

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ І ВІТРОЕНЕРГЕТИКА В РАМКАХ НОВОЇ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ ОНПУ

О. Ю. Маєвська, Д. А. Івлєв, П. В. Хвалигін
Одеський національний політехнічний університет

Анотація. У статті описується побудова навчального курсу «Відновлювані джерела енергії» для спеціалізації «Інженерія розумних електротехнічних систем», створеної на нашій кафедрі за підтримки міжнародного проекту ALIOT, і лабораторний стенд, побудований на базі мікроконтролеру Arduino. Описується зміст лабораторних робіт, які можна виконувати на стенді: дослідження зовнішніх характеристик різних вітрогенераторів, режими роботи вітрогенератора при різній швидкості вітру, навантаженні, куті атаки, а також спосіб виводу цих значень на комп'ютер за допомогою Arduino для моніторингу стану генератора в реальному часі.

Ключові слова: IoT, вітроенергетика, учбовий курс, лабораторний стенд.

Вступ

Згідно зі звітом Глобального Ради з вітроенергетики (GWEC) за 2019 год [1] всього в світі вітрогенератори виробляють приблизно 651 GW електроенергії, що, згідно з тим же звітом, в 27 разів більше, ніж вироблялося в 2001 році. Також в 2019 році зростання потужності, що виробляється вітрогенераторами, склав 60,4 GW. У 2001 році таке зростання становило 6,5 GW. За прогнозом таке зростання збережеться і навіть збільшиться. Так в 2020 році планується встановити вітрогенераторів, загальною потужністю 76,1 GW. Така тенденція стрімкого зростання загальних обсягів виробництва електроенергії за відносно короткий термін свідчить про великий інтерес світової спільноти до даного типу виробництва електроенергії.

В Україні складається аналогічна ситуація з ростом загальних обсягів виробництва електроенергії. Так в звіті Української вітроенергетичної асоціації за 2018 год [2] вказано, що в 2018 році сумарна потужність всіх вітроелектростанцій в Україні становить 620,6 MW. Хоч у 2014 році сумарна потужність нових встановлених вітроелектростанцій сильно скоротилося (з 126,3 до 16,7 MW), зараз зростання потужностей вітроенергетики знову став набирати темп, чому свідчить будівництво Сиваської ВЕС (планована потужність - 250 MW) і Мирненська ВЕС (163 MW) в Херсонській області, а також ряду інших будівництв.

Однак для підтримки стабільної роботи вітроелектростанцій слід виконувати велику кількість небезпечної і складної роботи, такої як

профілактика і усунення однакових неполадок всередині генератора, що виникають час від часу. Для вирішення більшості таких завдань, а також для віддаленого управління і моніторингу вітрогенераторів зараз починають використовувати технологію Інтернету речей. Так як технологія нова і не весь потенціал її застосування зараз використовується, потрібна велика кількість висококваліфікованих фахівців, здатних працювати з даною технологією в галузі поновлюваних джерел енергії.

Для навчання таких фахівців в Одеському національному політехнічному університеті для спеціальності 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (спеціалізації «Інтелектуальні електротехнічні системи»), за підтримки міжнародного проекту ALIOT, розроблений навчальний курс «Відновлювані джерела енергії» а також лабораторні стенди з дослідження роботи вітрогенераторів і сонячних панелей, створені з технологією Інтернету речей. Метою даної статті є підвищення якості освітніх програм з нетрадиційної енергетики та створення компонентів навчального процесу, орієнтованих на підготовку кваліфікованих кадрів для роботи в області вітроенергетики.

1. Поточний стан вітроенергетики.

Як видно з вищенаведених цифр, розвиток вітроенергетики нарощує темпи з кожним роком. Однак є і безліч проблем, з якими стикаються виробники вітроустановок, експлуататори і навіть споживачі.

Перша, і найважливіша проблема - відсутність достатнього фінансування галузі. Особливо гостро ця проблема стояла для української вітроенергетики, однак, як тільки держава взяла курс на енергетичну незалежність, виробники і проекти альтернативних і

поновлюваних джерел енергії почали отримувати державну фінансову підтримку.

Друга проблема теж економічна - мала кількість виробників вітрогенераторів і вітроустановок. В Україні всього 3 виробника вітрогенераторів. Серед них завод «Південмаш» - «WindEnerg Ltd.», «Світ вітру» і «Windelectric». Однак і ці компанії не випускають по сотні вітрогенераторів в місяць, як це роблять американські і китайські заводи. Причина цього - низький попит на продукцію.

Ще одна проблема галузі - обмеженість частки ВЕС в системі. Так, за підрахунками експертів [3], з урахуванням резервної потужності відповідно до вимог до стійкості і надійності роботи енергосистем, потужність найбільшої електростанції в системі не повинна перевищувати 12%, а потужність одного генератора - 2-3% її встановленої потужності. Однак, цю проблему вирішується об'єднанням енергосистем (на зразок USTE) різних країн з різним потенціалами для вітропарків.

Також залишається проблема з кваліфікованими кадрами для роботи з об'єктами нетрадиційної енергетики. Як говорилося, з часом частка нетрадиційних джерел енергії на ринку енергії зростає, а кількість фахівців, здатних працювати з ними не відповідає такому зростанню. Особливо гостро ця проблема стоїть в Україні. Рішення полягає в створенні нових навчальних курсів по цій спеціальності і залученні студентів до навчання. Автори статті вважають своєю метою допомогти у вирішенні саме цієї проблеми.

2. Опис лабораторного стенду «Вітроенергетика»

Лабораторний стенд складається з двох частин: нижньої панелі з вимірювальними приладами та інструментами регулювання роботи вітрогенератора, і верхньої, в якій наочно показується процес роботи вітрогенерації. Фотографія стенду і схема його роботи представлені на рис. 1 і рис. 2 відповідно.

Стенд оснащений:

- цифровим вольтметром;
- цифровим амперметром;
- магазином опорів;
- змінним резистором;
- цифровим тахометром;
- цифровим крильчатим анемометром;
- вентилятором зі схемою регулювання потужності;
- поворотним механізмом.



Рис. 1. Лабораторний стенд «Вітроенергетика» (зовнішній вигляд)

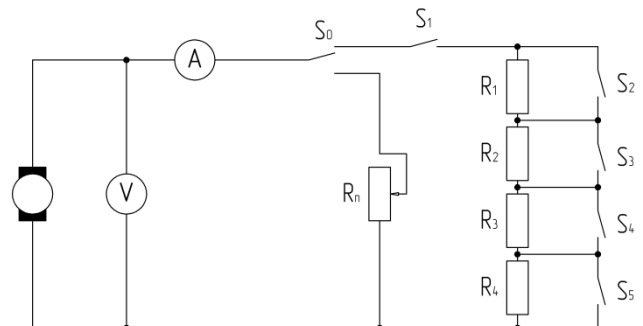


Рис. 2. Вимірювальна схема стенду

Як програмно-апаратного забезпечення управління електронними пристроями стенду «Вітроенергетика» була обрана платформа Arduino. Arduino - це відкрита програмована апаратна платформа для роботи з різними фізичними об'єктами. Вона включає плату з мікроконтролером, а також спеціальне середовище розробки для написання програмного забезпечення мікроконтролера. В даному стенді Arduino використовується для виведення деяких даних, таких як вихідна напруга, сила струму і частота обертів генератора, на комп'ютер і подальшої побудови графіків в режимі реального часу. Для цього використовується хмарний ресурс ThingSpeak. (Рис. 3)

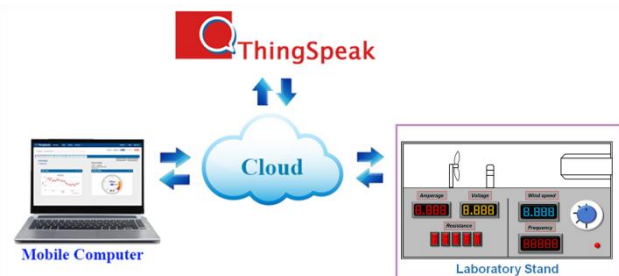


Рис. 3. Схема взаємодії стенда, комп'ютеру та ThingSpeak

Також для проведення лабораторних робіт на цьому стенді було створено дві моделі вітрогенераторів, що мають різну вісь обертання

лопастей - вертикальну і горизонтальну, для порівняння режимів їх роботи. Незабаром, для розширення кількості досліджень, які можна проводити на стенді, будуть створені ще моделі вітрогенераторів, що відрізняються за типом генерації і типу лопатей.

3. Лабораторний практикум з курсу «Вітроенергетика»

Метою лабораторного практикуму є вивчення основних принципів роботи вітрогенераторів і її режимів роботи при різних умовах. Стенд дозволяє виконувати наступні роботи:

- дослідження зовнішніх електричних характеристик генератора;
- дослідження залежності потужності від швидкості вітру;
- дослідження залежності потужності від кута атаки для двох типів вітрогенераторів;
- дослідження залежності частоти обертів лопатей від навантаження на генератор.

Список можливих досліджень буде доповнюватися в процесі подальшого удосконалення стенду.

Розглянемо більш докладно обладнання, що використовується для виконання лабораторних робіт.

3.1. Дослідження зовнішніх електричних характеристик генератора.

При цьому дослідженні знімається вольт-амперна характеристика генератора при різному навантаженні. За результатами експерименту визначають основні характеристики генератора, номінальне навантаження, необхідну для його роботи в номінальному режимі, а також можна знайти точку максимальної потужності генератора (точку МРРТ).

Для проведення експерименту необхідно розімкнути ланцюг навантаження на генератор для роботи генератора в режимі холостого ходу. Далі необхідно включити вентилятор для створення повітряного потоку. Коли турбіна вітрогенератора буде обертатися на стабільній швидкості, почати зменшувати навантаження на генератор. На стенді «Вітроенергетика» це можна зробити двома способами: за допомогою змінного резистора і за допомогою магазину опорів.

Після проведення експерименту необхідно побудувати 2 графіка: графік залежності напруги від струму в колі і графік залежності потужності від величини навантаження. По першому графіку можна визначити номінальну напругу на

затискачах генератора і номінальну силу струму в колі навантаження генератора для подальших досліджень, а по другому - точку максимальної потужності.

На рис. 4 наведено приклад вольт-амперної характеристики, отриманої при проведенні лабораторних випробувань стенду. Дві лінії на графіку відповідає двом способам зміни навантаження.

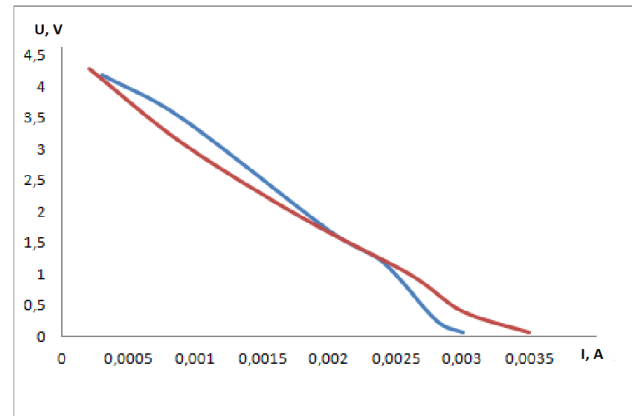


Рис. 4. Зовнішня характеристика генератору

Також в цей же час ці характеристики будуть будуватися на комп'ютері, з'єднаним за допомогою платформи ThingSpeak з Arduino. Отримані на комп'ютері графіки будуть використовуватися для порівняння результатів дослідження студентів і встановлення ступеня їх достовірності.

3.2. Дослідження залежності електричної потужності від швидкості вітру.

Після проведення експерименту студенти можуть побудувати графік залежності електричної потужності від швидкості вітру. Результати дослідження використовуються в вітрогенератори для встановлення номінальної швидкості вітру, необхідної для отримання максимальної потужності від вітрогенератора.

Для проведення експерименту необхідно включити вентилятор на мінімальну потужність і встановити навантаження на генератор, відповідну номінальній напрузі і номінальною силі струму. Плавню збільшуючи швидкість вітру, знімаються показання вольтметра і амперметра. За цими показниками студенти рахують електричну потужність. На рис. 5 наведено приклад графіка залежності потужності від швидкості вітру, отриманий при проведенні лабораторних випробувань стенду.

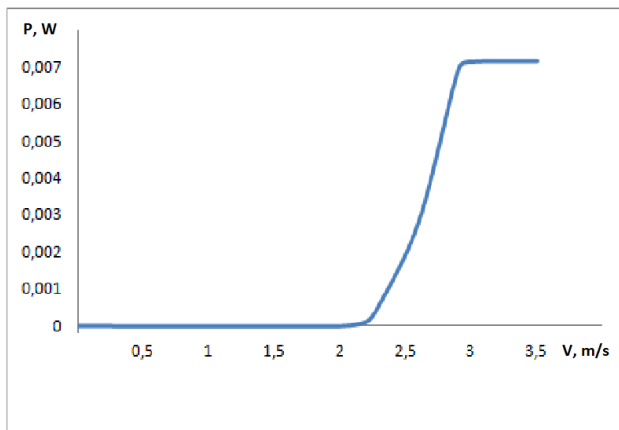


Рис. 5. Залежність потужності від швидкості вітру

Така характеристика вітрогенератору допомагає встановити номінальну швидкість вітру, необхідну для стабільної роботи даної вітроустановки. Вона використовується при виборі оптимального типу генератора для місцевості, в якій він буде встановлений. Для цього порівнюється номінальна швидкість вітру, необхідна для максимальної потужності, що генерується і середньорічна швидкість вітру в регіоні.

3.3. Дослідження залежності потужності від кута атаки для двох типів вітрогенераторів.

В цьому експерименті студенти будуть порівнювати два типу вітрогенераторів: з горизонтальними і вертикальними лопатями. Це необхідно для розуміння принципової різниці в роботі двох генераторів в різних умовах.

Для експерименту необхідно поставити на стенд для дослідження перший генератор, встановити номінальне навантаження на генератор і номінальну швидкість вітру. При досягненні стабільної швидкості обертів турбіни генератора почати плавно повертати стійку вітрогенератора, паралельно знімаючи показання амперметра і вольтметра для підрахунку потужності. Ручка повороту генератора має градуювання, що дозволяє точно визначати кут, на який повернутий генератор. Поворот здійснюється тільки в одну сторону, за вибором студентів. Після зняття показань необхідно замінити генератор і в точності повторити експеримент. Після проведення експерименту студенти отримують на графіку дві криві, що описують залежність потужності від кута атаки турбіни генератора.

Результати даного експерименту не відтворюються на комп'ютері, через те, що поворот стійки відбувається за допомогою механічної черв'ячної передачі, і поки що, у цій

версії стенду, немає можливості точно автоматично визначити кут повороту для передачі його на платформу ThingSpeak.

3.4. Дослідження залежності частоти обертів лопатей від навантаження на генераторі.

При проведенні цього експерименту студенти ознайомляться з таким явищем, як гальмування турбіни вітрогенератора при короткому замиканні контактів генератора. Так само присутнє і зворотнє явище різкого збільшення кількості обертів турбіни при підвищенні навантаження або обриву ланцюга.

Для проведення експерименту необхідно встановити вентилятор на постійну швидкість, кут атаки встановити рівним 90° . Початкова навантаження на ланцюг буде максимальна (холостий хід). При цьому кількість обертів в хвилину, що вимірюється оптичним тахометром, буде на максимальному рівні. При зменшенні навантаження турбіна вітрогенератора буде сповільнюватися і при короткому замиканні може і зупинитися зовсім. Знявши показання вольтметра, амперметра і тахометра, можна побудувати графік залежності частоти обертів турбіни від опору ланцюга, яке студенти зможуть порахувати непрямым методом.

Знання цих явищ необхідно для підтримки навантаження на генератор в певних межах, при яких турбіна не зупиниться і не розкрутиться до частоти, при якій її структура може бути зруйнована. Подібні руйнування турбіни при високих, а часом і надзвукових, швидкостях обертання лопатей, є частою проблемою при роботі з реальними вітрогенераторами.

Висновки

У даній статті автори прагнули описати новий курс «Відновлювані джерела енергії» для спеціалізації «Інтелектуальні електротехнічні системи спеціалізації 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для того, щоб показати необхідність застосування нових підходів до навчання студентів цієї спеціальності. Світова енергетика розвивається дуже стрімко і викопне паливо вже поступається свої лідируючі позиції на ринку більш сучасним джерелам енергії. Наслідком цього може бути дефіцит кваліфікованих фахівців у цій галузі. А значить навчання цих фахівців - важлива і актуальна нині тема для роботи.

У статті описаний один з можливих підходів на прикладі курсу «Відновлювані джерела енергії». Однак описаний підхід ні в якій мірі не може вважатися, по-перше, єдиним, а по-друге -

завершеним. Ми будемо і далі працювати над його удосконаленням і сподіваємося, що на базі зробленого нами буде розвиватися розробка нових інноваційних і затребуваних навчальних курсів.

Подяки

Автори дякують організаторам і координаторам проекту ERASMUS+ ALIOT: Національний Erasmus + Офіс в Україні, грант-холдера проекту - Newcastle University of Newcastle upon Tyne, Великобританія і Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» за надану підтримку при підготовці навчального курсу і придбання обладнання.

Список використаної літератури

1. J. Lee, F. Zhao GWEC/Global wind report 2019 [Text] / J. Lee, F. Zhao. – published by Global Wind Energy Council – 2020 y. – 78 p.
2. Г. Шмідт Вітроенергетичний сектор України 2018, огляд ринку [Текст] / Г. Шмідт, А. Конеченков, М. Ільчук, М. Гріцишина. – вид. «Українська вітроенергетична асоціація» (УВЕА) – 2019 р. – 76 с.
3. В. Ф. Белей Современная ветроэнергетика: тенденции развития, проблемы и варианты их решений [Текст] / В. Ф. Белей, Э. Харцфельд, Я. Пихоцки. – науч.-тех. фирма «Энергопрогресс» (Москва) – 2014 г. – 6 с.
4. Кривцов, В. С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы [Текст] / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Учебник – Харьков: «ХАИ», Севастополь:

Севаст. нац. тех. ун-т., 2003 г. – 400 с. – ISBN 966-662-044-8

5. Кривцов, В. С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика [Текст] / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Учебник – Харьков: «ХАИ», Севастополь: Севаст. нац. тех. ун-т., 2004 г. – 519 с. – ISBN 966-662-079-0

References

1. J. Lee, F. Zhao (2020) GWEC / Global wind report 2019. published by Global Wind Energy Council. 78 p.
2. G. Schmidt, A. Konechenkov, M. Ilchuk, M. Hrytsyshyna. (2019) Wind power sector of Ukraine 2018, market review [Vetroenerhetychnyy sektor Ukrayiny 2018, ohlyad rynku] published by «Ukrainian Wind Energy Association» (UWEA) – 76 p.
3. W. F. Belley, E. Harzfeld, J. Pihotzki. (2014) Modern wind power: trends, problems and options for solving them – science and technology firm [Sovremennaya vetroyenergetika: tendentsii razvitiya, problemy i varianty ikh resheniy] «Energoprogress» (Moscow) – 6 p.
4. V. S. Krivtsov, A. M. Oleinikov, A. I. Yakovlev (2003) Inexhaustible energy. Book 1. Wind power generators [Neischerpayemaya energiya. Kn. 1. Vetroelektrogeneratory]. Textbook Kharkov: «KhAI», Sevastopol: Sevast. Nat. tech. un-t, 400 p. ISBN 966-662-044-8
5. V. S. Krivtsov, A. M. Oleinikov, A. I. Yakovlev (2004) Inexhaustible energy. Book 2. Wind power [Neischerpayemaya energiya. Kn. 2. Vetroenergetika]. Textbook Kharkov: «KhAI», Sevastopol: Sevast. Nat. tech. un-t, 519 p. ISBN 966-662-079-0

IoT AND WIND POWER SUPPLY IN CONTEX OF THE NEW ONPU'S SPECIALIZATION

E. J. Maevskaya, D. A. Ivlev, P. V. Khvalygin

Odessa National Polytechnic University

Abstract. The article describes the current state of wind energy, the main achievements in this area and its problems. One of the problems is the lack of qualified specialists in this field. To solve this problem, the training course "Renewable Energy Sources" was created at the Odessa Polytechnic University for the specialization "Engineering of smart electrical systems". For the course, a laboratory stand "Vetroenergetika" was developed. The stand simulates the operation of a wind generator and displays the main electrical and mechanical performance indicators. It is also provided for the output of these values to the computer using the microcontroller and the platform. With a computer, all the main dependencies are built in real time to monitor the state of the wind generator. Also, a laboratory workshop on the topic "Wind power" was prepared, which, at the moment, included four laboratory works, namely: the study of the external characteristics of the wind generator when the electrical load changes, the study of the dependence of the change in power on the wind speed, the study of the dependence of the change in power on the angle of attack wind flow for two different types of wind generators and a study of the dependence of the speed on the electrical load. The plan of the experiments and the results obtained during the laboratory tests of the stand are described in detail. Each of

the above dependencies has practical applications in the production and operation of wind turbines. The authors do not consider the list of possible researches complete and it will be replenished as the stand and laboratory workshop develop. Also, the proposed teaching methodology can by no means be considered the only and complete one.

Keywords: IoT, wind power, training course, laboratory stand.

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В РАМКАХ НОВОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ОНПУ

О. Ю. Маевская, Д. А. Ивлев, П. В. Хвалигин

Одесский национальный политехнический университет

Аннотация. В статье описывается построение учебного курса «Возобновляемые источники энергии» для специализации «Инженерия разумных электротехнических систем», созданной на кафедре электромеханической инженерии при поддержке международного проекта ALIOT, и лабораторный стенд, построенный на базе микроконтроллера Arduino. Описывается содержание лабораторных работ, которые можно выполнять на стенде: исследование внешних характеристик различных ветрогенераторов, режимы работы ветрогенератора при различной скорости ветра, нагрузке, угле атаки, а также способ вывода этих значений на компьютер с помощью Arduino для мониторинга состояния генератора в реальном времени.

Ключевые слова: IoT, ветроэнергетика, учебный курс, лабораторный стенд.

Отримано 15.12.2020



Маєвська Олена Юр'ївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електромеханічної інженерії Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна.

E-mail: e.j.maevskaya@gmail.com тел. +38-048-705-84-85

Elena Maevskaya, Phd, Associate Professor, Department of electromechanical engineering, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: e.j.maevskaya@gmail.com tel. +38-048-705-84-85

ORCID ID: 0000-0001-6297-4255



Івлев Дмитро Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електромеханічної інженерії Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна.

E-mail: ivlevs@te.net.ua

Ivlev Dmitry, Phd, Associate Professor, Department of electromechanical engineering, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: ivlevs@te.net.ua

ORCID ID: 0000-0001-6580-0066



Хвалигін Павло Валерійович, студент українсько-польського інституту Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна.

E-mail: pavel.prezent@gmail.com

Khvalygin Pavel, student of the Ukrainian-Polish Institute, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: pavel.prezent@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-8893-3440