д-р техн. наук, професор, декан факультету електроенергетехніки та автоматики;

Нестерко Артем Борисович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри автоматизації енергосистем;
Труніна Ганна Олексіївна — асистент кафедри автоматизації енергосистем, a_trunina@ukr.net ;
Тимохін Олександр Вікторович — старший викладач кафедри автоматизації енергосистем.
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

O. S. Yandulskiy¹
A. B. Nesterko¹
H. O. Trunina¹
O. V. Tymokhin¹

Reduction of OLTC Operating in Electrical Distribution Network with Distributed Generation Source

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

The variable nature of the sources of distributed generation leads to an increase in voltage fluctuations in the electrical network, which leads to an increase in the number of triggers of the OLTC system, and, as a consequence, to shorten its lifetime. In the given work the system of the coordinated control is developed by various types of voltage regulation devices with attraction of distributed generation sources having the ability to regulate the voltage in the connection node. Coordination is based on the determination of the voltage sensitivity coefficients in the nodes of the electrical network relative to the change in the reactive power of the control devices that are part of the coordinated control system. This approach allows to take into account the variable nature of sources of distributed generation, to reduce the number of actions of the voltage transformer system during voltage regulation in the distribution network, as well as to increase the output active power sources of distributed generation.

Keywords: electrical distribution network, source of distributed generation, synchronous compensator, OLTC, voltage control.

Yandulskiy Oleksandr S. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Dean of the Department of Electric Power Engineering and Automation;

Nesterko Artem B. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Power Systems Automation;

Trunina Hanna A. — Assistant Professor of the Chair of Power Systems Automation, e-mail: a_trunina@ukr.net ;

Tymokhin Oleksandr V. — Senior Lecturer of the Chair of Power Systems Automation

А. С. Яндутьский¹
А. Б. Нестерко¹
А. А. Трунина¹
А. В. Тимохин¹

Уменьшение количества срабатываний системы РПН трансформатора в электрических сетях с источниками рассредоточенной генерации

¹Национальный технический университет Украины
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Переменный характер источников рассредоточенного генерирования приводит к увеличению колебаний напряжения в электрической сети, что ведет к увеличению количества срабатываний системы РПН, и, как следствие, к сокращению ее срока службы. В данной работе разработана система координированного управления разнотипными средствами регулирования напряжения с привлечением источников рассредоточенного генерирования, обладающие способностью регулировать напряжение в узле подключения. Координирование базируется на определении коэффициентов чувствительности напряжения в узлах электрической сети относительно изменения реактивной мощности средств регулирования, входящих в состав системы координированного управления. Такой подход позволяет учесть переменный характер источников рассредоточенного генерирования, снизить количество срабатываний системы РПН трансформатора при регулировании напряжения в распределительной электрической сети, а также повысить выходную активную мощность источников рассредоточенного генерирования.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, источник рассредоточенной генерации, синхронный компенсатор, РПН трансформатора, регулирование напряжения.

Яндутьский Александр Станиславович — д-р техн. наук, профессор, декан факультета электроэнергетики и автоматизации;

Нестерко Артем Борисович — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры автоматизации энергосистем;

Трунина Анна Алексеевна — ассистент кафедры автоматизации энергосистем, e-mail: a_trunina@ukr.net ;

Тимохин Александр Викторович — старший преподаватель кафедры автоматизации энергосистем