

АНОТАЦІЯ

Враховуючи курс України на перебудову енергетичного сектору в напрямку "зеленої" енергетики, організація та функціонування енергетичного ринку виступає ключовим питанням. Забезпечення сталого видобутку електрики застосуванням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і без значних перерв в її постачанні внаслідок виникнення аварійних режимів у електричній мережі є **актуальним питанням**.

Галузь застосування - альтернативна вітроенергетика.

Об'єкт дослідження - математична модель синхронного генератора у стані аварійного короткого замикання його трифазної обмотки, розташованої на статорі.

Предмет дослідження - вітрогенераторна електрична станція.

Мета роботи - виконати аналіз роботи генератора повітряної установки в аномальних умовах, а саме, у частині можливих аварійних коротких замикань на вихідних затискачах синхронного вітрогенератора, які виникають при порушенні кабельної електричної мережі, що приєднує його до випрямлячів ділянки прийому виробленої електрики.

В роботі виконано моделювання задач: розрахунку швидкості і тиску повітря, яке оббігає лопать генератора - на підставі рішення задачі Нав'є - Стокса, щодо встановлення його ефективного кута нахилу при зміні швидкості повітря; визначення струмів короткого замикання у мережі живлення до якої приєднано генератор на ділянці віддаленої від генератора та безпосередньо біля генератора; визначень струмів короткого замикання на самому генераторі у двох режимах його роботи - на холостому ході і під час навантаження. Розрахунки довели, що аварійні режими не є критичними для його роботи, а для забезпечення його цілісності, достатньо найпростішого диференційного захисту із застосуванням трансформаторів струму. Додатково виконано моделювання перехідного процесу у розподільному трансформаторі, що дозволить встановити передаточний коефіцієнт усього ланцюга генератор - мережа живлення.

Матеріали досліджень є корисними у навчальному процесі при підготовці фахівців відповідного профілю.

Звіт про ДП: 124 стор., 12 табл., 55 рис., 31 джерел, додаток.

ABSTRACT

Taking into account the course of Ukraine on the development of the energy sector in the direction of “green” energy, the organization and functioning of the energy market is a key issue.

Ensuring of sustainable electricity production using renewable energy sources (RES) and without significant interruptions in its supply due to the occurrence of emergency modes in the electrical network is an urgent issue.

The field of application- alternative wind energy.

The object of research is a mathematical model of a synchronous generator in the state of an emergency short circuit of its three-phase winding located on the stator.

The subject of study is a wind turbine electric power plant.

The purpose of the study is to perform the analysis of air installation generator operation in abnormal conditions, namely, in the conditions of possible emergency short circuits on the output terminals of the synchronous wind generator, which occur when the cable electrical network that connects it to the rectifiers of the generated electricity receiving area is disturbed.

In the study, the simulation of the following tasks was performed: calculation of the speed and pressure of the air that runs around the generator blade - based on the solution of the Navier-Stokes problem, regarding the determination of its effective inclination angle when the air speed changes; determination of short-circuit currents in the power network to which the generator is connected in the area remote from the generator and directly near the generator; determination of short-circuit currents on the generator itself in two modes of its operation - at idle and during loading. The calculations proved that emergency modes are not critical for its operation, but to ensure its integrity, the simplest differential protection using current transformers is sufficient. In addition, the simulation of the transient process in the distribution transformer was performed, which will allow to determine the transmission ratio of the entire generator - power supply network chain.

The materials of the study are useful in the educational process of relevant profiles specialists training.

Report on GP: 124 pages, 12 tables, 55 figures, 31 sources, 1 appendix.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЕКОНОМІКО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТКУ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ТА УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	8
1.1. Економічні основи формування ринку відновлюваних джерел енергії.....	8
1.2 Європейські засади формування ринку відновлюваних джерел енергії.....	9
1.3. Перспективи розвитку ринку відновлювальних джерел енергії в Україні з урахуванням європейського досвіду.....	12
Постановка завдання.....	17
Вихідні дані до роботи.....	18
Висновки до розділу 1.....	20
РОЗДІЛ 2. ВІТРОГЕНЕРУЮЧА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ.....	22
2.1. Конструкція вітряних генераторів енергії.....	22
2.2. Принцип дії вітрогенератора.....	23
2.3. Моделювання задачі флюїдної динаміки Нав'є Стокса щодо тиску повітря на поверхню лопаті.....	25
Висновки до розділу 2.....	28
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	29
3.1. Теоретичні відомості про короткі замикання в електричних установках.....	29
3.2. Види коротких замикань.....	30
3.3. Короткі замикання, як перехідний процес у електричному колі.....	32
3.4. Моделювання електропостачання для розрахунку струмів короткого замикання в мережі вище 1000 В у середовищі Electronics Workbench - MULTISIM.....	39
3.4.1. Визначення опорів заступної схеми розподільчої мережі.....	40

Висновки до розділу 3.....	48
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОБОТИ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ПРИ АВАРІЙНОМУ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ.....	50
4.1. Струм, індуктивність і обертовий момент трифазних електричних машин.....	50
4.1.1. Результируючі струми, напруги і потокозчеплення.....	50
4.2. Система обертових координат.....	52
4.3. Індуктивності і потокозчеплення, утворені струмами у статорі (роторі).....	54
4.4. Потокозчеплення, утворене сумісною дією струмів в статорі та в роторі.....	56
4.5. Рівняння напруг у векторній формі.....	57
4.6. Електрична потужність і обертовий момент.....	60
4.7. Система відносних одиниць. Базисні одиниці.....	63
4.8. Рівняння у відносних одиницях.....	64
4.8.1. Рівняння електричних напруг (електричної рівноваги).....	64
4.8.2. Рівняння потокозчеплень.....	64
4.8.3. Рівняння руху (рівноваги моментів).....	65
4.9. Методи аналізу перехідних процесів в електричних машинах.....	67
4.9.1. Аналітичні методи і постановка задачі.....	70
4.9.2. Принцип незмінності потокозчеплення.....	70
4.10. Численні методи.....	71
4.11. Комп'ютерний аналіз перехідних процесів. Метод Рунге - Кутта	71
4.12. Перехідні процеси при короткому замиканні синхронного генератора.....	73
4.12.1. Намагнічуючі сили і струми статора та ротора.....	73
4.12.2. Виміри при раптового трифазного короткого замиканні.....	76
4.13. Розрахунок струмів раптового короткого замикання на підставі принципу незмінності потокозчеплення.....	79
4.13.1. Струми статора і індуктора у мить короткого замикання.....	79

4.13.2. Розрахунок сталих часу.....	83
4.13.3. Рівняння струмів.....	85
4.13.4. Дослідження раптового короткого замикання синхронної машини засобами ПК.....	86
4.14. Перехідні процеси в розподільчому трансформаторі.....	104
4.14.1. Увімкнення трансформатора на напругу живлення.....	104
4.14.2. Раптове коротке замикання трансформатора.....	105
Висновки до розділу 4.....	109
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	110
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113
ДОДАТОК.....	117

ВСТУП

Охорона навколишнього середовища постає все більш актуальним завданням з року на рік. Звідси найважливішим постають питання застосування альтернативних джерел енергії, до яких відноситься і вітроенергетика.

Започаткована в Україні ДТЭК (енергетична компанія) і Датська компанія Vestas, світовий лідер у виробництві вітрових турбін, склали договір на будівництво першої черги Тілігульської повітряної генерації електрики потужністю 126 МВт*рік у Миколаївській області. Фінансування першої черги планується із коштів, отриманих у 2019 році в наслідок випуску зелених єврооблігацій. Цей проект стане діючим кроком Групи ДТЕК по досягненню вуглецевої нейтральності (декарбонізації) до 2040 року і внеском України у реалізацію європейської програми Green Deal. На ДТЕК Тілігульської повітряної електричної станції (ПЕС) будуть встановлені інноваційні onshore- повітряні турбіни компанії Vestas. Ці турбіни здатні максимізувати видобуток електричної енергії при слабкому повітрі.

Відновлювальна енергетика (англ. renewable energy) – це галузь енергетики, метою якої є пошук, отримання та використання енергії з відновлюваних джерел енергії [1]. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) здатні поновлюватися самостійно [2]. Відбувається таке поновлення природним шляхом. До природних джерел енергії відносять: сонячну енергію, енергію води, вітру, органічну біомасу та ін. Тобто, суть полягає в тому, що відновлювальну енергію неможливо використати повністю в довгостроковій перспективі. Як приклад, можна порівняти нафту з енергією сонця. Нафта – це корисні копалини, які формуються під землею протягом багатьох століть, в той же час сонце – це космічне тіло, яке щосекунди випромінює колосальну кількість енергії, а в космічних масштабах зірка нашої сонячної системи вважається молодою, тож випромінювання енергії буде тривати ще багато мільйонів років. Тобто, нафта – сировина, яка в довгостроковій перспективі може закінчитись, а для її поновлення

знадобиться час. Сонце – джерело енергії, яке неможливо вичерпати так, як нафту, або інші види традиційних джерел енергії (газ, вугілля). Існує декілька видів відновлювальних джерел електроенергії: сонячна енергія; енергія вітру; води (гідроенергетика); геотермальна енергія; розсіяна теплова енергія та енергія біомаси [3]. Традиційно у наукових джерелах виділяють три види: енергія сонця; енергія землі та енергія, яку можна отримати за допомогою руху планети [4]. Для практичних цілей відновлювальні джерела енергії поділяють на дві групи:

1. нетрадиційні відновлювані джерела енергії 1-ї групи (НВДЕ-1), до складу якої відносять енергію сонця, води, геотермальну, вітру тощо;

2. нетрадиційні відновлювані джерела 2-ї групи (НВДЕ-2) поєднують енергію, отриману з біомаси, продуктів її переробки, побутових відходів тощо [5].

Отже, існує значна кількість видів та підвидів відновлювальних джерел енергії.

Слід зазначити, що відновлювана енергетика має і позитивні, і негативні риси. До негативних можна віднести те, що густина енергетичного потоку від ВДЕ є малою та неоднаковою для різних видів енергії. Наприклад, густина енергетичного потоку сонячної енергії складає $1,36 \cdot 10^{-3}$ МВт/м², геотермальної – $3 \cdot 10^{-8}$ МВт/м², густина вітрової енергії при швидкості вітру в 10 м/с складає $6 \cdot 10^{-4}$ МВт/м², в той час, коли цей же показник у АЕС складає 0,2 МВт/м². Тобто, існує дисбаланс та залежність від природи між можливостями генерувати енергію для життєдіяльності та постійно зростаючими потребами людства. Але з кожним кроком розвиток технологій виробництва, накопичення (збирання) відновлюваної енергії збільшує можливості споживання. Ціна на ринку ВДЕ формується під впливом ринкових та неринкових факторів, залежить від попиту, пропозиції, витрат на виробництво, кон'юнктури ринку, тощо.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сиротюк М. І. Поновлювані джерела енергії: навч. посіб. / за ред. С. І. Кукурудзи. Л. : ЛНУ ім. І.Франка, 2008. 248 с.
2. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. К. , Наукова думка, 1999. 320 с.
3. Сиротюк М. І. Поновлювані джерела енергії: Навч. посіб.: ЛНУ ім. І.Франка, 2008. 248 с.
4. Мисак Й. С., Возняк О. Т. , Дацько О. С. , Шаповал С. П. Сонячна енергетика: теорія та практика. Нац. ун-т «Львівська Політехніка». Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с.
5. Дудюк Д. Л. , Мазепа С. С. , Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії і задачі: навч. посіб., Львів 2008. 188 с.
6. Рівноважна ціна в ринковій економіці. Зміна попиту і пропозиції. М., 2011. 20 с.
7. Paris Agreement [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en (дата звернення 03.01.2020).
8. Communication from the commission Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth [Electronic resource]. URL: <https://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20EN%20BARROSO%20%20%2007%20-%20Europe%202020%20-%20EN%20version.pdf> (дата звернення 03.01.2020).
9. Circular Economy Package [Electronic resource]. URL: <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>(дата звернення 03.01.2020)
10. Circular Economy Package [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/environment/green-growth/index_en.htm (дата звернення 03.01.2020).
11. Зелене зростання [Electronic resource]. URL: <http://cawater-info.net/greengrowth/index.htm> (дата звернення 03.01.2020).
12. Treaty of Maastricht On European Union [Electronic resource]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

content/EN/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:xy0026&from=EN (дата звернення 03.01.2020).

13. Renewable Energy: an urgent need for Europe Closing Session of the European Conference for Renewable Energy "Intelligent Policy Options" Berlin, 21 January 2004 [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_04_29 (дата звернення 01.10.2019).

14. Directive 2009/28/ec of the european parliament and of the council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC [Electronic resource]. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

(дата звернення 03.01.2020).

15. Communication from the commission to the European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf (дата звернення 03.01.2020).

16. Renewable Energy Prospects for the European Union [Electronic resource]. URL: https://www.irena.org/-media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата звернення 03.01.2020).

17. Renewable energy statistics [Electronic resource]. URL https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics (дата звернення 07.01.2020).

18. Офіційний сайт Міністерства енергетики та захисту довкілля. Статистична інформація за січень - жовтень 2019 року [Електронний ресурс]

URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245424948&cat_id=35081 (дата звернення 15.01.2020).

19. Закон України “Про ринок електричної енергії” (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст.312) [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення 15.01.2020).
20. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року. Звіт за результатами моделювання базового та альтернативних сценаріїв розвитку енергетичного сектору. [Електронний ресурс] URL: https://ua.boell.org/sites/default/files/perehid_ukraini_na_vidnovlyuvanu_energetiku_do_2050_roku.pdf (дата звернення 15.01.2020).
21. Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. Енергія Сонця [Електронний ресурс] URL: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (дата звернення 21.10.2019).
22. Портал новин AVENSTON [Електронний ресурс] URL: <https://avenston.com/> (дата звернення 15.01.2020).
23. Павлішак О. Латвія - в лідерах ЄС по використанню поновлюваних джерел енергії для опалення [Електронний ресурс] URL: <https://lv.sputniknews.ru/economy/20190304/11089120/Latviya-v-liderakh-ES-poispolzovaniyu-vozobnovlyaemoj-energii-dlya-otopleniya.html> (дата звернення 15.01.2020).
24. Пріоритетні заходи для зменшення споживання природного газу в Україні (до 2022 року) [Електронний ресурс] URL: <https://zdolbun.gov.ua/energetychnyj-potentsial-tverdyh-pobutovyh-vidhodiv-v-ukrayini-dosyt-vysokyj/> (дата звернення 15.01.2020).
25. Ресурс : <https://vencon.ua/ua/articles/printsip-raboty-vetrogeneratora>
26. Обухов С. Г. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Математическое моделирование в системах электроснабжения» для студентов, обучающихся по направлению 140200 «Электроэнергетика», Томський політехнічний університет, 2011р.
27. Байдак Ю. В. Лекційні матеріали для самостійного опрацювання дисципліни "Спеціальний курс електричних машин". Одеський національний політехнічний університет, 2020 рік, 57 с.

28. Безруких П.П. Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие) / М.: изд. «Энергия», 2010. – 320 с. 8.
29. G. Abad, J. s. Lo´pez, M. A. Rodrı´guez, L. Marroyo, and G. Iwanski Doubly fed induction machine: Modeling and control for wind energy generation / Wiley, 2011. – 633 p.
30. A.D. Hansen, P. Sørensen, F. Iov, and F. Blaabjerg Control of variable speed wind turbines with doubly-fed induction generators / Wind Engineering, Vol. 28(4), 2004. – p. 411-432.
31. Никишин А.Ю., Казаков В.П. Современные ветроэнергетические установки на базе асинхронных машин // Современные проблемы науки и образования. – № 6/2012.