

В. В. Павловський¹
А. М. Захаров¹
О. В. Ленга¹

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ ПЕРЕТИНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМИ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ

¹Інститут електродинаміки НАН України, Київ

Розроблено алгоритм автоматизації оцінки ефективності протиаварійної автоматики. Побудовано моделі сонячних електричних станцій. Виконано тестування алгоритму роботи реальної проєктованої протиаварійної автоматики перетинів електричних систем з розосередженими сонячними електричними станціями.

Ключові слова: модель, протиаварійна автоматика, сонячна електростанція.

Вступ

Надійність роботи електричних мереж та електропостачання споживачів зумовлюється стійкістю енергосистеми. Однією з основних причин виникнення аварій в енергосистемі є неповне або некоректне керування. Тому однією з актуальних задач є протиаварійне керування стійкістю режимів роботи ЕС [1, 2]. Наразі для забезпечення нормативних запасів стійкості перетинів, використовується автоматика запобігання порушення стійкості (АЗПС). За останні роки до відомих і вже традиційних проблем налаштування та керування протиаварійної автоматики додався новий чинник — відновлювальні джерела енергії (ВДЕ). Експлуатація ВДЕ, зокрема сонячних електростанцій (СЕС), характеризується певною періодичністю режиму роботи (сезонною та денною) та значним рівнем флуктуації вихідної потужності. Флуктуації потужності ВДЕ залежать як від глобальних, так і від локальних факторів, що може значно впливати на стійкість режиму роботи ЕС. Тому, одним із чинників, який необхідно враховувати в розрахунках стійкості режимів роботи ЕС є характер роботи ВДЕ. З ростом встановленої потужності ВДЕ в мережах актуальною є задача моделювання та оцінки ефективності протиаварійної автоматики перетинів електричних систем з урахуванням роботи ВДЕ, зокрема СЕС.

Об'єктом дослідження в цій роботі є електричні мережі південно-західної частини Одеської області (ПЗЧОО) Південної енергосистеми ОЕС України, які характеризуються відсутністю традиційної генерації в регіоні, значною (220 МВт) генерацією розосередженими СЕС та недостатньо розвинутою мережею 110—330 кВ (рис. 1). Ці характерні особливості привели до загострення проблем забезпечення стійкості за напругою ПЗЧОО та зумовили необхідність розробки нового комплексу ПА. *Предметом дослідження є модель ПА в ПЗЧОО та її налаштування, а метою роботи є формування підходу та оцінка ефективності ПА перетинів з СЕС, що проєктується.*

Результати дослідження

Для досягнення поставленої мети в ПЗ PowerFactory створено розрахункові моделі існуючих електричних мереж 110 кВ та вище ПЗЧОО, розроблено моделі п'яти СЕС, сформовано баланси потужності, сценарії моделювання характерних режимів та комп'ютерну модель комплексу ПА.

Для виконання моделювання роботи СЕС розроблені цифрові моделі СЕС на підставі проєктів електричних частин СЕС та з урахуванням рекомендацій компаній DIgSILENT GmbH і SMA GmbH. Модель однієї комірки СЕС потужністю 0,5 МВт складається з моделі трансформатора 630 кВА з розщепленою обмоткою 10/0,255/0,255 кВ, інверторів типу PV Protect 250 кВА, шин постійної напруги 1000 В та джерел струму (представлення збірки PV панелей). В цій роботі досліджено п'ять

діючих СЕС: СЕС-1, СЕС-2, СЕС-3, СЕС-4 та СЕС-5. З метою дотримання умов конфіденційності назви фактичних СЕС змінені.

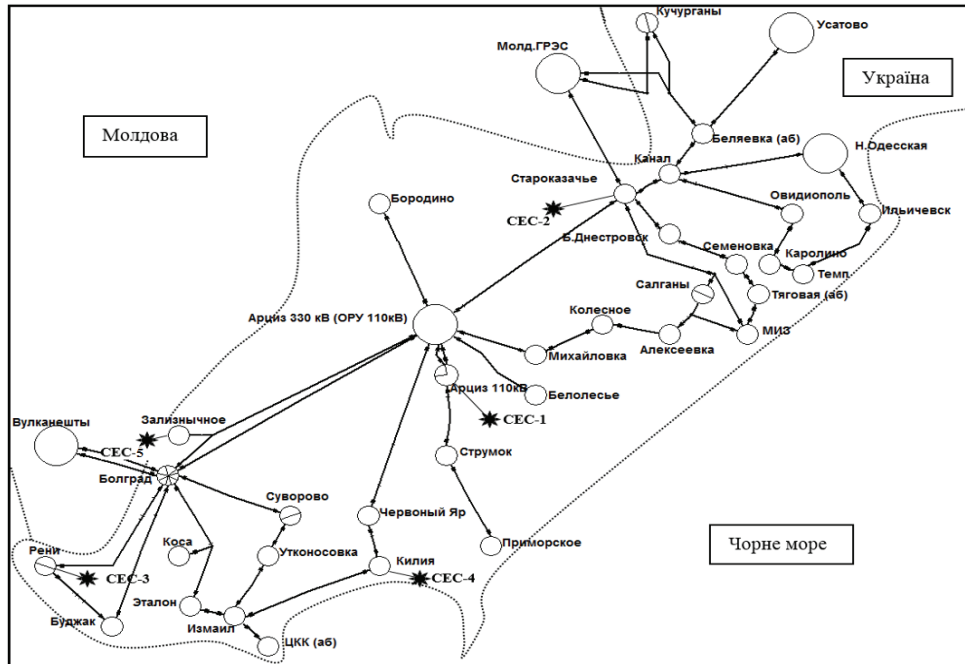


Рис. 1. Оглядова діаграма мережі 110 кВ ПЗЧОО та СЕС

Розрахункові моделі існуючих електричних мереж 110 кВ та вище ПЗЧОО включають 49 трансформаторів 110/35/10(6), 55 ліній ЛЕП, 87 елементів навантаження, моделювання яких виконувалось на СШ 35/10(6) кВ. Ця модель інтегрована з розрахунковою моделлю мереж 220—750 кВ ОЕС України. Крім того, в модель мережі 110 кВ ПЗРО додано моделі всіх п'яти СЕС. Комплексна модель досліджень реалізована в програмному забезпеченні DIgSILENT PowerFactory (оглядова діаграма мережі показана на рис. 1).

В роботі розглядаються підсистеми АЗПС (автоматика запобігання порушення стійкості) та АРОЛ (автоматика розвантаження у разі вимкненої лінії) як комплекс протиаварійної автоматики, що забезпечує необхідний рівень надійності роботи енергосистеми, яка наразі проектується та тестується. Для перетинів, через які забезпечується живлення дефіцитних районів, що не мають власних резервів потужності на електростанціях, практично обов'язковим є вимкнення частини навантаження у разі аварійного вимкнення лінії у перетині, що призводить до виникнення важкого післяаварійного режиму. Цю функцію виконують пристрої спеціальної автоматики вимкнення навантаження (САВН), які встановлюються у центрах споживання енергосистеми [3, 4]. Тому основним принципом роботи проекрованої автоматики є обмеження навантаження споживачів у разі аварійного вимкнення повітряної лінії (ПЛ) 330 кВ в залежності від перетоку активної потужності по ній в доаварійному режимі (КПР).

Комплекс ПА, що розробляється, контролює ступінь важкості поточного режиму за допомогою уставок КПР. В якості КПР на цьому етапі визначено перетік активної потужності по єдиній в регіоні живлячій ПЛ-330 кВ. В залежності від стану мережі, який задається за допомогою накладок ПА (ФРЛ), часу доби, КПР та факту вимкнення ПЛ (ФОЛ) формується керувальна дія у вигляді обсягу САВН. З метою підвищення надійності та спрощення структури ПА обсяг САВН розподілено на три підчерги.

Основним показником успішної роботи ПА є збереження стійкості за напругою, основним ідентифікатором якої є забезпечення рівнів напруги вище аварійно-допустимих меж ($0,77U_{\text{ном}}$). Наприклад, в нормальній схемі електромережі з урахуванням роботи СЕС при відключенні ПЛ 330 кВ з доаварійним перетоком активної потужності по ній 150 МВт, ПА повинна відключити навантаження 37 МВт а напруга в усіх точках досліджуваної мережі повинна бути вищою ніж $0,77U_{\text{ном}}$.

Водночас додатковим ускладнюючим фактором є те, що в період генерації СЕС у разі зниження напруги нижче $0,9U_{\text{ном}}$ СЕС вимикаються дією власної автоматики, що може призвести до погіршення режимної ситуації, тобто навіть за успішного спрацювання ПА відключення СЕС внаслідок зменшення напруги на власних шинах нижче $0,9U_{\text{ном}}$ може призвести до порушення стійкості.

Під час оцінювання ефективності проектованої ПА досить складно точно передбачити рівень навантаження на кожній підстанції в досліджуваному регіоні так само як складно передбачити рівень генерації кожної з п'яти СЕС. З метою автоматизації розрахунків моделювання роботи проектованої ПА розроблено алгоритм (рис. 2) та на його основі, за допомогою мови програмування Python, комп'ютерну програму, яка на основі методу Монте-Карло (М-К) виконує моделювання великої кількості режимів ПЗЧОО зі стохастичною генерацією СЕС (від 0 до $P_{\text{макс.}}$) та навантаженням мережі ($0,8 \dots 1,2P_{\text{поточн.}}$, $\cos f = 0,94 \dots 1,0$) у разі аварійного вимкнення ПЛ 330 кВ. На цьому етапі дослідження виконано моделювання 5000 режимів та проведено аналіз достатності розвантаження САВН.

В результаті аналізу виявлено, що приблизно в 20 % випадків величини розвантаження недостатньо для збереження стійкості за напругою, а саме рівня напруги в досліджуваній мережі вище ніж $0,77U_{\text{ном.}}$. Отримані результати передані проектуванту для коригування уставок спрацювання ПА.

Водночас, як зазначалося вище, СЕС характеризується певною періодичністю режиму роботи та значним рівнем флуктуації вихідної потужності і існує можливість коли після спрацювання ПА рівень генерації СЕС зменшиться, що знову ж таки може призвести до порушення стійкості за напругою. Саме тому, на другому етапі роботи розглянуто випадок зниження потужності генерації СЕС в післяаварійному режимі та після спрацювання ПА, що може призвести до погіршення режимної ситуації. Для цього проводились щохвилинні фактичні заміри активної потужності досліджуваних СЕС для різних типів погодних умов — ясна, хмарна та з мінливою хмарністю (рис. 3).

Згідно з цими вимірами визначено, що сумарне максимальне відхилення (зниження) генерації СЕС для дня з мінливою хмарністю може досягати 25 % від сумарної встановленої потужності СЕС. Обчислено, що вірогідність того, що потужність СЕС за 1 хв. зменшиться на 15 % не більше ніж 0,02, на 10 % не перевищує 0,15, а вірогідність того, що потужність СЕС за 1 хв. зменшиться на 5 % досягає майже 40 % (рис. 4).

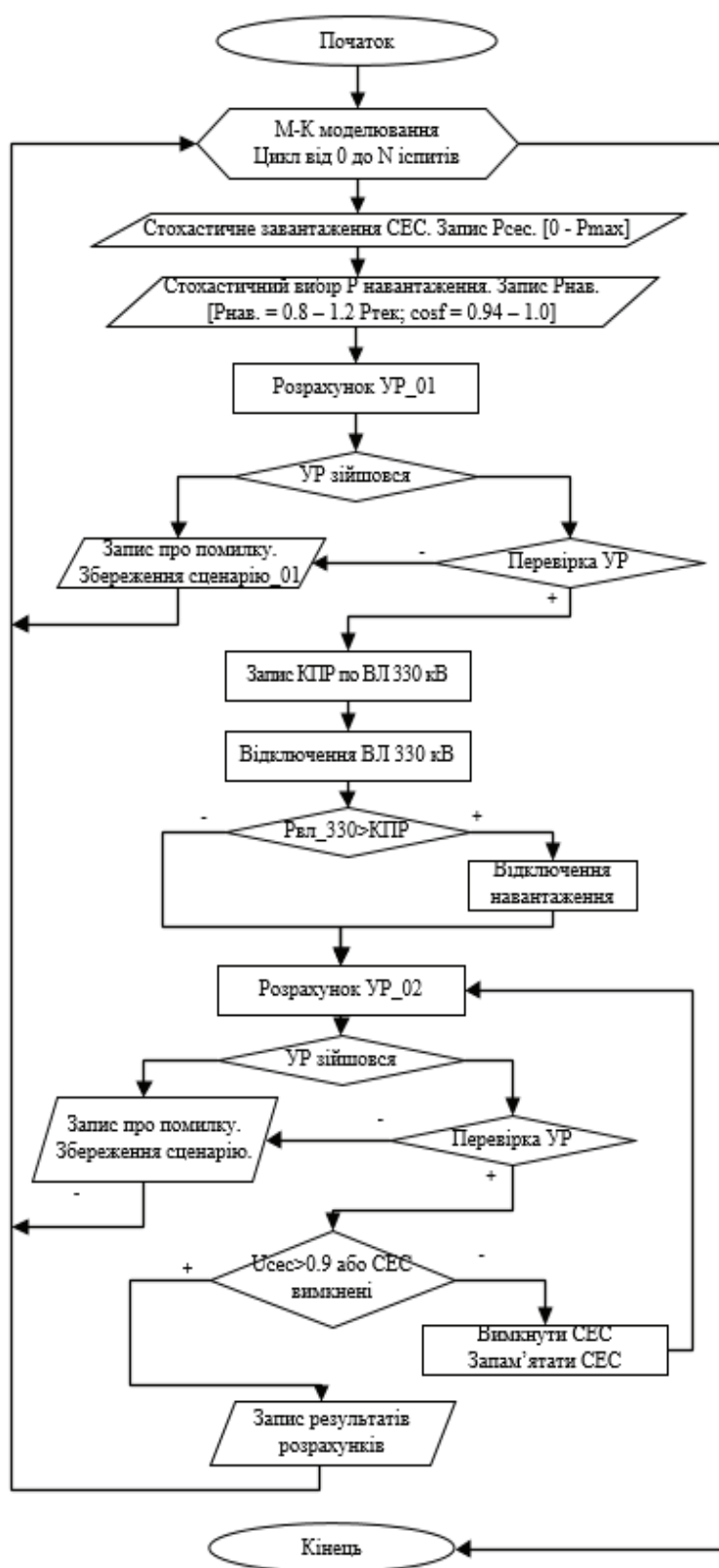


Рис. 2. Алгоритм оцінки ефективності ПА перетинів з СЕС

Для виконання моделювання зниження генерації СЕС в післяаварійному режимі та після спрацювання ПА, в якості величини зниження генерації обрано 10 % від встановленої потужності СЕС. В результаті моделювання виявлено, що приблизно в половині випадків після зниження генерації СЕС в післяаварійному режимі стійкість за напругою не зберігається, а саме в досліджуваній мережі існують вузли рівень напруги яких нижче ніж $0,77U_{ном}$. Отримані результати також були передані проєктанту для аналізу та коригування уставок спрацювання ПА.

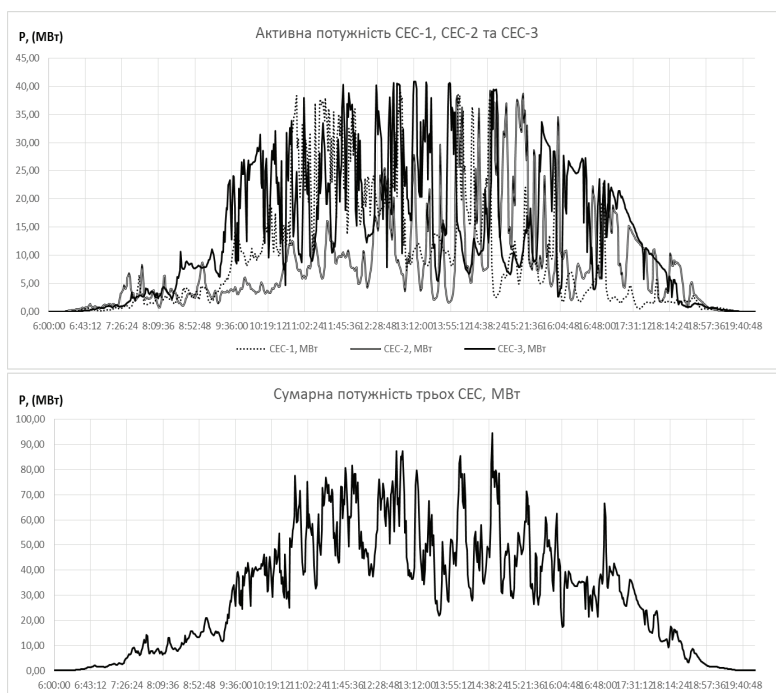


Рис. 3. Вимірювання активної потужності для трьох досліджуваних СЕС

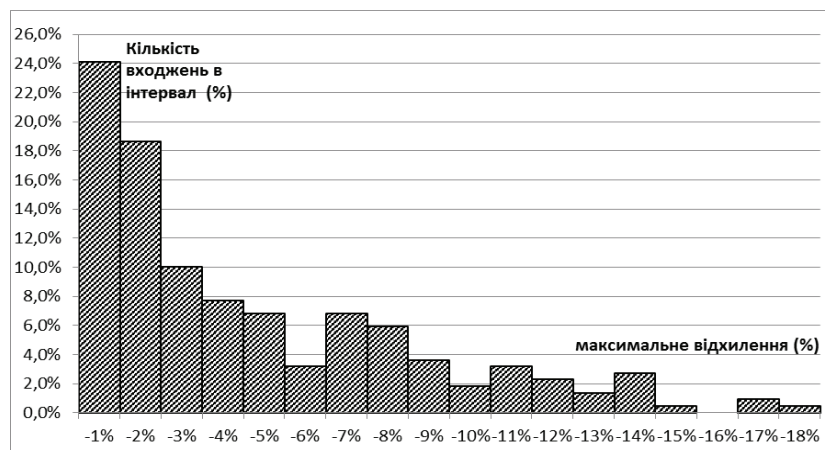


Рис. 4. Діаграма групових частот для відхилення потужності трьох СЕС за 1 хв

Висновки

На основі методу Монте-Карло виконано моделювання великої кількості режимів з урахуванням роботи реальної проєктованої протиаварійної автоматики. Визначено випадки в яких некоректна робота ПА може призвести до порушення стійкості. Таким чином, запропонований алгоритм та розроблена на його основі комп'ютерна програма дозволяють якісніше оцінювати ефективність протиаварійної автоматики перетинів електричних систем з розосередженими СЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О. В. Проблеми з забезпечення надійної роботи ОЕС України в умовах реформування енергетики / О. В. Кириленко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. — 2009. — № 3. — С. 135—141.
2. Літвінов В. В. Дослідження впливу відмов протиаварійної автоматики на ризик виникнення аварії в енергосистемі / В. В. Літвінов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — № 74. — С. 47—56.
3. Стійкість енергосистем : керівні вказівки / Міненерговугілля України. — Київ, 2012. — 35 с.
4. Протиаварійна автоматика забезпечення статичної стійкості енергосистеми / [Стогний Б. С., Авраменко В. М., Сопель М. Ф., Прихно В. Л.] // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 4. — С. 50—52.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.01.2016

Павловський Всеволод Віталійович — д-р техн. наук, провідний науковий співробітник;
Захаров Андрій Михайлович — аспірант відділу автоматизації електричних систем, e-mail: zaharovgm@gmail.com;
Леньга Олег Володимирович — аспірант відділу автоматизації електричних систем.
Інститут електродинаміки НАН України, Київ

V. V. Pavlovskiy¹
A. M. Zakharov¹
O. V. Lenga¹

Modelling and Efficiency Estimation of Power System Interconnection Emergency Automatics According to Solar Power Plants

¹Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, Kyiv

The algorithm of efficiency estimation of automation of emergency automatics has been developed. The model of solar power plants has been proposed. There has been carried out the tests algorithm of real emergency automation of power system interconnection emergency automatics according to solar power plants.

Keywords: model, emergency automatics, solar power plant.

Pavlovskiy Vsevolod V. — Dr. Sc. (Eng.), Leading Researcher of IED of NAS of Ukraine;
Zakharov Andrii M. — Post-Graduate Student of the Chair of Electric Systems Automation, e-mail: zaharovgm@gmail.com;
Lenga Oleg V. — Post-Graduate Student of the Chair of Electric Systems Automation

В. В. Павловский¹
А. М. Захаров¹
О. В. Леньга¹

Моделирование и оценка эффективности противоаварийной автоматике сечений электрических систем с рассредоточенными СЭС

¹Институт электродинаміки НАН України, Київ

Разработан алгоритм автоматизации оценки эффективности противоаварийной автоматике. Построены модели солнечных электростанций. Выполнено тестирование алгоритма работы реальной проектируемой противоаварийной автоматике сечений электрических систем с рассредоточенными СЭС.

Ключевые слова: модель, противоаварийная автоматика, солнечная электростанция.

Павловский Всеволод Витальевич — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник;
Захаров Андрей Михайлович — аспірант отдела автоматизации электрических систем, e-mail: zaharovgm@gmail.com;
Леньга Олег Владимирович — аспірант отдела автоматизации электрических систем