

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського**

**Інститут електромеханіки, енергозбереження
і систем управління**

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ І ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СИСТЕМИ

№ 2/2013 (22). Частина 2

Кременчук – 2013

Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Інтернет-журнал науково-виробничий
журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 22(13) (22). Частина 2 – 454 с.

ISSN 2072-2052
e-ISSN 2074-9937

Головний редактор

М. В. Загірняк, член-кор. Національної Академії педагогічних наук України, д.т.н., проф.

Заступники головного редактора

О. П. Чорний, д.т.н., проф.; Д. Й. Родькін, д.т.н., проф.; О. М. Сивчук, д.т.н., проф.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Бялобржеський О.В., к.т.н., доц.;

Гладир А.І., к.т.н., доц.;

Калінов А.П., к.т.н., доц.;

Коренькова Т.В., к.т.н., доц.;

Некрасов А.В., к.т.н., доц.;

Перекрест А.Л., к.т.н., доц.;

Прус В.В., к.т.н., доц.;

Сергієнко С.А., к.т.н., доц.

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

Damijan Miljavec, проф. (Словенія);

Jimmie Cathey, проф. (США);

Johanes Zentner, проф. (Німеччина);

Krzysztof Klyuschynsky, проф. (Польща);

Miralem Hadziselimovich, доц. (Словенія);

Загірняк М.В., член-кор. Національної Академії педагогічних наук України, д.т.н., проф.;

Бешта О.С., д.т.н., проф. (м. Дніпропетровськ);

Бугайчук В.М. ("Ампер", м. Кременчук);

Грабко В.В., д.т.н., проф. (м. Вінниця);

Кленіков В.Б., д.т.н., проф. (м. Харків);

Литвин О.М. (ТОВ "Holit Data Systems", м. Київ);

Павленко О.В., д.т.н., проф. (Росія);

Рашепкин А.П., д.т.н., проф. (м. Київ);

Садовой О.В., д.т.н., проф. (м. Дніпродзержинськ);

Сенько В.І., д.т.н., проф. (м. Київ);

Ткачук В.І., д.т.н., проф. (м. Львів);

Толочко О.І., д.т.н., проф. (м. Донецьк);

Чермалих В.М., д.т.н., проф. (м. Київ);

Шинкаренко В.Ф., д.т.н., проф. (м. Київ);

Юрченко М.М., д.т.н., проф. (м. Київ).

Технічний редактор – С. В. Носач, асист.

Відповідальний за випуск – О. П. Чорний, д.т.н., проф.

Науково-виробничий журнал з 26.01.2011 р. внесений до Переліку фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук. Журнал надсилається до провідних наукових бібліотек України, реферується у Національній бібліотеці України імені В.І. Вернадського. Журнал індексується у загальнодержавній базі даних «УКРАЇНІКА НАУКОВА» (реферативний журнал «ДЖЕРЕЛО»), а також у міжнародній наукометричній базі даних «ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY».

Друкується за рішенням Вченої ради Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (протокол № 6 від 23.04.2013 р.). Свідоцтво про державну реєстрацію друкованих засобів масової інформації серії КВ № 18236-7036 ПР від 05.09.2011 р.

Журнал публікує після рецензування та редагування статті, що містять результати досліджень з питань розвитку науки, освіти і виробництва, впровадження нових результатів фундаментальних і прикладних досліджень у галузі технічних, природничих і гуманітарних наук.

Науковий журнал видається з 2007 року.

© Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2013 р.

ISSN 2072-2052
e-ISSN 2074-9937

Адреса редакції: вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, ІЕЕСУ, к. 2302
Телефон: +3805366 31147. E-mail: journal.eess@gmail.com, apch@kdu.edu.ua, evnosach@mail.ru

ЗМІСТ

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДИСКОВОМ СЕПАРАТОРЕ С МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ СПИРАЛЬНОГО ТИПА <i>И. А. Шведчикова, М. А. Земзюлин</i>	18
РАСЧЕТ ТРЕХМЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА С ШИХТОВАННЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ <i>А. А. Черно, А. П. Гуров, А. Н. Грань, А. Н. Топалов</i>	25
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЩЕННОГО ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ ФАЗ <i>Л. А. Васильев, Ю. В. Мнускин, А. Е. Боев</i>	29
РОЗРОБКА ТЕПЛОВИХ СХЕМ ЗАМІЩЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВОЇ КАРТИНИ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА <i>А. В. Калініченко</i>	35
ПОКАЗНИКИ ЛІНІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ МОРСЬКИХ ХВИЛЬ <i>І. П. Кондратенко, А. П. Рацєпкін, Д. Д. Вацішин</i>	42
РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ІЗ РІЗНИМ СТУПЕНЕМ НАПРАЦЮВАННЯ НА ВІДМОВУ <i>О. О. Сьомка</i>	46
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ <i>С. А. Ткач, И. А. Шведчикова</i>	52
РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ВИСОКОГРАДІЄНТНОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ НАНОЧАСТИНОК <i>Є. Є. Волканін, В. П. Ляшенко</i>	58
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ИНДУКТОРЕ ДЛЯ НАГРЕВА СЫПУЧИХ СРЕД <i>А. О. Березюк, И. П. Кондратенко, А. П. Рацєпкін</i>	63
АНОРМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ОДНОВРЕМЕННОЙ КОММУТАЦИЕЙ ФАЗ <i>Л. А. Васильев, Ю. В. Мнускин, А. И. Лужнев</i>	68
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БЕСКОНТАКТНЫХ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ МАШИН С РАЗНЫМИ СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ЯКОРНЫХ ОБМОТОК ВОЗБУДИТЕЛЕЙ <i>А. М. Галиновский</i>	72

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕКТОРНО КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ЛІНІЙНИМ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ ПРИ ВРАХУВАННІ КРАЙОВИХ ЕФЕКТІВ <i>О. І. Яремов, М. Я. Островерхов</i>	80
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНИЗОТРОПИЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>Т. Б. Никитина, М. О. Татарченко</i>	86

НЕЧЕТКАЯ ПОЗИЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ С ФУНКЦИЕЙ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ <i>И. С. Конох, В. А. Репецкий, М. Кабаста</i>	93
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДУГ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ З НЕЙРОРЕГУЛЯТОРОМ NN PREDICTIVE CONTROLLER <i>Я. С. Паранчук, А. Б. Мацігін</i>	100
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ FUZZY-КОНТРОЛERA <i>С. М. Бойко, М. А. Щербак, В. І. Сенько, А. О. Жуков</i>	103
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ <i>В. В. Коломиец, Д. А. Семенец, Б. Б. Кобылянский</i>	111
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКОНАХ СКАЛЯРНОГО УПРАВЛЕНИЯ <i>В. М. Чермалых, А. В. Чермалых, И. Я. Майданский</i>	115
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА <i>Е. А. Смотров</i>	119
ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ <i>С. Г. Буряковский, Ар. С. Маслий, Ан. С. Маслий</i>	124
АДАПТИВНА СИСТЕМА КОМПЕНСАЦІЇ НЕСИМЕТРІЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В СИСТЕМІ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА <i>А. В. Чумачова</i>	128
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСОСНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ТЕСТОВОМ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ <i>В. Г. Ковальчук, Т. В. Коренькова</i>	135
СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ НАФТОВИДОБУТКУ <i>С. П. Шевчук, В. М. Сліденко, Р. В. Гранкін, В. М. Сандул</i>	142
СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА <i>Ю. В. Зачена, И. С. Конох</i>	147
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗІ VІDC ІЗ КВАЗІСИНУСОЇДНОЮ КОМУТАЦІЄЮ ОБМОТОК ЯКОРЯ <i>В. Б. Козій</i>	153
ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА <i>Л. І. Мазуренко, О. В. Бібік, О. А. Білик, Л. О. Жуков</i>	158
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ <i>Р. В. Чубик, В. В. Явір, Р. М. Горбатюк</i>	162
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО БОРТОВОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА <i>Д. В. Вершинин, Е. А. Смотров, В. В. Субботин, А. Ю. Сусленко</i>	170

УДК 621.311.4.031

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ FUZZY-КОНТРОЛЕРА*

С. М. Бойко, М. А. Шербак

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: seem@kdu.edu.ua

В. І. Сенько

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

А. О. Жуков

Вінницький національний технічний університет
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна

На сьогодні проблема якісного електропостачання споживачів займає одне з найважливіших місць в енергетиці та електротехніці. Розглядаючи роботу вітрового електротехнічного комплексу, слід звернути увагу на те, що робота самого вітроколеса має змінний характер, викликаний стохастичною характеристикою повітряного потоку. Робота генератора, що входить до складу вітрового електротехнічного комплексу, безпосередньо залежить від характеру роботи вітрового колеса, а отже й вихідні параметри генератора, такі як напруга та частота, змінюватимуться залежно від швидкості повітряного потоку і, як наслідок, від швидкості обертання валу генератора. Зважаючи на вищевказані особливості, питання щодо керування вихідними параметрами вітроелектротехнічного комплексу є актуальним і тому постає необхідність у вирішенні даної проблеми. Пропонується вирішення проблеми змінних вихідних параметрів генератора шляхом створення системи керування на базі мікроконтролера. Керування пропонується здійснювати за допомогою нечітких множин, використання яких допоможе враховувати зміни в системі, зумовлені стохастичною природою повітряних потоків. Використання даної системи керування для вітроелектротехнічних комплексів дозволить забезпечити стабільне та якісне електропостачання споживачів.

Ключові слова: вітровий електротехнічний комплекс, закон керування, нечіткі правила, нечіткий регулятор, база знань.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ FUZZY-КОНТРОЛЛЕРА

С. Н. Бойко, М. А. Шербак

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: seem@kdu.edu.ua

В. И. Сенько

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина

А. О. Жуков

Винницкий национальный технический университет
ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина

Сегодня проблема качественного электроснабжения потребителей занимает одно из важнейших мест в энергетике и электротехнике. Рассматривая работу ветрового электротехнического комплекса, следует обратить внимание на то, что работа самого ветроколеса имеет переменный характер, вызванный стохастической характеристикой воздушного потока. Работа генератора, входящего в состав ветрового электротехнического комплекса, напрямую зависит от характера работы ветрового колеса, а значит, и выходные параметры генератора, такие как напряжение и частота, будут меняться в зависимости от скорости воздушного потока и, как следствие, от скорости вращения вала генератора. Учитывая вышеуказанные особенности, вопрос управления выходными параметрами ветроелектротехнического комплекса является актуальным и поэтому возникает необходимость в решении данной проблемы. В данной работе предлагается решение проблемы переменных выходных параметров генератора путем создания системы управления на базе микроконтроллера. Управление предлагается осуществлять с помощью нечетких множеств, использование которых поможет учитывать изменения в системе, обусловленные стохастической природой воздушных потоков. Использование данной системы управления для ветроелектротехнических комплексов позволит обеспечить стабильное и качественное электроснабжение потребителей.

Ключевые слова: ветровой электротехнический комплекс, закон управления, нечеткие правила, нечеткий регулятор, база знаний.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вирішення проблеми незалежного – автономного – живлення електроспоживачів електричної енергії шляхом використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) знаходить своє втілення на підприємствах, де традиційно такий спосіб раніше навіть не прогнозувався [1]. Такими видами підприємств, наприклад, є залізничні шахти [2].

Енергоефективними типами електротехнічних комплексів ВЕУ є зразки з використанням асинх-

ронних генераторів (АГ) з конденсаторним збудженням [2]. Однак при цьому виникає проблема – стабілізація напруги на виході АГ при змінному навантаженні на лопаті вітроколеса ВЕУ. На жаль, вирішення цієї задачі різними дослідниками бачаться по-різному – адресно для конкретного рішення без достатнього рівня універсальності [3, 4].

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Як відомо, частота обертання генераторів може бути регульованою за умови сталості частоти

* стаття підготовлена під керівництвом д.т.н., проф. Сінчука О.М.

генерованих коливань ($f_1 = const, \omega_r = var$) або залишатися постійною ($\omega_r = const, f_1 = var$). У загальному випадку можлива робота генератора зі змінною частотою обертання і змінною частотою $f_1(\omega_r = var; f_1 = var)$ [3]. При використанні АГ у складі вітроенергетичних установок, експлуатованих в умовах залізрудних шахт, характерними умовами роботи є нестабільність обертання ротора

АГ, залежно від дії вентиляційного потоку на лопа-ті вітроколеса, оскільки швидкість вентиляційних потоків на різних ділянках діючих виробках шахт регламентується документом «Єдині правила безпеки при розробці рудних, нерудних та розсіпних родовищ корисних копалин підземним способом». При цьому діапазони швидкостей вентиляційних потоків повітря для різних ділянок залізрудних шахт конкретизовані в табл. 1.

Таблиця 1 – Діапазони швидкостей повітряних потоків для різних ділянок шахт

Гірничі вироботки, призабойні простори, вентиляційні пристрої	Максимальна швидкість повітря, м/с
Вентиляційні свердловини	Не обмежена
Стовбури й вентиляційні свердловини з підйомними установками, призначеними тільки для підйому людей в аварійних випадках, вентиляційні канали	15
Стовбури, призначені тільки для спуску й підйому вантажів	12
Кросинги трубчасті й типу перекидних мостів	10
Стовбури для спуску й підйому людей і вантажів, квершлагги, головні відкатувальні й вентиляційні штреки, капітальні й панельні бремсберги й ухили	8
Всі інші гірничі вироботки, вугілля й породи	6
Призабойні простори очисних і тупікових вироботок	4

При керуванні вітровою енергетичною установкою доводиться стикатися з певною мірою невизначеними вихідними даними, параметрами системи. Вітроенергетичний агрегат працює за некерованим графіком. Особливістю системи автоматичного керування ВЕУ є те, що вона є нелінійним нестаціонарним об'єктом керування і знаходиться під впливом динамічних вітрових навантажень [4, 5]. Вироблена вітроустановкою потужність залежить не лише від швидкості повітряного потоку, а й від конструктивних її особливостей, насамперед габаритних розмірів. Характеристики досліджуваної вітроустановки приведені в табл. 2.

Необхідність розробки системи керування полягає головним чином у тому, щоб забезпечити споживачів стабільною напругою з постійною частотою незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. На шляху вирішення цього питання вирішено, що лише мікропроцесорна система керування, що працює за спеціально створеним законом керування (програмою) здатна забезпечити постійні вихідні параметри вітроелектротехнічного комплексу.

Структурну схему вітроелектротехнічного комплексу із системою керування зображено на рис. 1.

Таблиця 2 – Технічні характеристики досліджуваної ВЕУ

Номинальна потужність, P , кВт	3,50542
Діаметр вітроколеса, D , м	2,08
Число лопастей, k , шт.	3
Коефіцієнт використання енергії вітру, E %	30
Частота обертання, n_{min}/n_{max} , об/хв	230/689
Діапазон робочих швидкостей вітру, U_0 , м/с; min ; max	5, 12, 15
Номинальна напруга, U , кВ	380
Номинальная частота, f , Гц	50
Площа описаної площі, A , м ²	9,89
Тип генератора	Асинхронний з короткозамкненим ротором

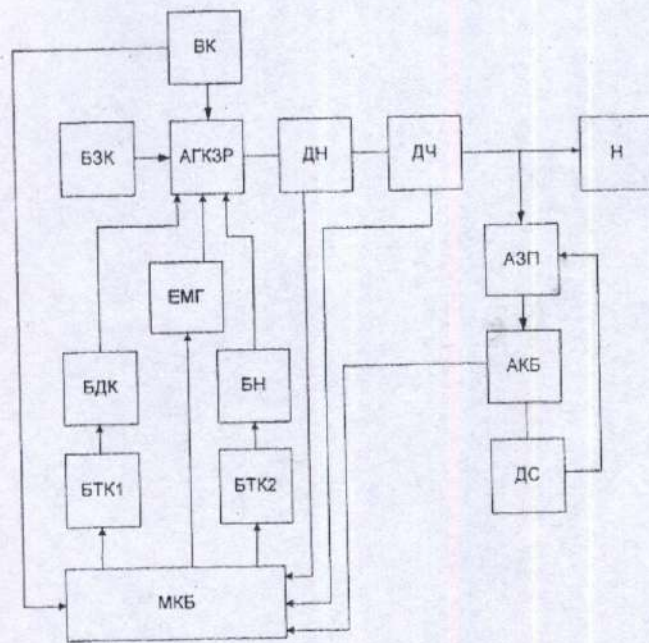


Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованої системи керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу: ВК – вітрове колесо; АГКЗР – асинхронний генератор з короткозамкненим ротором; БЗК – батарея збуджуючих конденсаторів; ЕМГ – електромагнітне гальмо; ДН – датчик напруги; ДЧ – датчик частоти; АЗП – автоматичний зарядний пристрій; АКБ – акумуляторна батарея; ДС – датчик струму; БДК – батарея додаткових конденсаторів; БН – баластне навантаження; БТК1, БТК2 – блок транзисторних ключів; МКБ – мікропроцесорний блок; Н – навантаження.

Дана система працює наступним чином. Під час обертання вітрового колеса та валу генератора мікроконтролер аналізує величину сигналів, що надходять до нього, і робить висновок про величину задаваної напруги для блоків транзисторних ключів. До тих пір, доки ємність додаткових конденсаторів дозволяє регулювати величину вихідної частоти та напруги, ці параметри регулюються батареєю робочих конденсаторів. Якщо ж керування ємністю не приносить результату й частота та напруга продовжують зростати, то задана напруга подається на другу групу транзисторних ключів підключає баластне навантаження, що регулює вихідну напругу та частоту.

Схема роботи блоку нечіткого керування заданою напругою блоків транзисторних ключів показано на рис. 2.

Доповнення закону керування можна провести із застосуванням елементів нечітких множин, що дозволить регулювати величину керуючого сигналу, який задається на блоки транзисторних ключів, а отже, й вихідні напругу та частоту.

На вхід нечіткого регулятора швидкості пропонується подавати такі сигнали: кутову швидкість обертання вітрового колеса ω_k ; швидкість вітрового потоку V_v ; похідну від ковзного значення швидкості вітру dV_v/dt , яка обчислюється блоком обчислення ковзного середнього та його похідної; оптимальне значення кутової швидкості ω_{opt} , при якому від вітроколеса відбирається максимум потужності, причому ω_{opt} обчислюється блоком залежності $P(\omega)$. Вихідним сигналом нечіткого регулятора є сигнал завдання за напругою $U_{зад}$, який буде вхідним сигналом для блоків транзисторних ключів, через які підключено батарею конденсаторів та баластне навантаження. Задане значення напруги буде впливати на ступінь відкриття транзисторів, що, у свою чергу, регулюватиме ємність збуджуючих конденсаторів та величину баластного навантаження.

Для створення адекватного закону керування вітроелектротехнічним комплексом необхідно визначитися з номінальними значеннями параметрів системи, наведеними в табл. 3.

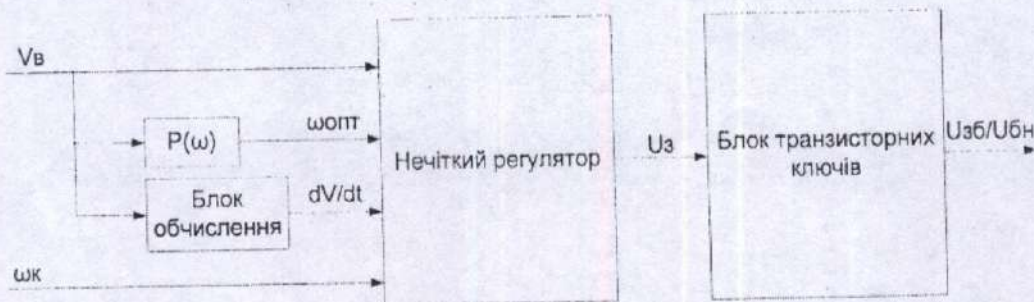


Рисунок 2 – Схема роботи блоку нечіткого керування заданою напругою блоків транзисторних ключів

Таблиця 3 – Номінальні значення досліджуваних параметрів

Напруга	$U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$
Швидкість вітрового потоку	$V_{\text{ном}}=12 \text{ м/с}$
Кутова швидкість	$\omega_{\text{ном}}=551$

Істотним зауваженням по використанню існуючих законів управління за принципом power point tracking (PPT) є спрощений підхід визначення залежності між швидкістю вітру в даний момент часу й швидкістю вітрового колеса, що дозволяє знайти координати точки відбору максимальної потужності. Недостатнє врахування всіх факторів, що впливають на різницю між відносними значеннями швидкості вітру й швидкості обертання вітрового колеса призводить до погіршення стійкості систем автоматичного керування, відхилення напруги на виводах ВЕУ, що ускладнює її експлуатацію при паралельній роботі з мережею. Зазначеними факторами є відносна вологість повітря, наявність опадів, запиленість, атмосферний тиск у зоні розташування ВЕУ й т.ін. Ці величини змінюються (іноді досить істотно) протягом доби, сезону, року. Облік таких факторів також обумовлює використання математичного апарату нечітких множин для побудови моделі автоматичного регулятора.

У такому разі управління буде мати нечіткий характер, що дозволить застосувати метод нечіткого управління в області вітроенергетики.

Рішення поставленої задачі може бути здійснено завдяки визначенню функції оптимальної потужності вітрової турбіни з вертикальною віссю обертання й застосуванню теорії нечітких множин для синтезу цифрових нечітких регуляторів. Використання нечітких регуляторів дозволяє підвищити динамічну точність та швидкодію систем автоматичного керу-

вання нестационарними об'єктами за рахунок формалізації процесу прийняття рішень на основі нечіткої логіки при кількісних параметрах стану системи. Системи автоматичного управління для поновлованих енергетичних установок на основі нечітких регуляторів у багатьох випадках довели свою ефективність завдяки тому, що дозволяють одержати більш високу якість регулювання (менше похибки в перехідних і сталих режимах).

Доповнення закону управління можна провести із застосуванням елементів нечітких множин, дозволить реалізувати контур регулювання швидкості обертання вітрового колеса автоматичного регулятора збудження на контролері з підтримкою команд Fuzzy Logic і поліпшити якість регулювання потужності ВЕУ в умовах дій стохастичних навантажень вітру. Таким чином, була розроблена структура системи управління асинхронним генератором з короткозамкнутим ротором у складі вітроенергетичного комплексу, яка функціонує наступним чином [2].

Для функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформувати експертну базу знань нечітких правил, що містить лінгвістичні правила залежності $Y = f(X)$ [5].

На рис. 3 схематично зображено роботу блоку нечітких правил керування заданою напругою.

Визначимо діапазон зміни вхідних і вихідних величин та проведемо їх лінгвістичну оцінку згідно з термами, що занесені до табл. 4.



Рисунок 3 – Структурна схема блоку нечіткого логічного висновку системи керування ВЕУ з нечітким висновком про зміну заданої напруги

Таблиця 4 – Характеристика вхідних та вихідних величин математичної моделі нечіткого висновку про напругу завдання регулятора струму збудження ВЕУ

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
X_1	Відносне значення швидкості вітру	$(0 \dots 2,2) V_{ном}$	Дуже малий (ДМ), Малий (М), Середній(С), Великий (В), Дуже великий(С)
X_2	Відносне значення кутової швидкості обертання вітрового колеса	$(0 \dots 1,2) \omega_{ном}$	Дуже мале (ДМ), мале (М), середнє (С), велике (В), дуже велике (ДВ)
X_3	Похідна від ковзного значення швидкості вітру	$-1 \dots +1$	Негативна (Н), Нуль (0), Позитивна (П).
X_4	Значення оптимальної швидкості обертання	$-1 \dots +1$	Менше оптимуму (М), нормальне (Н), більше оптимуму (Б)
Y	Значення напруги завдання для блоків транзисторних ключів	$(0 \dots 1.2) U_{ном}$	Дуже мале (d_1), мале (d_2), середнє (d_3), велике (d_4), дуже велике (d_5)

Наступним кроком створення нечіткої математичної моделі є фазифікація вхідних величин X згідно з формулами й одержання нечіткої множини \tilde{X} .

Здійснимо розрахунок параметрів функції належності вхідних величин і зведемо їх у табл. 5, 6.

Таблиця 5 – Параметри функції належності значення швидкості вітру X_1

Швидкість вітрового потоку V_a	Центр, b	Приналежність від. од.	Характеристика Сили вітру
1,9	0,2	0,5	Дуже малий (ДМ)
3,6	0,4	1	
5,3	0,6	0,5	
2,9	0,6	0,5	Малий (М)
4,7	0,8	1	
6,5	1	0,5	
6,5	1	0,5	Середній (С)
8,9	1,2	1	
11,3	1,4	0,5	

Продовження таблиці 5

10	1,4	0,5	Великий (В)
13	1,6	1	
16	1,8	0,5	
10	1,8	0,5	Дуже великий(ДВ)
17	2	1	
20	2,2	0,5	

Таблиця 6 – Параметри функції належності вхідних X_2 – X_4 та вихідних величин

Змінні	Терми	Параметри ФН		Змінні	Терми	Параметри ФН	
		центр, b	розтяг, c			центр, b	розтяг, c
X_2	ДМ	0	0,1274	X_4	М	-1	0,4247
	М	0,3			Н	0	
	С	0,6			Б	+1	
	В	0,9					
	ДВ	1,2					
X_3	Н	-1,2	0,5	Y	ДМ	0	0,1274
	0	0			М	0,3	
	В	1,2			С	0,6	
					В	0,9	
					ДВ	1,2	

для виходу d_1 надамо у вигляді (2):

$$\begin{aligned} \mu^{d_1}(d) &= [\mu^{DM}(x_1)\mu^{DM}(x_2)\mu^H(x_3)\mu^M(x_4)] \vee [\mu^{DM}(x_1)\mu^{DM}(x_2)\mu^0(x_3)\mu^M(x_4)] \vee \\ &\vee [\mu^M(x_1)\mu^{DM}(x_2)\mu^0(x_3)\mu^M(x_4)]; \\ \mu^{d_2}(d) &= [\mu^M(x_1)\mu^{DM}(x_2)\mu^0(x_3)\mu^M(x_4)] \vee [\mu^M(x_1)\mu^{DM}(x_2)\mu^H(x_3)\mu^B(x_4)] \vee \\ &\vee [\mu^C(x_1)\mu^C(x_2)\mu^H(x_3)\mu^M(x_4)]; \\ \mu^{d_3}(d) &= [\mu^C(x_1)\mu^C(x_2)\mu^0(x_3)\mu^H(x_4)] \vee [\mu^C(x_1)\mu^C(x_2)\mu^H(x_3)\mu^M(x_4)] \vee \quad (2) \\ &\vee [\mu^C(x_1)\mu^M(x_2)\mu^H(x_3)\mu^H(x_4)]; \\ \mu^{d_4}(d) &= [\mu^B(x_1)\mu^B(x_2)\mu^0(x_3)\mu^H(x_4)] \vee [\mu^B(x_1)\mu^C(x_2)\mu^H(x_3)\mu^B(x_4)] \vee \\ &\vee [\mu^C(x_1)\mu^B(x_2)\mu^H(x_3)\mu^B(x_4)]; \\ \mu^{d_5}(d) &= [\mu^{DB}(x_1)\mu^{DB}(x_2)\mu^0(x_3)\mu^B(x_4)] \vee [\mu^B(x_1)\mu^{DB}(x_2)\mu^H(x_3)\mu^B(x_4)] \vee \\ &\vee [\mu^B(x_1)\mu^B(x_2)\mu^H(x_3)\mu^B(x_4)]. \end{aligned}$$

Слід зазначити, що в рівняння не входять вагові коефіцієнти правил, оскільки для грубої настройки вони приймаються рівними одиниці. Маючи виміряні вхідні величини X , використовуючи дану модель, знаходимо нечітку множину \tilde{Y} , з якої після операції дефазифікації за методом

центра ваги отримусмо значення коригувального коефіцієнта величини вихідної напруги генератора. Використовуючи розроблену математичну модель, можна на базі fuzzy-контролера реалізувати вузол визначення значення вихідної напруги асинхронного генератора.

Моделювання запропонованої моделі, яка по-
ована з використанням компонент теорії нечі-
х множин, здійснено в середовищі Matlab

7.12 [2]. Результати моделювання зображено на
рис. 4–6.

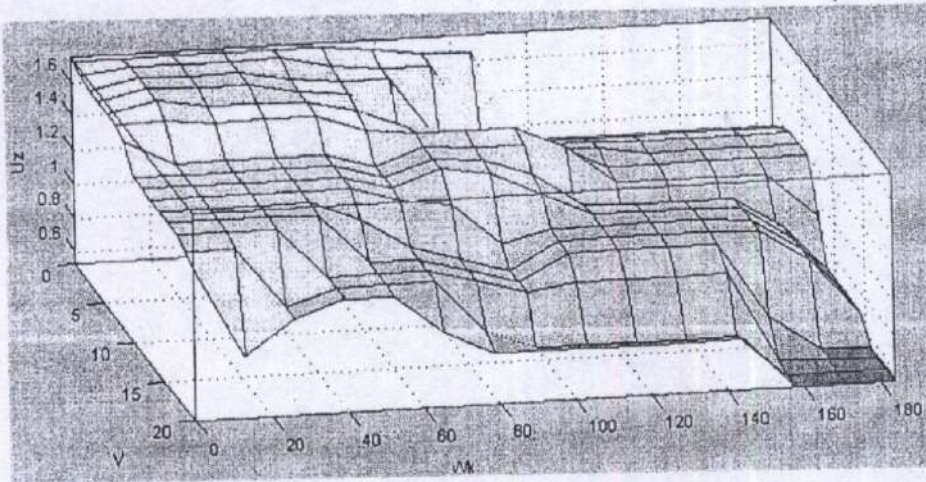


Рисунок 4 – Залежність напруги, що задається для транзисторних ключів від швидкості повітряних потоків та частоти обертання вітроколеса

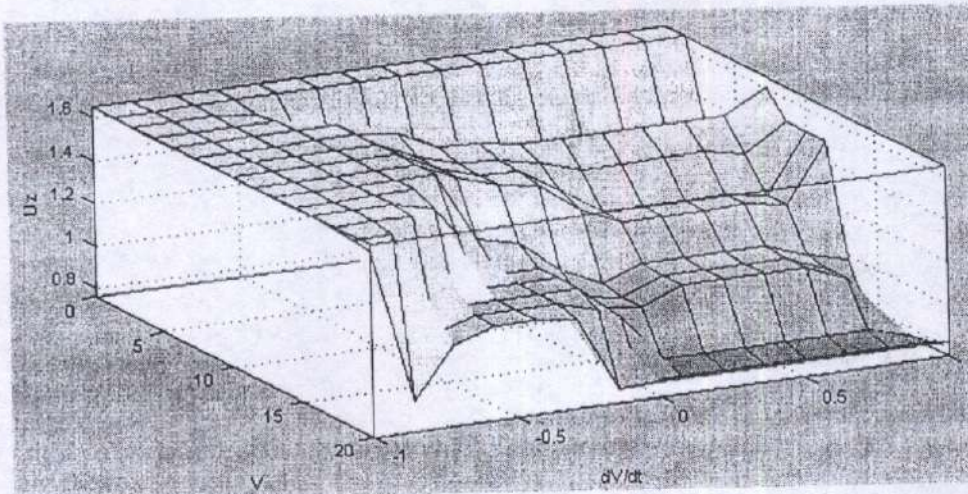


Рисунок 5 – Залежність напруги, що задається для транзисторних ключів від швидкості повітряних потоків та прискорення повітряного потоку

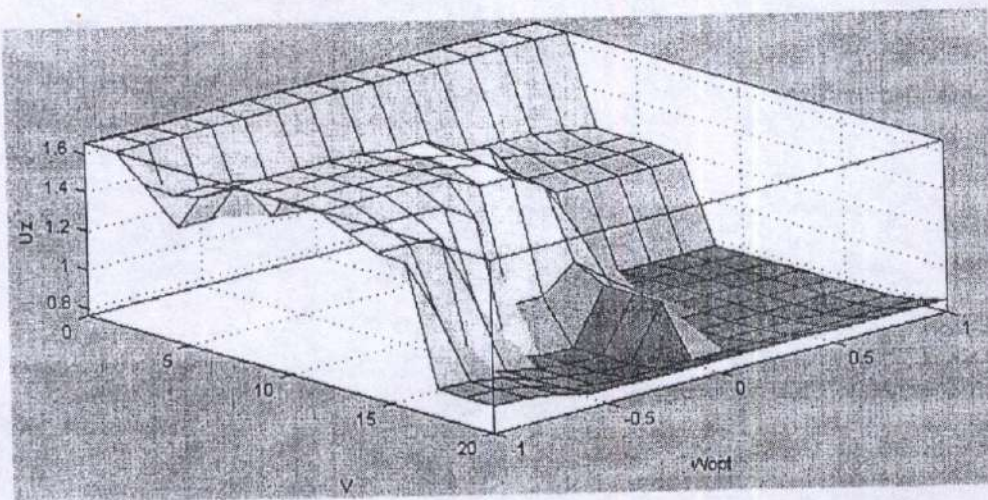


Рисунок 6 – Залежність напруги, що задається для транзисторних ключів від швидкості повітряних потоків та від значення оптимальної швидкості обертання вітроколеса

ВИСНОВКИ. 1. Основним завданням у створенні системи управління вихідними параметрами, зокрема, напругою вітрогенератора з асинхронним типом генератора, повинна забезпечувати плавне регулювання напруги, реагуючи при цьому на найменші зміни швидкості потоків.

2. Розроблений спосіб управління вихідною напругою асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором у складі вітрового електротехнічного комплексу дозволяє плавно регулювати значення вихідного параметра – напруги, при цьому відчувати найменші зміни швидкості вентиляційних потоків або величини навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сінчук І.О., Бойко С.М., Щербак М.А. Обґрунтування можливості використання ортогональної вітрової установки в умовах підземних гірничих виробок шахт. – Алушта, 2012. – С. 179–181.
2. Бойко С.М., Ялова А.М., Сінчук О.М. До питання вибору електричного генератора для вітрогенеру

руючої установки з вертикальною віссю обертання в умовах залізрудних шахт. – Донецьк, 2012. – С. 88–89.

3. Маслов В.Є., Родькін Д.Й., Коренькова Т.В. Розробка наукових основ створення формованих джерел аварійного енергопостачання промислових і комунальних об'єктів. – Кременчук: КДПУ, 2004. – С. 43–78.

4. Мокін Б.І., Мокін, О.Б., Жуков О.А. Математична модель пристрою керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3. – С. 48–54.

5. Сінчук О.Н., Бойко С.Н. Применение нечёткой логики для согласования режимов работы ветроэнергетической установки со скоростью потока ветра в условиях рудных шахт // Научная дискуссия: вопросы технических наук. Материалы III Международной заочной научно-практической конференции, 10 октября 2012 г. – М.: Международный центр науки и образования, 2012. – С. 32–37.

THE MATHEMATICAL MODEL OF CONTROL SYSTEM OF WINDELEKTROTECHNICAL COMPLEX OF WIND TURBINE BASED ON FUZZY-CONTROLLER

S. Boyko, M. Scherbak

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: seem@kdu.edu.ua

V. Senko

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine

A. Zhukov

Vinnitsia National Technical University
vul. Khmelnytske shose, 95, Vinnitsya, 21021, Ukraine

At presence the problem of quality power supply to consumers is one of the most important places of power and electrical engineering. Considering the work of windelectrotechnical complex, should pay attention to the fact that the work of the propeller is variable in nature, caused by stochastic characteristics of air flow. Generator operation, which is part of the wind electrical complex, depends on the nature of the wind wheel, and thus the generator output parameters such as voltage and frequency vary depending on the speed of air flow and, consequently, the speed of rotation of the shaft of the generator. Considering the above features, the issue of control output parameters windelectrotechnical complex is relevant because there is a need to address this problem. In this article the problem of variable output generator configured by creating a control system based on microcontroller. Management offers made by using fuzzy sets, the use of which will take into account changes in the system due to the stochastic nature of the air flow. Using this control system for vitroelectrotechnichnyh complexes will provide stable and quality power supply to consumers.

Key words: windelectrotechnical complex, control law, fuzzy rules, fuzzy-control, knowledge base.

REFERENCES

1. Sinchuk, I.O., Boyko, S.N. and Scherbak, M.A. (2012), *Obgruntuvannya mozhyvosti vykorystannya ortogonalnoi vitrovoi ustanovky v umovakh pidzemnykh hirnychyykh vyrobok shakht* [Justification possibility of using orthogonal wind turbine in underground mining shafts], Alushta, Ukraine, pp. 179-181.
2. Boyko, S.N., Yalova, A.M. and Sinchuk, O.M. (2012), *Do pytannya vyboru elektrychnoho heneratora dlya vitroheneruyuchoi ustanovky z vertykalnoyu vissyuu obertannya v umovakh zalizorudnykh shakht* [By the choice of electric generator for vitroheneruyuchoyi installation with vertical rotation axis in iron ore mines], Donetsk, Ukraine, pp. 88-89.
3. Maslov, V.E., Rodkin, D.Y., Korenkova, T.V., Rykov, G.U., Zubova, O.I., Artemenko, A.M., Shokaryov, D.A., Morozov, A.A., Zakvasov, V.V. and Pasichnyk, V.I. (2004), *Rozrobka naukovykh osnov*

stvorenniya formovanykh dzherel avariynoho enerhopostachannya promyslovykh i komunalnykh obyektiv [Developing the scientific basis of emergency power sources molded industrial and municipal facilities], KDPU, Kremenchuk, Ukraine, pp. 43-78.

4. Mokin, B.I., Mokin, A.B. and Zhukov, A.A. (2010), «Mathematical model of electric control device Windmills with vertical axis rotation», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu*, no. 3, pp. 48-54.

5. Synchuk, A.N. and Boiko, S.N. «Application for consent fuzzy logic regimes windelectrotechnical installation work wind flow speeds in terms mines», *"Scientific discussion: Questions of technical Sciences" Materials III international scientific conference*, 10 October 2012, Mezhdunarodnyy tsentr nauki i obrazovaniya, Moscow, Russia, pp. 32-37.

Стаття надійшла 02.04.2013.

Коректор Н. О. Гордієнко
Технічна верстка Алексєєва Ю.О., Ромашихін Ю.В.
Відповідальні секретарі Карпенко О.О., Молодика І.С.

Підписано до друку 03.05.2013. Формат А4. Папір офсетний
Умов.друк.аркушів 53,2. Наклад 300 прим. Друк разопронтний. Зам.105-13
Надруковано з готових оригіналів в друкарні ПП Щербатих О.В.
Кременчук, вул. 29 вересня, 11/19, тел. 79-63-38