УДК 620.97:621.311

ЗМЕНШЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ НАПРУГИ В МІСЦЯХ ПРИЄДНАННЯ ПОТУЖНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДО ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

А.М.Захаров
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.
e-mail: zaharovgm@gmail.com

Розглянуто три основні заходи, що спрямовані на зменшення відхилень напруги в місцях приєднання потужних сонячних електричних станцій (СЕС) до електричних мереж (ЕМ): мережеве будівництво, встановлення статичних синхронних компенсаторів (СТАТКОМ) та застосування акумуляторних батарей. На основі вимірів активної потужності СЕС створено модель відхилень напруги та проведено моделювання запропонованих заходів. Надано рекомендації щодо практичного застосування зазначених заходів в ЕМ ОЕС України. Бібл. 8, рис. 4.
***Ключові слова**:* напруга, модель, сонячна електрична станція, СТАТКОМ, акумуляторні батареї.

За сучасних умов у багатьох розвинених країнах зростання попиту на електроенергію задовольняється завдяки інтеграції до електричних мереж (ЕМ) відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1-3]. В Україні станом на 1 грудня 2013 року встановлена потужність об'єктів ВДЕ становить 999,7 МВт, з яких у 2013 році було введено майже половину цієї потужності [8]. Поряд з перевагами ВДЕ, сонячні електростанції (СЕС) мають цілу низку проблем, зокрема пов'язаних з періодичністю або змінним характером видачі потужності [4-6]. Але оскільки встановлена потужність СЕС (567 МВт [9]) сьогодні не перевищує 2% від максимальної потужності навантаження ОЕС України, то проблеми інтеграції СЕС спостерігаються лише в ЕМ 35-154 кВ.

Швидкі зміни потужності генерування СЕС мають вплив на відхилення напруги і є негативним фактором з точки зору якості електроенергії. Поява потужних СЕС додає в роботу ЕМ додаткові відхилення потужності, оскільки їхня генерація безпосередньо залежить від стохастичного характеру проходження хмар над станцією і, як наслідок, збільшує відхилення напруги.

У даній статті розглядаються заходи для обмеження відхилень напруги. Відповідно до стандарту [7], відхилення напруги δU_v – це відносна різниця (у відсотках) між його фактичним U і номінальним $U_{ном}$ значеннями, що виникає при порівняно повільній зміні режиму роботи ЕМ (швидкість зміни напруги менше 1% за 1 с), і визначається як

$$\delta U_v = [(U - U_{ном})U_{ном}^{-1}]\cdot 100\%.$$

У сучасній практиці для зменшення відхилень напруги можуть застосовуватись такі заходи:
а) реконструкція ліній електропередачі (ЛЕП), яка пов'язана з використанням дротів більшого перерізу або введення в експлуатацію паралельних ліній, трансформаторів для зменшення опору живильної мережі;
б) застосування статичних синхронних компенсаторів (СТАТКОМ) для зменшення відхилень напруги шляхом гнучкої компенсації реактивної потужності;
в) застосування акумуляторних батарей для зменшення відхилень напруги шляхом компенсації активної потужності СЕС.

Для кількісної оцінки ефективності запропонованих заходів щодо зменшення відхилень напруги було виконано моделювання існуючої СЕС. Відповідна модель досліджень реалізована в програмному забезпеченні DigSilent PowerFactory та складається з моделі мережі 110 кВ південно-західного регіону Одеської області. Вона була інтегрована в розрахункову модель ОЕС України. Крім того, в модель мережі 110 кВ південно-західного регіону Одеської області була інтегрована модель СЕС «Кілія» з встановленою потужністю 40 МВт/пік. Використовуючи виміри активної потужності, виконано моделювання зменшення відхилень напруги у точці приєднання СЕС до мережі. Для моделювання було обрано відрізок доби з мінливою хмарністю, який представляється 180 хв., для кожної хвилини було виконано розрахунок усталеного режиму (УР).

Одним із заходів щодо обмеження відхилень напруги є зменшення електричного опору від СЕС до опорних підстанцій енергосистеми. Для дослідження впливу даного заходу на відхилення напруги було виконано моделювання шляхом зменшення електричного опору від СЕС «Кілія» до ПС-330 кВ «Арциз». Для цього було змодельовано роботу двох трансформаторів видачі потужності СЕС замість одного, та на всьому шляху від СЕС до ПС-330 кВ «Арциз» моделювалось

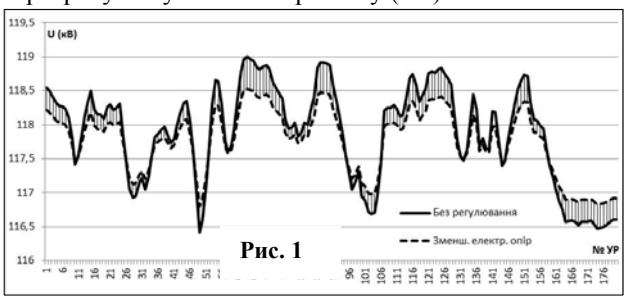

Рис. 1

© Захаров А.М., 2014

введення в експлуатацію паралельних ліній з аналогічними до існуючих параметрами. З рис. 1 видно, що зменшення електричного опору дає змогу певним чином зменшити відхилення напруги на шинах приєднання СЕС до мережі.

Наступним заходом для обмеження відхилень напруги є застосування СТАТКОМ. Його напівпровідникове виконання дає змогу забезпечити дуже швидкий та ефективний контроль та регулювання напруги. Розглянемо два випадки встановлення пристроїв СТАТКОМ. Перший випадок – встановлення двох пристроїв потужністю 8 Мвар кожний на шини збору потужності СЕС (10 кВ). Кожен з СТАТКОМів у цьому випадку виконує регулювання напруги на шині приєднання. У рамках дослідження також було розглянуто встановлення одного пристрою потужністю 16 Мвар безпосередньо на шини 110 кВ у точці приєднання СЕС до мережі. Варто зазначити, що визначення мінімально необхідної потужності пристрою СТАТКОМ для досліджуваної СЕС не ставилося за мету. Результати моделювання представлено на рис. 2, де наведено графіки напруги для випадків відсутності будь-якого регулювання та з використанням пристроїв СТАТКОМ на СШ-10 кВ (2х8Мвар) та на шинах 110 кВ (1х16Мвар). Таким чином, використання пристроїв СТАТКОМ, які здатні компенсувати реактивну потужність на СШ-10 кВ СЕС, не дає змоги повністю нівелювати відхилення напруги на шині приєднання, спричинені змінним характером генерації активної потужності СЕС. На той же час використання СТАТКОМ на шинах приєднання СЕС до мережі дає змогу повною мірою компенсувати відхилення напруги. З іншого боку, необхідно зазначити, що відхилення напруги на високій стороні (110 кВ) можуть бути спричинені не лише роботою СЕС, а й збуреннями в ЕМ.

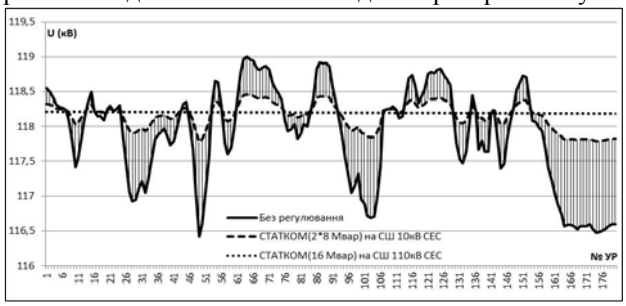

Рис. 2

Ще одним заходом для вирішення проблеми відхилення напруги є використання енергонакопичуючих пристроїв, що мають згладжувати коливання активної потужності, спричинені змінним характером сонячної радіації, зокрема, використання акумуляторних батарей. Алгоритми роботи фотоелектричного модуля СЕС з використанням акумуляторних батарей та налагодження їхніх контролерів суттєво відрізняються. У роботі розглянуто один з найпоширеніших випадків налагодження контролерів, коли при перевищенні певного рівня генерування СЕС виконується накопичення енергії (знижується видача потужності СЕС), а у разі, коли генерація СЕС нижча заданого рівня, батареї починають віддавати накопичену енергію (збільшується видача потужності СЕС). В роботі було прийнято, що у випадку, коли комірка СЕС починає генерувати потужність більшу, ніж 80%, акумуляторна батарея починає накопичувати вироблену енергію. У випадку, коли потужність СЕС падає менше, ніж 30% від номінальної потужності, батареї віддають накопичену енергію. Варто зазначити, що при моделюванні роботи батарей не враховувалася низка обмежень, які характерні для використання пристроїв накопичення енергії, наприклад, максимальна місткість батарей і т.п. Як видно з рис. 2 використання акумуляторних батарей дає змогу компенсувати піки відхилення напруги через вирівнювання графіка генерування СЕС.

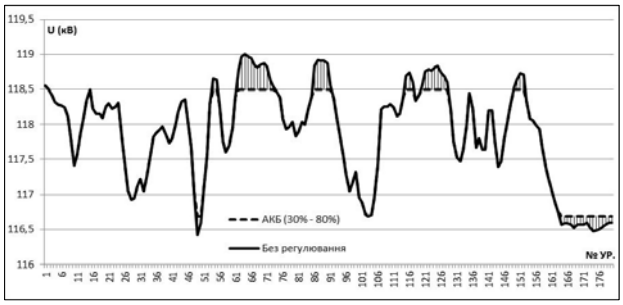

Рис. 3

З рисунків видно, що найбільшу ефективність з точки зору зменшення відхилення напруги має СТАТКОМ. У разі розміщення пристрою безпосередньо на шині приєднання СЕС до мережі СТАТКОМ спроможний повністю компенсувати відхилення напруги, спричинені змінним характером генерації потужності СЕС. Проте у цьому випадку зменшується реакція СТАТКОМ на відхилення напруги у середині мережі СЕС. З врахуванням результатів моделювання для зменшення відхилень напруги рекомендується використання приладів СТАТКОМ на шинах збору потужності СЕС. Таке рішення дасть змогу уникнути вимкнення інверторів СЕС у результаті значних знижень напруги в мережі (при складних ремонтних та ремонтно-аварійних схемах) та покращити якість електроенергії (значно зменшить відхилення напруги) у нормальних режимах роботи. Зменшення відхилень напруги спостерігається і у випадку мережевого будівництва. Проте використання цього засобу рекомендується тільки як альтернативного варіанту, оскільки витрати часу на його реалізацію та вартість такого рішення будуть істотно більшими, ніж у випадку з використанням СТАТКОМ. Використання акумуляторних батарей, які пов'язані безпосередньо з компенсацією причини відхилень напруги – змінним характером генерації СЕС, має багато переваг. Зокрема вони дають змогу компенсувати не відхилення напруги, а коливання активної потужності СЕС та можуть віддавати накопичену енергію в години максимуму навантаження. У світі з кожним роком пропонується все більше вже готових рішень енергонакопичуючих систем, зокрема з різними алгоритмами роботи, але досі залишаються вагомі обмеження, які характерні для використання пристроїв нако-

пичення енергії. Тому сьогодні найбільш привабливим заходом для зменшення відхилень напруги в місцях приєднання потужних СЕС до ЕМ є використання СТАТКОМ.

1. EEA, Europe's onshore and offshore wind energy potential: An assessment of environmental and economic constraints. – European Environment Agency, 2009.
2. IEA, Technology Roadmap Solar photovoltaic energy. – International Energy Agency, 2010.
3. *Gupta B.* Status and progress in solar thermal research and technology // Energy. – 1987. – Vol. 12. – No. 3-4. – Pp. 187 – 196.
4. *Denholm P.* and *Hand M.* Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity. // Energy Policy. – 2011. – Vol. 39. – No. 3. – Pp. 1817 – 1830.
5. *Grubb M.J.* The integration of renewable electricity sources // Energy Policy. – 1991. – Vol. 19. – No. 7. – Pp. 670 – 688.
6. *Sovacool B.K.* The intermittency of wind, solar, and renewable electricity generators: Technical barrier or rhetorical excuse // Utilities Policy. – 2009. – Vol. 17. – No. 3-4. – Pp. 288 – 296.
7. ГОСТ 13109-97. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.
8. http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stan

УДК 620.97:621.311

УМЕНЬШЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В МЕСТАХ ПРИСОЕДИНЕНИЯ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЕЛЕКТРОСТАНЦИЙ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ

А.М.Захаров
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.
e-mail: zaharovgm@gmail.com

Рассмотрены три основных мероприятия, которые направлены на уменьшение отклонений напряжения в местах присоединения мощных солнечных электростанций (СЭС): сетевое строительство, установка статических синхронных компенсаторов (СТАТКОМ) и использование аккумуляторных батарей. На основе измерений активной мощности СЭС создана модель отклонений напряжения и проведено моделирование предложенных мероприятий. Предоставлены рекомендации по практическому применению указанных мероприятий в электрических сетях ОЭС Украины. Библ. 8, рис. 4.

***Ключевые слова**:* напряжение, модель, солнечная электростанция, СТАТКОМ, аккумуляторные батареи.

REDUCING OF VOLTAGE DEVIATION AT THE POINT OF COMMON COUPLING OF THE POWERFUL SOLAR POWER PLANTS

A.M.Zakharov
Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.
e-mail: zaharovgm@gmail.com

Three main means of voltage deviation reducing at the point of common coupling has been considered: grid constructions, installation of static synchronous compensator (STATCOM) and the usage of electrical storage batteries. The model of voltage deviations has been created and simulation of the considered means has been performed. Recommendations for practical application of considered means in electrical grids of IPS of Ukraine has been proposed. References 8, figures 3.

***Key words**:* voltage, model, solar power plant, STATCOM, storage batteries.

1. EEA, Europe's onshore and offshore wind energy potential: An assessment of environmental and economic constraints. – European Environment Agency, 2009.
2. IEA, Technology Roadmap Solar photovoltaic energy. – International Energy Agency, 2010.
3. *Gupta B.* Status and progress in solar thermal research and technology // Energy. – 1987. – Vol. 12. – No. 3-4. – Pp. 187 – 196.
4. *Denholm P.* and *Hand M.* Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity. // Energy Policy. – 2011. – Vol. 39. – No. 3. – Pp. 1817 – 1830.
5. *Grubb M.J.* The integration of renewable electricity sources // Energy Policy. – 1991. – Vol. 19. – No. 7. – Pp. 670 – 688.
6. *Sovacool B.K.* The intermittency of wind, solar, and renewable electricity generators: Technical barrier or rhetorical excuse // Utilities Policy. – 2009. – Vol. 17. – No. 3-4. – Pp. 288 – 296.
7. GOST 13109-97. Norms of quality of electric energy are in the systems of power supply of general-purpose. (Ukr)
8. http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stan

Надійшла 25.02.2014
Остаточний варіант 05.05.2014