

УДК 621.316

О.С. ЯНДУЛЬСЬКИЙ(д-р техн. наук, проф.), **О.В. ХОМЕНКО** (канд. техн. наук., доц.),
А.А. МАРЧЕНКО(канд. техн. наук., доц.)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
kafedra_ae@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Розглянуто вплив генерації сонячних електростанцій на режими роботи електричної мережі. Аналізуються рівні напруг і втрати активної потужності в мережі при зміні генерації СЕС. Використовується програмний комплекс PowerFactory.

Ключові слова: електрична мережа, комп'ютерне моделювання, сонячна електростанція, втрати потужності, рівні напруг.

Постановка проблеми та задачі досліджень. За останнє десятиліття інтерес до альтернативних джерел енергії постійно зростає, оскільки в багатьох регіонах вони необмежені. У міру того, як постачання палива стає менш надійним і дорогим, ці джерела стають усе більше привабливими з економічної та екологічної точки зору.

У пошуках альтернативних джерел енергії в багатьох країнах чимало уваги приділяють сонячній енергетиці. За даними [1] в 2011 році загальна потужність СЕС у світі зросла на 70% і склала 67,4 ГВт. Діючі сонячні електростанції щорічно можуть виробляти близько 80 млрд. кВт.г електроенергії. Лідерами у розвитку сонячної енергетики є європейські країни, які забезпечили у 2011 р. 75% (21 ГВт) світового приросту. Загальна потужність побудованих у Європі СЕС на кінець 2011 р. перевищила 50 ГВт. Вони можуть виробляти більш ніж 60 млрд. кВт.г електроенергії. За межами Європи лідером у розвитку сонячної енергетики є Китай. В 2011 р. потужність діючих там СЕС збільшилась до 2,9 ГВт. Інтенсивно розвивається сонячна енергетика в США, будуються нові СЕС в Індії, Тунісі тощо.

Одним із лідерів в розвитку сонячної енергетики в 2011 році стала Україна. Це стало можливим в основному завдяки введеним в експлуатацію в Криму сонячним паркам «Охотніково» (80 МВт) і «Перово» (100 МВт), які стали одними з найбільших у світі. Загальна потужність діючих вітчизняних СЕС перевищила 190 МВт. Продовжується будівництво нових СЕС – в Київській області (42 МВт), у Вінницькій області (1,8 МВт). Планується будівництво шести СЕС у Вінницькій області сумарною потужністю 50 МВт, в Одеській області – близько 10 СЕС загальною потужністю 25-30 МВт.

У 2012 році, за даними НЕК "Укренерго", в Україні введено в експлуатацію сонячні електростанції загальною потужністю 130,3 МВт, що збільшило загальну потужність СЕС України до 317,8 МВт. У найближчі роки в Україні планується введення, крім нині діючих, до 300 МВт нових потужностей в сонячній енергетиці: в Новій Каховці, в Одеській області, Херсонській, Миколаївській, Вінницькій та Кіровоградській областях.

Нааявність альтернативних джерел енергії спричиняє зміни в структурі енергосистеми і режимах її роботи:

- більшість розподілених джерел електроенергії під'єднанні до розподільної мережі. Це відрізняє її від традиційних енергосистем, в яких баланс енергії підтримується переважно декількома потужними централізованими генеруючими центрами, що під'єднанні до передавальної мережі;
- потужність генерації сонячних джерел електроенергії визначається зовнішніми факторами (в першу чергу інтенсивністю сонячного випромінювання) і мало залежить від режиму роботи електричної мережі, до якої вони під'єднанні;
- сонячні установки можуть мати коливальний або переривчастий характер генерації потужності. Концентрація великої кількості такого типу джерел може призвести до сильних коливань потужності в енергосистемі, що значно впливає на режими роботи енергосистеми та її стійкість;
- більшість розподілених (відновлюваних) генераторів під'єднанні до мережі за допомогою силових електронних перетворювачів (інверторів), які дуже чутливі до рівнів напруг.

Завданням цього дослідження є моделювання приєднання сонячних електростанцій до електричної мережі, визначення і аналіз впливу СЕС на рівні напруг та втрати потужності в мережі.

Для якісної оцінки впливу генерації СЕС на розподільчу мережу, треба враховувати такі аспекти функціонування ЕЕС як контроль напруги та втрати потужності в ній. СЕС може впливати на зміну напруги двома способами:

- станція працює у взаємозв'язку з місцевим навантаженням, тобто при зміні навантаження в мережі генерація СЕС також змінюється. Такий режим роботи СЕС не створює проблем при традиційних підходах контролю напруги;

- Вихідна потужність станції регулюється системами керування незалежно від місцевого навантаження. У цьому випадку розподілена генерація може негативно позначитися на функціональності управління напругою мережі. Один із простих підходів до вирішення цієї проблеми – зниження вихідної потужності.

Втрати потужності в мережі залежатимуть від потужності генерації СЕС. Якщо навантаження шин більше або дорівнює потужності джерела на кожній шині, то втрати зменшуються по всіх лініях в розподільній мережі. При збільшенні потужності СЕС відносно навантаження, втрати збільшуватимуться через перерозподіл потоків потужності в мережі. Тому потрібно контролювати процес такого генерування і керувати ним.

Моделювання і аналіз впливу сонячних електростанцій на режими роботи електричної мережі виконано для електричної мережі 110-35-10(6) кВ південно-західної частини ОЕС України. Вихідна схема мережі включає 38 підстанцій, 190 шин, 55 ліній електропередач, 12 двообмоткових і 50 трьохобмоткових трансформаторів, 110 вузлів навантажень. Власна генерація у досліджуваному фрагменті електричної мережі відсутня. Зовнішні зв'язки мережі по розрізу 110 кВ і відповідні потоки потужності моделюються підключенням синхронних машин до шин 110 кВ підстанцій Вулканешти, МолдГРЭС, Усатово, Н.Одеська та Арциз-110. Моделюються і аналізуються режими при підключенні СЕС Арциз (40 МВт), Залізничне (40 МВт), Кілія (50 МВт), Рені (40 МВт) та Старокозаче (40 МВт) до шин відповідних підстанцій.

Узагальнена схема досліджуваної електричної мережі з основними результатами розрахунку усталеного режиму (без підключення СЕС) показана на рис. 1. Схема складається з 339 вузлів, що є шинами 110 кВ підстанцій та 54 віток, які є ділянками ЛЕП 110 кВ. Розрахунки усталених режимів роботи електричної мережі проводились з використанням програмного комплексу PowerFactory[2]. Сумарне надходження потужності в мережу від зовнішніх джерел складає близько 360 МВА. Втрати активної потужності складають близько 17 МВт. Рівні напруг на шинах 110 кВ підстанцій, де приєднані зовнішні зв'язки мережі, відповідають межах 0,84 .. 0,96 в.о. Напруги на ПС Вулканешти не виходять за допустимі межі, на інших ПС напруги занижені. При відсутності власної генерації в мережі, рівні напруг в цих вузлах значною мірою визначають режими напруг в усій мережі. Введення режиму у допустиму область по напругам можливо застосуванням існуючих засобів і методів регулювання напруг [3] і за рахунок використання наявних додаткових генеруючих потужностей.

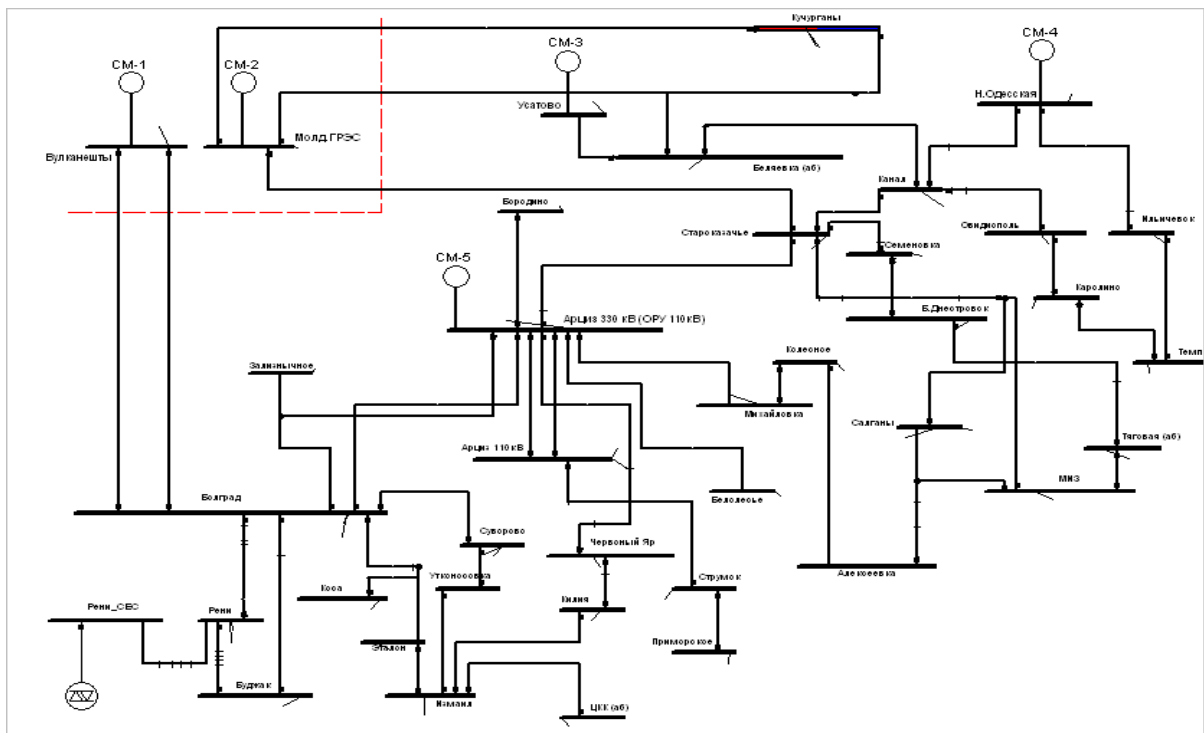


Рисунок 1 - Узагальнена схема досліджуваної електричної мережі (OverView)

Аналіз усталених режимів роботи мережі при підключенні та зміні генерації сонячних електростанцій.

Розглянемо вплив генерації існуючих і перспективних СЕС у південно-західній частині ОЕС України на рівні напруг і втрати активної потужності в електричній мережі при незмінному сумарному навантаженні в ній. Потужність генерації сонячних станцій мало залежить від змін навантажень і режимів роботи електричної мережі і значно змінюється під впливом природних факторів – інтенсивності сонячного випромінювання, хмарності тощо, залежно від часу доби та пори року.

При моделюванні активна потужність СЕС покроково збільшується від нуля до максимальної з кроком 10 МВт. Вплив потужності деяких із СЕС на напруги у контрольних вузлах показані на рис. 2 – 4.

Збільшення потужності генерації сонячною електростанцією Рені практично не впливає на рівні напруг у контрольних вузлах, напруга на шинах 110 кВ ПС Рені підвищується і входить у допустимі межі (рис. 2). Втрати активної потужності в мережі при збільшенні генерації РеніСЕС до 40 МВт збільшуються від 16,96 МВт до 18,38 МВт (рис. 6). Генерація СЕС Кілія призводить до збільшення напруг у контрольних вузлах, але її недостатньо для введення напруг у допустиму область (рис. 3). Втрати активної потужності при збільшенні генерації КіліяСЕС зменшуються до 13,87 МВт. Збільшення генерації СЕС Старокозаче призводить до збільшення напруг у всіх контрольних вузлах, крім Вулканешти (рис. 4). При цьому сумарні втрати активної потужності в мережі практично не змінюються. Збільшення генерації СЕС Залізничне і АрцизСЕС впливає на режим роботи мережі дуже несуттєво. Напруги у вузлах незначно збільшуються, втрати активної потужності залишаються практично незмінними.

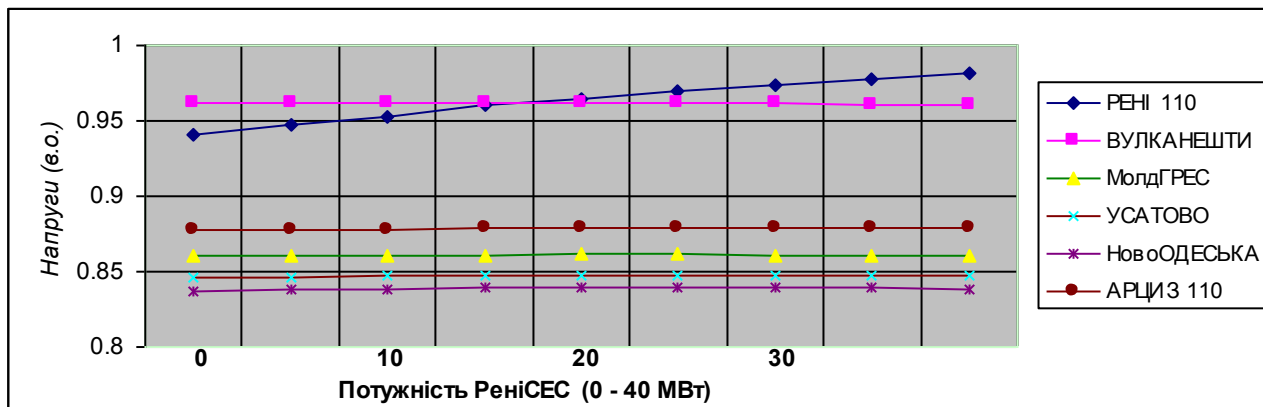


Рисунок 2 - Вплив генерації РеніСЕС на напруги

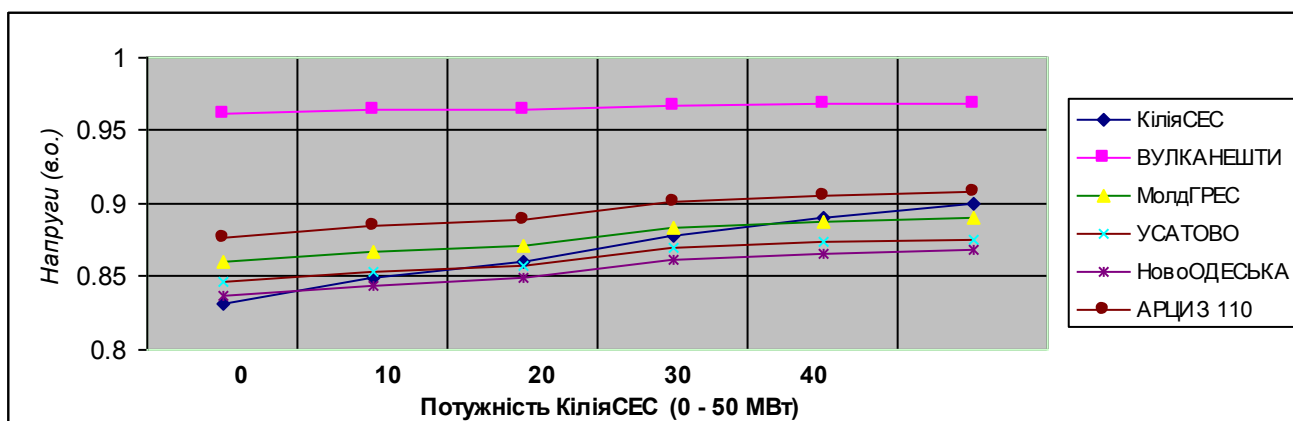


Рисунок 3 - Вплив генерації КіліяСЕС на напруги

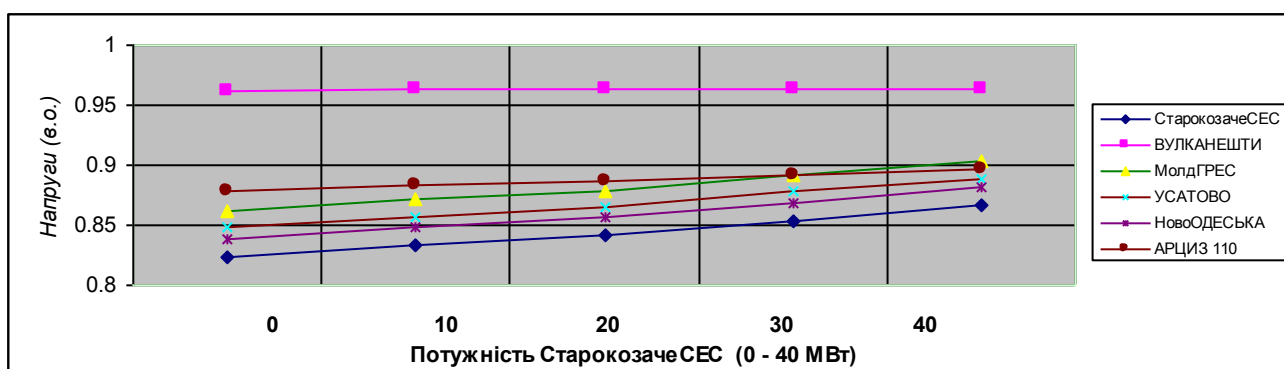


Рисунок 4 - Вплив генерації СтарокозачеСЕС на напруги

Моделювання впливу одночасного сумарного покрокового збільшення генерації усіх СЕС від 0 до 200 МВт показує, що режим напруг в більшості контрольних вузлів значно покращується (рис. 5). На шинах 110кВ ПС Вулканешти напруга залишається у допустимих межах і практично не змінюється. Втрати потужності у мережі при збільшенні сумарної генерації СЕС до 25% зменшуються, при подальшому її рості до максимальної вони значно збільшуються (рис. 6).

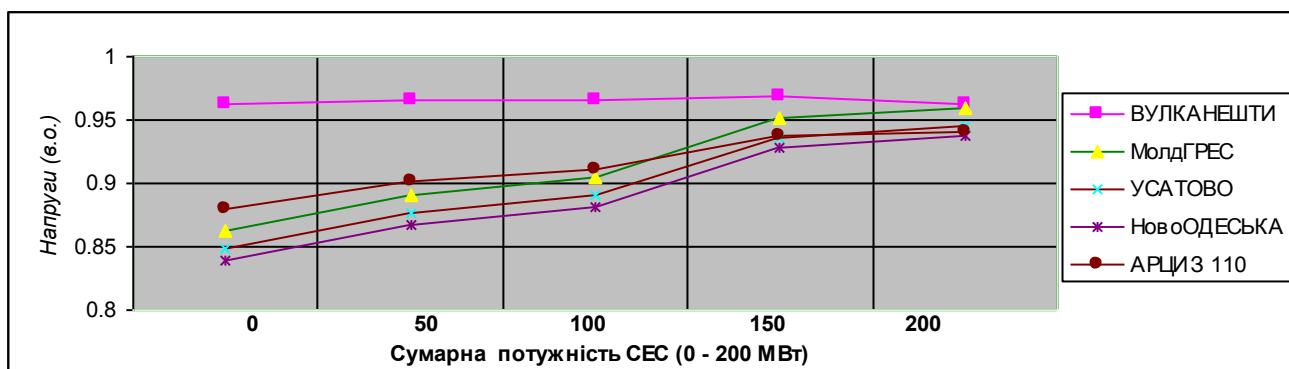


Рисунок 5 - Вплив сумарної генерації СЕС на напругу

Вплив генерації кожної СЕС і їх загальної генерації на сумарні втрати активної потужності показаний на рис.6.

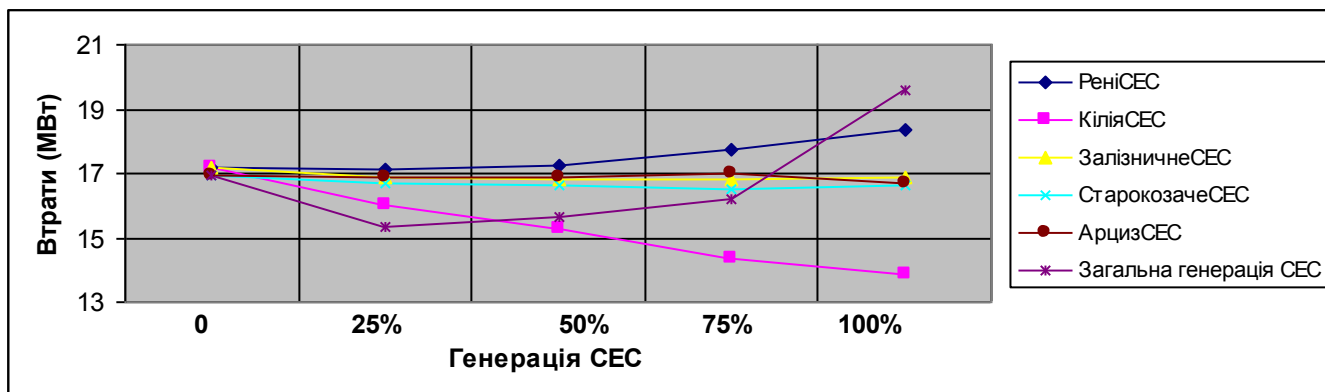


Рисунок 6 - Вплив генерації СЕС на втрати потужності у мережі

Аналіз режимів роботи мережі при зміні генерації сонячної електростанції Арциз відповідно до її добового графіка за 28.02.2013 р. Графіки генерації СЕС Арциз сформовані на основі даних системи АСУ ТП пристанційного вузла сонячної станції «Арциз-110». Для прикладу вибрано день 28.02.2013 р., у який була максимальна середня на добу генерація СЕС протягом лютого (рис. 7). Добовий графік генерації СЕС Арциз за 28.02.2013 р. наведений на рис. 8. Показані середні потужності генерації за кожний 60-хвилинний інтервал протягом доби. Зміни потужності генерації СЕС відповідають змінам впливу природних факторів (фактична сонячна інсоляція, хмарність тощо).

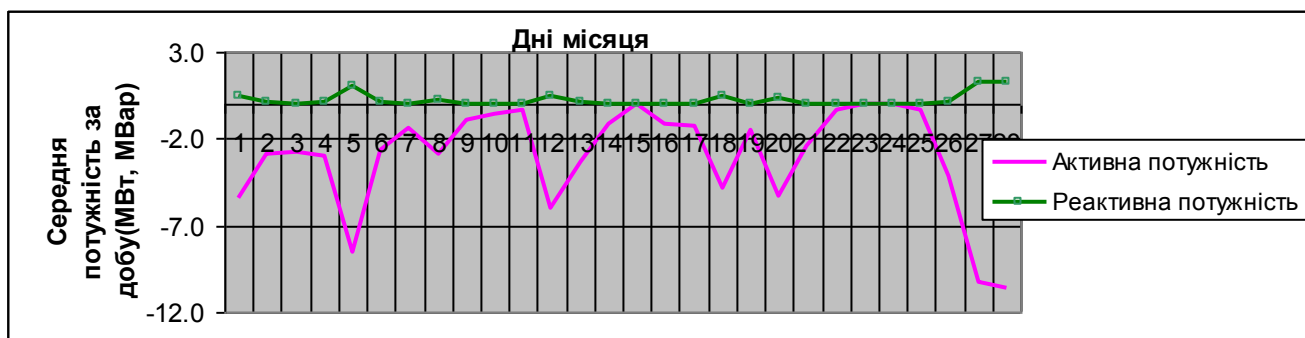
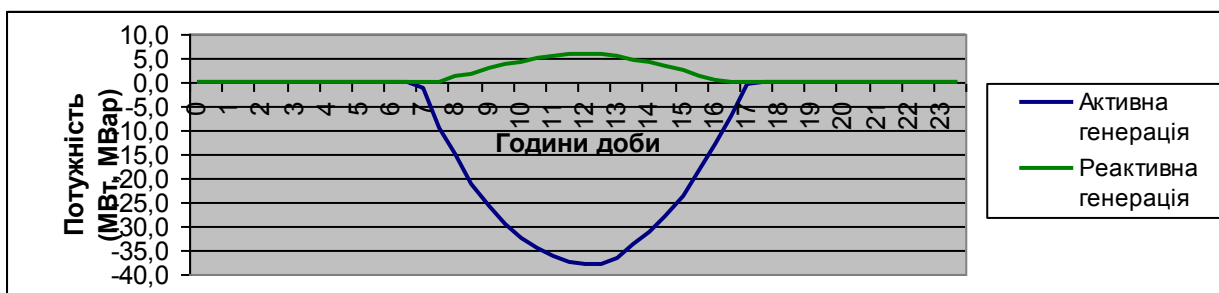


Рисунок 7 - Середня за добу потужність генерації СЕС Арциз у лютому 2013 р.



Ри

суюнок 8 - Генерація СЕС Арциз 28 лютого 2013 р.

Зміни фактичної потужності генерації СЕС Арциз протягом доби практично не впливають на рівні напруг у контрольних вузлах мережі. При цьому сумарні втрати активної потужності в мережі змінюються суттєвіше, збільшуючись від 16,96 МВт до 17,65 МВт при максимальній генерації СЕС (рис. 9).



Рисунок 9 - Вплив генерації СЕС Арциз 28 лютого 2013 р. на втрати потужності

Аналізуючи результати проведених досліджень можна зробити такі **висновки**:

1. У вихідному режимі досліджуваної мережі напруги в контрольних вузлах значно занижені. Для введення режиму у допустиму область по напругам доцільне застосування існуючих засобів і методів регулювання напруг та використання наявних додаткових генеруючих потужностей.

2. Зміна генерації кожної окремої СЕС дуже мало впливає на рівні напруг у вузлах мережі, що призводить до незначного їх збільшення. Для введення режиму у допустиму область цих потужностей недостатньо.

3. Вплив активної генерації СЕС на втрати активної потужності в мережі різнонаправлений: при збільшенні генерації РеніСЕС втрати зростають, збільшення генерації КіліяСЕС призводить до значного зменшення втрат в мережі. Генерація інших СЕС на величину втрат практично не впливає.

4. Одночасне збільшення сумарної генерації всіх СЕС значно покращує режим напруг в мережі. Перерозподіл потоків потужностей в мережі при цьому призводить до збільшення сумарних втрат активної потужності при максимальній сумарній генерації.

5. Фактична генерація СЕС Арциз практично не впливає на рівні напруг в мережі і збільшує втрати активної потужності в ній.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закрапивный Н. Место под солнцем [Электронный ресурс] / Н. Закрапивный // Солнечная энергетика. Фотовольтаика и гелиоэнергетика – новости, интервью, бизнес и технологии, анализ тенденций и перспектив. – 04.04.2012. – Режим доступа: http://solareview.blogspot.com/2012/04/blog-post_04.html.
2. DIgSILENT GmbH DIgSILENT Power Factory version 13.1. Power Factory Manual, Germany, 2005 – 738с.
3. Грабко В.В. Модели і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН: монографія / В.В. Грабко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 109 с.

REFERENCES

1. Zakrapivnyy N. Place under a sun [Electronic resource] / Sun energy. Fotovoltaika and solar power engineering - news, interview, business and technologies, analysis of tendencies and prospects. – 04.04.2012. - access mode: http://solareview.blogspot.com/2012/04/blog-post_04.html
2. DIgSILENT GmbH DIgSILENT Power Factory version 13.1. Power Factory Manual, Germany, 2005–738p.

3. Grabko V.V. Models and facilities of adjusting of tension by transformers with the devices of Adjusting is Under Tension. Monograph. -Vinnytsya: Universum-vinnytsya, 2005. – 109 p.

Надійшла до редакції 30.03.2013

Рецензент: В.Ф. Сивокобиленко

А. С. ЯНДУЛЬСКИЙ, О. В. ХОМЕНКО, А. А. МАРЧЕНКО

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Моделирование и анализ влияния солнечных электростанций на режимы работы электрической сети. Рассмотрено влияние генерации солнечных электростанций на режимы работы электрической сети. Анализируются уровни напряжений и потери активной мощности в сети при изменении генерации СЭС. Используется программный комплекс PowerFactory.

Ключевые слова: электрическая сеть, компьютерное моделирование, солнечная электростанция, потери мощности, уровни напряжений.

O. YANDULSKYY, O. KHOMENKO, A. MARCHENKO

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Design and Analysis of Influence of Sun Power-Stations on the Modes of Operations of Electric Network. Influence of generation of sunny power-stations is considered on the modes of operations of electric network. The levels of tensions and loss of active-power are analyzed in a network at the change of generation of sun power-station. Programmatic complex Power Factory is used.

Keywords: electric network, computer design, sunny power-station, losses of power, levels of voltages.