

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА (141)

УДК 621.314

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-23

І. О. ГУНЬКО

Вінницький національний технічний університет

**АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ
ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ**

Ознакою сьогодення є швидкі темпи інтелектуалізації електроенергетичних систем в різних країнах світу. Перед науковцями та інженерами постають нові задачі, пов'язані з розбудовою, удосконаленням, інтегруванням відновлюваних джерел енергії, прогнозуванням виробітку електроенергії, покращанням показників якості електроенергії та надійності електропостачання тощо в енергетичному секторі країни. Для виконання цих завдань необхідно знати відповідні обчислювальні інструменти для проведення дослідів в цій галузі. В статті розглянуто сучасні програмні засоби для моделювання режимів роботи електроенергетичної системи та наведено приклад роботи в одному з них для розв'язання задачі дослідження показників якості електроенергії в мережі з розподіленим генеруванням.

Ключові слова: програмні забезпечення, електричні мережі, режими роботи, розподілене генерування.

I. HUNKO

Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR MODELLING OF OPERATING MODES OF ELECTRICAL SYSTEMS

Today, a characteristic feature of the energy sector is the transition from a system based on fossil fuels to systems running on renewable energy sources. The speed of change and the effectiveness of individual governments' decisions to develop and implement energy sustainability policies depend on countries and their level of economic growth. The World Energy Council supports these changes in the energy sector. In the future, each country's energy systems are expected to undergo significant changes. Distributed generation facilities will displace fossil fuel power plants. It is known that power plants running on renewable energy sources usually have an unstable generation schedule, in addition, they are distributed at different points in the electrical network, which complicates the control system of electricity flows in such systems.

The purpose of the article is to analyze the functionality, industries and features of application of various software for solving electrical problems. A sign of today is the rapid pace of intellectualization of power systems in different countries. Scientists and engineers face new challenges related to the development, improvement, integration of renewable energy sources, forecasting electricity generation, improving electricity quality and reliability of electricity supply, etc. in the country's energy sector. To perform these tasks, it is necessary to know the appropriate computational tools for conducting experiments in this field. The article considers modern software for modelling the modes of operation of the power system and performs a brief comparative analysis of their capabilities. There is also an example of work in one of them to solve the problem of studying the quality of electricity in a network with distributed generation. The obtained results can be used by industry engineers or researchers in choosing software to solve the problem.

Keywords: software, electrical networks, operating modes, distributed generation.

Вступ. На сьогодні характерною ознакою енергетичної галузі є перехід від системи, що базується на викопному паливі до систем, що працюють на відновлюваних джерелах енергії. Швидкість змін і ефективність рішень окремих урядів щодо розробки та впровадження політики щодо забезпечення енергетичної стійкості залежить від країн та рівня їх економічного зростання [1]. Всесвітня рада з питань енергетики підтримує ці зміни в галузі енергетики. В майбутньому очікується, що енергосистеми кожної країни пройдуть через істотні зміни. Об'єкти розподіленого генерування витіснятимуть електричні станції, що працюють на викопному паливі. Відомо, що електричні станції, що працюють на відновлюваних джерелах енергії зазвичай мають нестабільний графік генерування, до того ж вони розподілені в різних точках електричної мережі, що ускладнює систему керування потоками електроенергії в таких системах [2–5]. Окрім, того як зазначається в [7] також останній часом різко зріс попит на електромобілі. Отже зростає кількість та потужність зарядних станцій для цих авто по всій території країни. Також процеси урбанізації міст, розвитку нових технологій і виробництва, призводить до зростання складності систем електропостачання.

Отже, перед енергетикою постають нові задачі, а саме забезпечення стабільності мережі, підтримуючи і допустимих значенням показники якості електроенергії, з урахуванням двонаправлених перетоків потужності в розподільних мережах з нестабільним графіком генерування наявних РДЕ та нестабільним графіком навантаження. Тому виникає необхідність вивчення процесів, що відбуваються в електричних мережах за нових умов функціонування, шляхом виконання комп'ютерного моделювання. На сьогодні на ринку програмних засобів є безліч інструментів для виконання моделювання процесів в електричних мережах. Перед інженером та науковцем постає складна задача, яку саме програму використати для вирішення поставленої задачі. Тому в статті проаналізовано основні програми, що застосовуються для моделювання режимів роботи електроенергетичної системи, починаючи від виробництва, передачі та розподілу до споживання електроенергії.

Проведений аналіз показано в таблиці 1. Так, на сьогодні універсальними, зі зручними інтерфейсами, зрозумілими та з широкими можливостями є такі програми, як Simulink інтегрований в MatLAB (The MathWorks) [8], PowerFactory [9], PSCAD [10], PSS/E [11], що дозволяють виконати

моделювання електричних мереж з ВДЕ та дослідити показники якості електроенергії та стабільності роботи мережі. Також є спеціалізовані програми, такі як WindSlim та SolarPro, спрямовані на моделювання та прогнозування виробітку електроенергії вітровими та фотоелектричними станціями відповідно, а також дозволяють на основі технічних характеристик елементів станцій та статистичних метеорологічних параметрів оцінити економічну ефективність проєктів, оптимізувати розміщення тощо.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз різних програмних засобів

Програма	Інструменти моделювання							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PowerFactory		+		+		+	+	+
PSCAD	+	+	+	+	+	+	+	+
PSS/E		+		+		+	+	+
WindSim		+*						
OptiPower		+		+				
Solar Pro		+**		+				
IPSE Pro	+	+						
ATP		+	+	+	+	+		+
EDSA Paladin Toolkit		+	+	+	+	+	+	+
Open DSS		+	+	+	+		+	+
ETAP tool kit		+	+	+	+	+	+	+
GYM toolkit		+	+	+	+		+	+
POM Applications Suit		+		+				+
AUTODESK Substation Desing			+	+	+			
Grid LAB-D		+		+				+
Power World Simulator		+	+	+				+
ASPEN Toolkit		+	+	+	+	+	+	+
PowerCAD, Windis			+	+	+	+	+	+
EMTP-RV		+	+	+		+	+	+
Easy Power Suites						+	+	+
GYMGRID					+			+
Cable Pro					+	+		
Bentley Substation			+	+	+	+		+
POM Applications Suit				+				+
Grid Spice		+	+	+	+	+	+	+
IPSA		+	+	+	+	+	+	+
MATLAB Simulink	+	+	+	+	+	+	+	+
Графсканер			+	+	+	+		+

* лише ВЕС; ** лише СЕС

1 – моделювання теплових електростанцій; 2 – відновлюваних джерел енергії; 3 – підстанцій, трансформаторів, заземлюючих пристроїв; 4 – систем передачі та розподілу електроенергії; 5 – повітряних та кабельних ліній електропередачі; 6 – розподільних пристроїв та систем захисту; 7 – якості електроенергії; 8 – перетоки потужності та коротких замикань.

Так, зокрема, однією з важливих задач є оптимальне інтегрування об'єктів розосередженого генерування в розподільні мережі для дослідження показників якості електричної енергії в ній.

Моделювання роботи електричної мережі з РДЕ в PSCAD. PSCAD є швидкодіючим, точним та простим для розуміння та використання програмним комплексом для моделювання роботи енергосистем і силових електронних перетворювачів при їх проектуванні, аналізі їх роботи, оптимізації та верифікації. Програма PSCAD має широку бібліотеку елементів та компонентів для аналізу режимів роботи об'єктів електроенергетичної системи.

Бібліотека містить близько 300 компонентів, які можна розділити на такі групи: пасивні елементи; джерела електроенергії; вимикачі; елементи силової електроніки; трансформатори; електричні машини; ЛЕП і кабелі; елементи релейного захисту; експорт та імпорт даних; логічні функції; елементи створення сценаріїв поведінки моделі; фільтри та ін.

В програмному середовищі PSCAD розроблено комп'ютерну модель електричної мережі 110/10/0,4 кВ (рис. 1) з метою дослідження впливу об'єктів розосередженого генерування на параметри режиму мережі та показники якості електроенергії в ній (див. рис. 2).

Елементна база програмного середовища дозволяє використовувати як готові елементи, такі як фотоелектричні установки, вітротурбінні і т.п., так і створювати ці елементи самостійно. Модуль моделювання перехідних процесів EMTDC™ дозволяє дослідити як змінюватимуться показники якості електроенергії в перехідні режими роботи мережі, зокрема, включення/відключення потужних фотоелектричних станцій, відсутність живлення від головної підстанції, автоматичне введення резерву та ін.

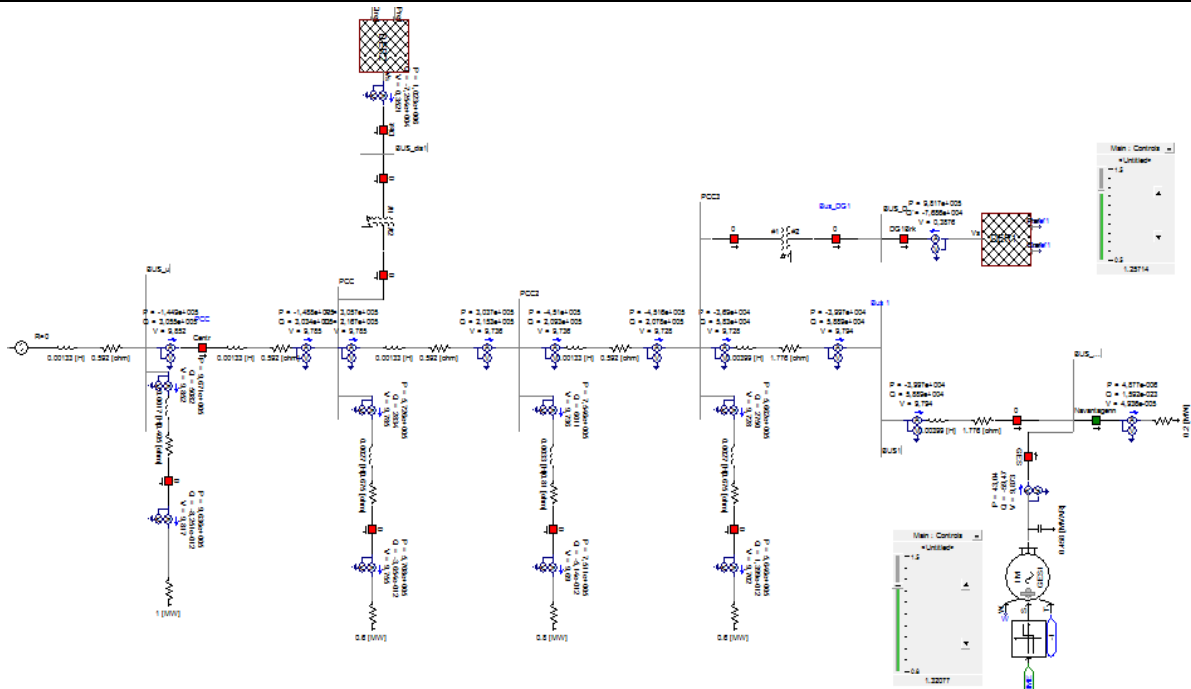


Рис. 1. Модель електричної мережі з об'єктами розосередженого генерування

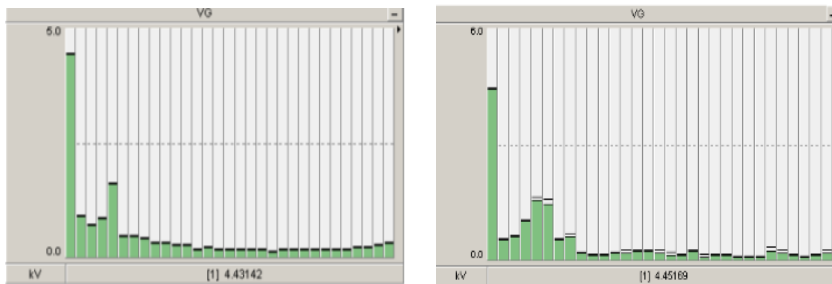


Рис. 2. Спектр гармонійних складових в напрузі на шинах ФЕС

Висновки. На сьогодні на ринку програмних засобів існує багато комплексів для моделювання режимів роботи електроенергетичної системи, аналізу роботи як окремих елементів, так і частин системи в цілому. В статті виконано аналіз найбільш поширених програм, їх можливостей та галузей застосування. Результати аналізу можуть бути корисними як інженерам галузі, так і науковцям і дослідникам, так як дозволяють заощадити час для вибору програмного засобу для розв'язання поставленої задачі.

Література

1. Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>.
2. Матвійчук В.А. Особливості електропостачання потужних підприємств АПК з використанням нейромереж та розподілених джерел електроенергії / В.А. Матвійчук, О.Є. Рубаненко, О.О. Рубаненко // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: технічні науки. – 2015. – № 2 (90). – С. 117–123.
3. Рубаненко О.О. Аналіз роботи ВДЕ в розподільних мережах та шляхи компенсації їх нестабільності / О.О. Рубаненко, В.П. Янович, І.О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 5. – С. 176–179.
4. Блінов І.В. Короткостроковий інтервальный прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії / І.В. Блінов, В.О. Мірошник, П.В. Шиманюк // Праці інституту електродинаміки НАН України. – 2019. – № 54. – С. 5–12.
5. Рубаненко О.О. Мікроелектромережі як засіб підвищення надійності електропостачання підприємств в АПК / О.О. Рубаненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2016. – № 175. – С. 43–45.
6. Кучанський В.В. Заходи та засоби підвищення надійності та якості електропостачання в електроенергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії / В.В. Кучанський, А.Б. Нестерко, І.О. Гунько // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 196 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків : ХНТУСГ, 2018. – С. 41–43.

7. Sree Lakshmi G., Rubanenko O., Hunko I. Renewable Energy Generation and Impacts on E-Mobility, Journal of Physics: Conference Series, 2020 J. Phys.: Conf. Ser.1457 012009. P. 1–8.
8. Mathworks. MatLab. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
9. DiGSILENT PowerFactory Software. URL: <https://www.digsilent.de/en/>. Accessed on: Apr. 2020.
10. EMTDC, PSCAD. URL: <https://hvdc.ca/pscad>. Accessed on: Apr. 2020.
11. PSS PDMS. URL: www.siemens.com. Accessed on: Apr. 2020.

References

1. Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2019 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>.
2. Matviichuk V.A. Osoblyvosti elektropostachannia potuzhnykh pidpriemstv APK z vykorystanniam neiromerezha ta rozpodilnykh dzherel elektroenerhii / V.A. Matviichuk, O.Ie. Rubanenko, O.O. Rubanenko // Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Seriya: tekhnichni nauky. – 2015. – № 2 (90). – S. 117–123.
3. Rubanenko O.O. Analiz roboty VDE v rozpodilnykh merezhakh ta shliakhy kompensatsii yikh nestabilnosti / O.O. Rubanenko, V.P. Yanovych, I.O. Hunko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 5. – S. 176–179.
4. Blinov I.V. Korotkostrokovyi intervalnyi prohnos sumarnoho vidpusku elektroenerhii vyrobnykamy z vidnovliuvanykh dzherel enerhii / I.V. Blinov, V.O. Miroshnyk, P.V. Shymaniuk // Pratsi inctytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. – 2019. – № 54. – S. 5–12.
5. Rubanenko O.O. Mikroelektromerezhi yak zasib pidvyshchennia nadiinosti elektropostachannia pidpriemstv v APK / O.O. Rubanenko // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. «Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy». – 2016. – № 175. – S. 43–45.
6. Kuchanskyi V.V. Zakhody ta zasoby pidvyshchennia nadiinosti ta yakosti elektropostachannia v elektroenerhetychnykh systemakh z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii / V.V. Kuchanskyi, A.B. Nesterko, I.O. Hunko // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. Vypusk 196 "Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy". – Kharkiv : KhNTUSH, 2018. – S. 41–43.
7. Sree Lakshmi G., Rubanenko O., Hunko I. Renewable Energy Generation and Impacts on E-Mobility, Journal of Physics: Conference Series, 2020 J. Phys.: Conf. Ser.1457 012009. P. 1–8.
8. Mathworks. MatLab. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
9. DiGSILENT PowerFactory Software. URL: <https://www.digsilent.de/en/>. Accessed on: Apr. 2020.
10. EMTDC, PSCAD. URL: <https://hvdc.ca/pscad>. Accessed on: Apr. 2020.
11. PSS PDMS. URL: www.siemens.com. Accessed on: Apr. 2020.

Надійшла / Paper received: 09.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020