

**І. А. Бартецька**

## **КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ МЕРЕЖЕВОГО ІНВЕРТОРА**

*В роботі із використанням пакету прикладних програм Matlab було розроблено комп'ютерну модель фотоелектричної станції потужністю 250 кВт, яка складається з 88 паралельних стрінгів, кожен з яких містить 7 послідовно з'єднаних модулів типу SunPower SPR-415E-WHT-D, під'єднаної до локальної електричної мережі. Така модель дозволяє проводити дослідження роботи станції з нечітким регулятором мережевого інвертора, який базується на основі математичної моделі оптимізації процесу генерування електроенергії в мережу на фотоелектричній станції з використанням апарату нечітких множин.*

*Для перевірки адекватності роботи нечіткого регулятора фотоелектричної станції моделювання проводилось для двох випадків роботи електростанції: із застосуванням нечіткого регулятора та без нього. При цьому виконувалась умова, що навантаження, кліматичні умови та їх зміна ідентичні для обох випадків. Найбільший вплив у процесі генерування електричної енергії фотоелектростанцією має раптова захмареність, що призводить до зменшення кількості сонячного випромінювання на одиницю площі поверхні. Як наслідок, різко зменшується генерування електроенергії. Тому в процесі моделювання такий параметр відігравав найбільшу вагу. Окрім кліматичних чинників важливу роль на процес генерування ФЕС відіграє пропускну здатність мережі. Тому у процесі моделювання імітувались такі режими, як скид навантаження споживачів електричної енергії, накид навантаження та імітація різкозмінних кліматичних чинників, наприклад, раптова захмареність неба.*

*Моделювання здійснювалось у проміжку часу від 0 до 0.2 секунди, чого було достатньо для оцінки роботи ФЕС у вищезазначених режимах. В комп'ютерній моделі для отримання умов, максимально наближених до реальних, використовувалось активно-індуктивне навантаження, що в свою чергу дало можливість отримати інформацію про генерування фотоелектричною станцією активної і реактивної потужності. Також для якісної оцінки параметрів мережі оцінювалися фазні струми та лінійна напруга ФЕС.*

*Отримані результати засвідчують ефективність застосування нечіткого регулятора, коректність математичної моделі та необхідність врахування впливу кліматичних чинників, пропускну здатності мережі на керування процесом передачі електричної енергії станцією в мережу.*

**Ключові слова:** комп'ютерна модель, регулятор, інвертор, фотоелектрична станція, моделювання.

### **Вступ**

Глобальне потепління та інші негативні наслідки від використання традиційних джерел енергії у світі, обмежений їх ресурс та прагнення до енергетичної незалежності призвели до глибокого вивчення, розробки та впровадження відновлюваних джерел енергії зокрема фотоелектричних станцій (ФЕС) [1].

Відомо, що одним із основних функціональних вузлів фотоелектричної установки є автономні інвертори, які узгоджують параметри фотоелектричних модулів та мережі. Для підвищення ефективності перетворення постійного струму в змінний система керування інвертора має здійснювати відстеження точки відбору максимальної потужності фотоелемента [2] та забезпечити функціонування електростанції в заявленому коридорі

добового графіка генерування [3]. Розробка нових методів оптимізації роботи інвертора та алгоритмів потребує перевірки їх працездатності. Розвиток сучасних комп'ютерів дозволяє ефективно використовувати імітаційне моделювання у наукових дослідженнях, виробництві, техніці та інших прикладних сферах діяльності. За допомогою спеціального програмного забезпечення, що симулює різноманітні явища та процеси, користувач має можливість будувати віртуальні складні експерименти, досліджуючи незвичайні та неможливі в дійсності дії. Використання комп'ютерного імітаційного моделювання дає змогу проводити необмежену кількість експериментів, що повністю позбавляє від витрат на сировину та матеріали.

У процесі дослідження систем автоматичного регулювання, обчислювальних математичних задач найефективнішим є використання пакета прикладних програм MATLAB з широким класом предметно орієнтованих бібліотек (Toolbox) та інструментом візуального моделювання Simulink [4]. У системі MATLAB також існують широкі можливості для програмування. Її бібліотека C Math (компілятор MATLAB) є об'єктною і містить понад 300 процедур обробки даних мовою C. У середині пакета можна використовувати як процедури MATLAB, так і стандартні процедури мови C, що робить цей інструмент ефективним під час розробки додатків (використовуючи компілятор C Math, можна вбудовувати будь-які процедури MATLAB у готові додатки).

**Мета роботи:** розробка комп'ютерної моделі для дослідження роботи фотоелектричної електростанції із нечітким регулятором мережевого інвертора.

**Аналіз попередніх досліджень.** В роботі [5] наведена розробка моделі та результати моделювання роботи сонячних фотоелектричних панелей під час роботи із узгоджувачами перетворювачами, які, як стверджують автори, запобігають стрибкам струму та напруги за ступінчатої зміни навантаження. Оскільки такий спосіб не забезпечує регулювання вихідної потужності для заданих режимів роботи мережі, це робить його непридатним для вирішення нашої задачі. У статті [6] запропоновано систему керування перетворювачами для сонячних модулів на базі інвертора із ШІМ. Авторами запропоновані математична модель, функціональна схема та алгоритм роботи регулятора інвертора, які передбачають пошук точки максимального відбору потужності. Однак вони не враховують в моделі обмеження, які накладаються під час роботи такого інвертора, а саме: не враховуються кліматичні чинники, які впливають на генеруючу спроможність сонячних модулів, а також особливості енергоринку, які накладають обмеження у випадку відхилення від заявленого графіку генерування енергокомпанією. Спосіб регулювання вихідного струму мережевого інвертора наведений в роботі [7], призначений для забезпечення стабільної передачі максимальної активної потужності в мережу. Недоліком способу є те, що регулювання здійснюється лише при врахуванні струму в частотній області ( $\omega t$ ).

**Матеріали досліджень.** В роботі [8] було запропоновано математичну модель оптимізації процесу перетворення енергії на сонячній електростанції з використанням математичного апарату нечітких множин та здійснено налаштування нечіткого регулятора в ППП MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

Для перевірки адекватності запропонованої математичної моделі оптимізації процесу перетворення енергії на сонячній електростанції з використанням апарату нечіткої логіки було розроблено комп'ютерну модель в ППП Matlab сонячної фотоелектричної станції потужністю 250 кВт, яка складається з 88 паралельних стрінгів, кожен з яких містить 7 послідовно з'єднаних модулів типу SunPower SPR-415E-WHT-D (рис. 1).

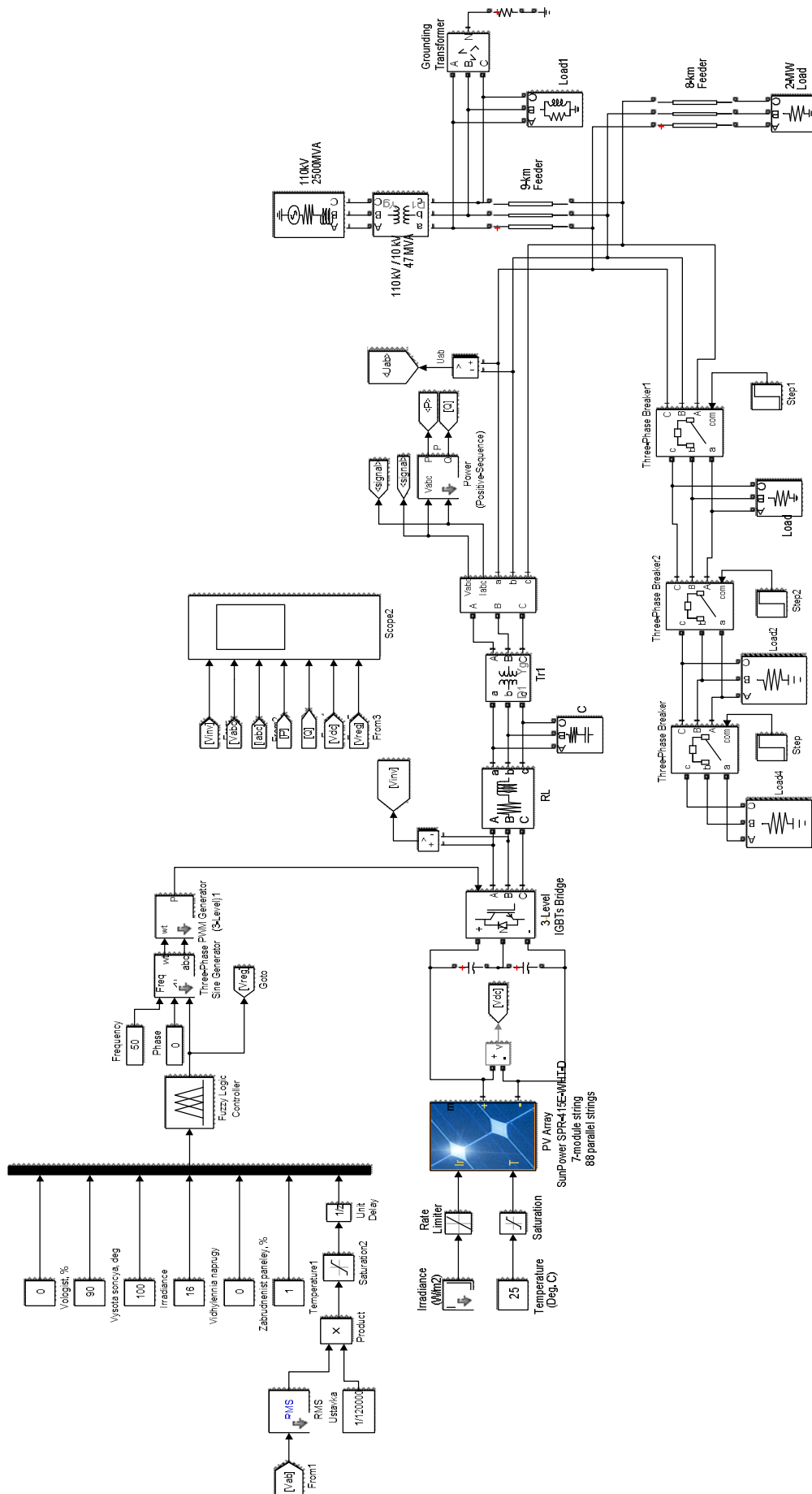


Рис. 1. Комп'ютерна модель фотоелектричної станції в ППП Matlab

За збільшення навантаження на мережу відбувається зниження напруги, що сигналізує про необхідність збільшення пропускної здатності мережі. За зменшення навантаження відбувається зворотній процес. В результаті роботи було здійснено моделювання режиму роботи ФЕС за зміни пропускної здатності мережі, отримані графіки перехідних процесів наведені на рис. 2.

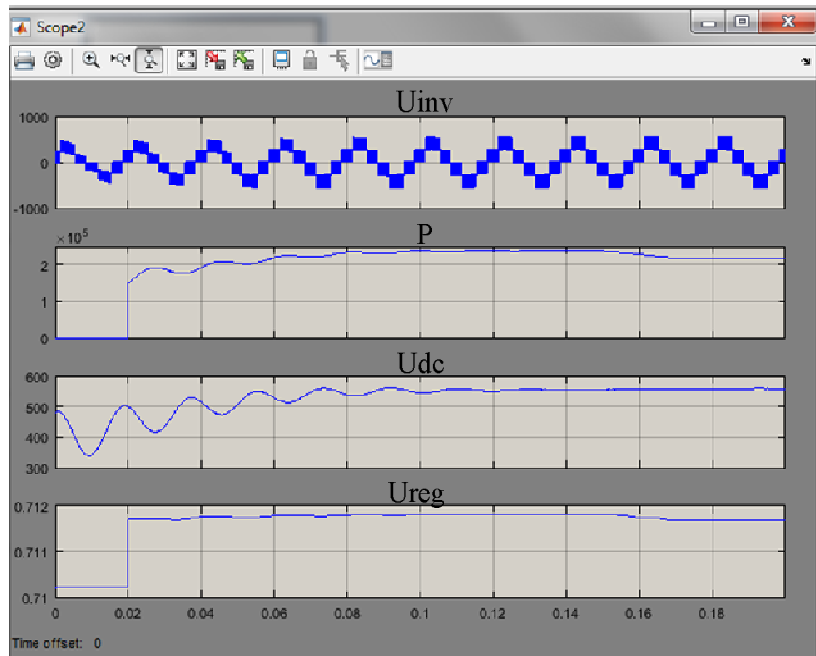


Рис. 2. Результати моделювання роботи фотоелектричної станції з нечітким регулятором

На рис. 2:  $U_{inv}$  – напруга на виході інвертора;  $P$  – активна потужність, яка генерується ФЕС;  $U_{dc}$  – напруга в колі постійного струму інвертора;  $U_{reg}$  – сигнал керування на виході нечіткого регулятора.

Як видно з графіків перехідних процесів (рис. 2), у момент 0.02 с відбувається підключення ФЕС до локальної електричної мережі. На 0.15 с відбувається скид навантаження, як наслідок зменшується пропускна здатність мережі і, як видно з графіків перехідних процесів, сигнал з регулятора зменшується, внаслідок чого зменшується генерування потужності ФЕС. Варто зауважити, що моделювання цього режиму здійснювалося при незмінних кліматичних умовах.

Наступним кроком було здійснено моделювання режиму роботи ФЕС за зміни кліматичних умов. В прикладі розглянуто зменшення інтенсивності сонячного випромінювання, в реальних умовах – раптова захмареність неба. Результати моделювання цього режиму роботи наведено на рис. 3.

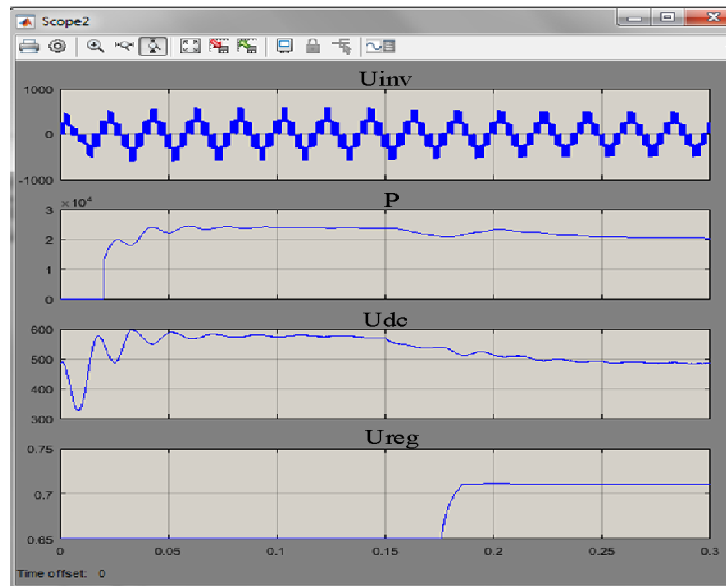


Рис. 3. Результати моделювання роботи фотоелектричної станції з нечітким регулятором при зміні кліматичних умов

З графіків перехідних процесів (рис. 3) видно, що у момент 0.02 с відбувається підключення ФЕС до локальної електричної мережі. На 0.15 с спостерігається зниження напруги в колі постійного струму, що пов'язане зі зміною кліматичних умов, наприклад, раптова захмареність неба. В результаті чого регулятор збільшує керуючий сигнал  $U_{reg}$  і, як наслідок, з невеликим перерегулюванням потужність залишається у коридорі пропускної здатності локальної електричної мережі.

На наступному етапі роботи було здійснено моделювання роботи ФЕС без нечіткого регулятора. Результати роботи показано на рис. 4.

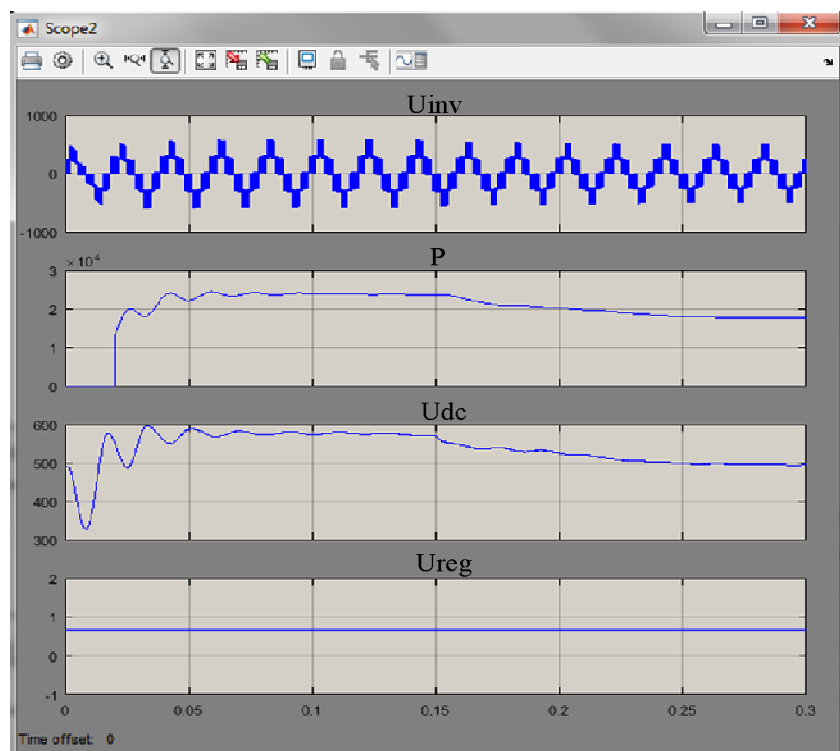


Рис. 4. Результати моделювання роботи фотоелектричної станції без нечіткого регулятора за зміни кліматичних умов

З графіків перехідних процесів (рис. 4) видно, що у момент 0.02 с відбувається підключення ФЕС до локальної електричної мережі. На 0.15 с спостерігається зниження напруги в колі постійного струму, що пов'язане зі зміною кліматичних умов (раптова захмареність неба). Очевидно, що за відсутності нечіткого регулятора потужність генерування ФЕС зменшується пропорційно спаду напруги в колі постійного струму ФЕС.

### Висновки

Розроблено комп'ютерну модель в ППП Matlab Simulink Library Simscape Power Systems ФЕС потужністю 250 кВт з нечітким регулятором. Запропонована модель дозволяє здійснювати налаштування роботи регулятора фотоелектричної електростанції, здійснювати корегування вагових коефіцієнтів та дозволяє перевірити адекватність запропонованої моделі оптимізації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Маляренко В. А. Енергетика, довідник, енергозбереження : наукове видання / В. А. Маляренко, Л. В. Лисак // – Х. : Рубікон. – 2004. – 368 с.
2. Іванець С. А. Використання нечіткої логіки в системах відстеження точки максимальної потужності фотоелектричних перетворювачів / С. А. Іванець, О. В. Красножон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2014. – С. 180 – 187.
3. Механізми функціонування нової моделі ринку електричної енергії України [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.nerc.gov.ua/?id=19761>.
4. Кветний Р. Н. Комп'ютерне моделювання систем та процесів: методи обчислень. Ч. 1 [Електронний ресурс] : навч. посібник / Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О. Р. Бойко, О. Ю. Софіна, О. М. Шушура // Режим доступу : <http://rkvetny.vk.vntu.edu.ua/file/140131cc95bd3d0b1445f644782355ac.pdf>.
5. Маляренко Є. А. Послідовна фотоенергетична система на базі узгоджувальних перетворювачів з гальванічною ізоляцією / Є. А. Маляренко // Энергосбережение. – № 9. – 2014. – С. 43 – 48.
6. Малинин Г. В. Системы управления преобразователями для солнечных модулей на базе инверторов с ШИМ / Г. В. Малинин, Г. А. Белов // Вестник Чувашского университета. – № 3. – 2015. – С. 68 – 80.
7. Govinthasamy N. R.. Analysis and implementation of energy harvesting technique for PV system using multilevel inverter / N. R. Govinthasamy, R. Velevan, V. Chinnaiyan Kumar // Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE). – 2014. – P. 1 – 7.
8. Лежнюк П. Д. Математична модель оптимізації процесу генерування електроенергії в мережу на фотоелектричній станції з використанням апарату нечітких множин / П. Д. Лежнюк, А. А. Бартецький, І. А. Бартецька // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 3. – С. 28 – 36.

Стаття надійшла до редакції 01.08.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 18.08.2018 р.

**Бартецька Ірина Анатоліївна** – аспірантка кафедри електричних станцій і систем.

Вінницький національний технічний університет.