

*Магістерська кваліфікаційна робота*

“ПЕРЕТВОРЮВАЧ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ  
ВІТРОВОГО ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ З  
ПОКРАЩЕНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ БЕЦА”

*доповідач: Кузнєцов Михайло Васильович*  
*науковий керівник: к.т.н., ст. викл. Дудадтьєв І.А.*

**Актуальність** теми проявляється в наступному. Розвиток вітроенергетики потребує розробок систем для контролю роботи генераторів та інших параметрів вітроустановок. Ці системи повинні мати високий рівень автоматизації, для швидкого реагування елементів та надійності їх роботи, з виключенням похибок від людського фактора. Такі системи розробляються закордонними фірмами, але їх ринок є невеликим.

Використання автоматизованих систем закордонного виробництва є надто дорогим для вітчизняної економіки.

Використання вітрогенераторів тільки починає поширюватись, і тому мало розвинене на теренах нашої держави. Всі автоматизовані системи, які використовуються використовуються для збору та обробки інформації і контролю, параметрів вітрогенераторів в Україні закордонного виробництва є надто дорогим для вітчизняної економіки, тому є доцільним розробка вітчизняної системи (або підбір оптимальної елементної бази).

Одним з важливих етапів в створенні такої системи є розробка вимірювальних каналів, для створення сигналу вимірювальної інформації про певну вимірювальну фізичну величину. Вимірювальний канал є однією з головних частин в будь-якій вимірювальній системі.

У зв'язку з стрімким розвитком технологій, все частіше постає завдання з автоматизації виробництва, це стосується і вимірювань також. Автоматизовані процеси у вимірюваннях спрощують роботу працівників, а допомагають швидко приймати потрібні рішення. Поява мікропроцесорів стимулювала бурхливий розвиток багатопроцесорних і багатомашинних обчислювальних комплексів, що базуються на нових системних інтерфейсах і мережних технологіях.

Сучасна інформаційна технологія орієнтована на застосування найширшого спектру технічних засобів електронно-обчислювальних машин і засобів комунікацій. На її основі створено та створюються обчислювальні системи й мережі різних конфігурацій не тільки для нагромадження, зберігання, перероблення інформації, але й максимального зближення термінальних улаштувань до робочого місця спеціаліста та для підтримки прийняття рішення керівника.

**Метою роботи** є розробка перетворювача кінетичної енергії вітрового потоку у електричну та системи контролю параметрів вітрогенераторів на основі ПЛК, яка забезпечить моніторинг та управління роботи вітроелектричних установок.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **задачі**:

аналіз загальних понять енергії вітру;

основні параметри вітрогенераторів та методи їх вимірювань;

методи та засоби вимірювання швидкості обертання;

схеми роботи вітрогенераторів.

Об'єктом дослідження в роботі є процес вимірювального контролю параметрів вітрогенераторних систем (зокрема напруги).

Предметом дослідження є методи та засоби, які забезпечують стабільну роботу вітрогенераторних систем.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач в роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, які були використані для обробки експериментальних результатів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю, методи алгоритмізації та програмування для розроблення програмної частини засобу вимірювального контролю.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

Вперше досліджено залежність виробітку електричної енергії та її використання для зарядження акумуляторних батарей (АБ), враховуючи вимоги мінімальної обов'язкової тривалості зарядження АБ від вітрових електричних установок (ВЕУ) на добу з розрахунком середньодобового показника виробництва електричної енергії, який показав, що ВЕУ потужністю 5 кВт дає можливість забезпечити ефективний заряд акумуляторної батареї ємністю 100 А·год. напругою 120 В протягом усього року за умови використання двох методів зарядження АБ – класичного постійнострумового та імпульсного.

Запропоновано струм з виходу випрямляча подавати на трифазний інвертор, інвертор в свою чергу перетворює випрямлену напругу знову в змінну (з частотою в 50 Гц) і передає на навантаження, що забезпечило стабільність роботи системи в цілому (особливо при різких перепадах напруги).

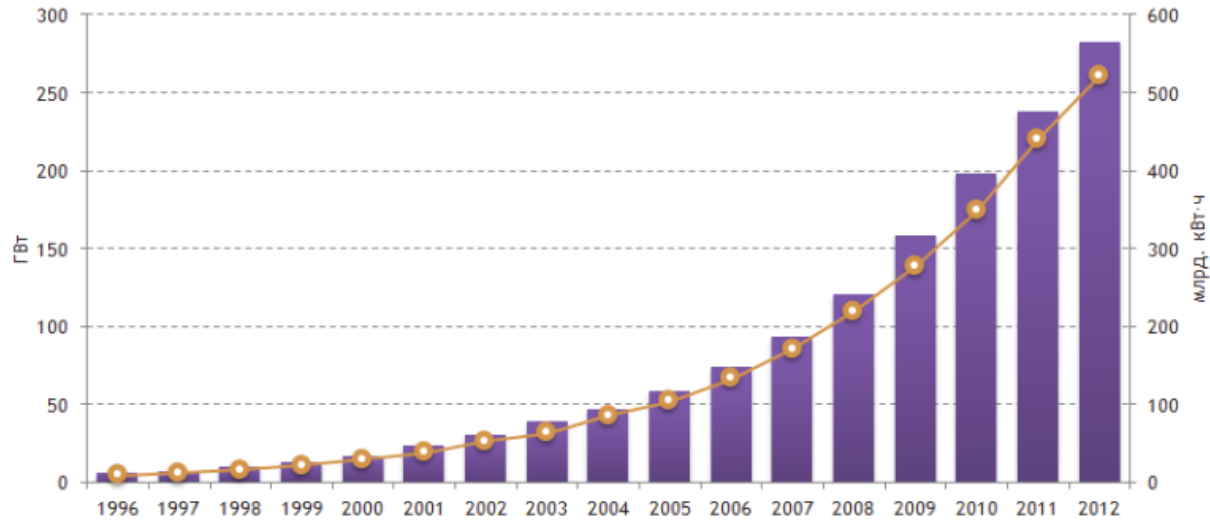
Розроблена структурно-алгоритмічна організація перетворювача кінетичної енергії у електричну з покращеним коефіцієнтом Беца.

**Практичне значення одержаних результатів.** У роботі отримані такі практичні результати:

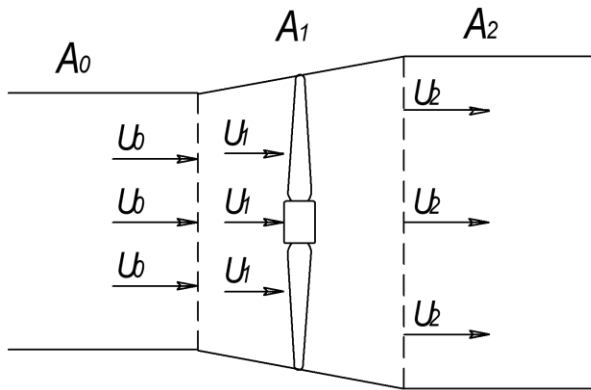
1. Проаналізовано та представлено вітрову карту м.Вінниці на основі реальних експериментальних даних.

2. Розроблений програмний засіб для контролю електричних параметрів на виході вітрогенератора.

3. Представлено типова криву потужності ВЕУ на основі експериментальних даних.



## Динаміка обсягу встановлених потужностей ВЕУ в світі

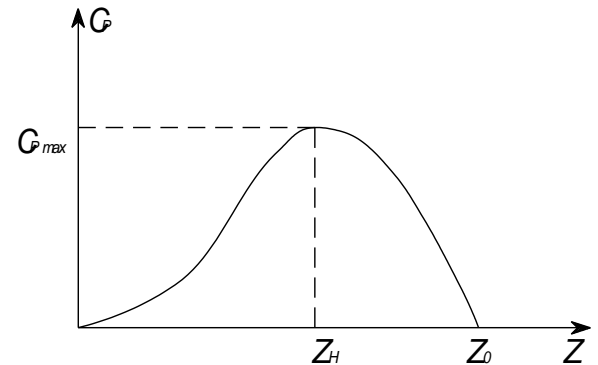


Потужність повітряного потоку дорівнює

$$P_1 = \frac{\rho \cdot A_2 \cdot V_2^3 \cdot C_p}{2}$$

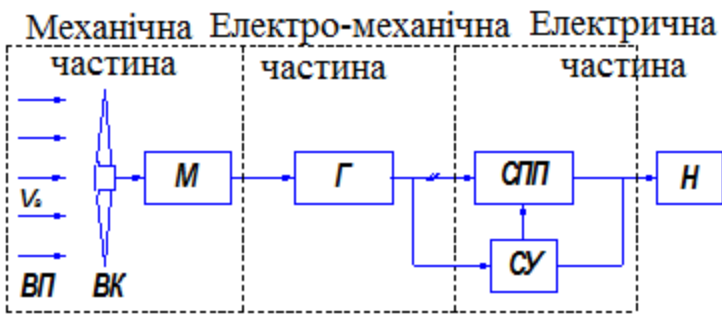
Швидкохідності віротурбіни  $Z$

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{V}$$



Залежність  $C_p = f(Z)$

Дія сили вітру на віротурбіну

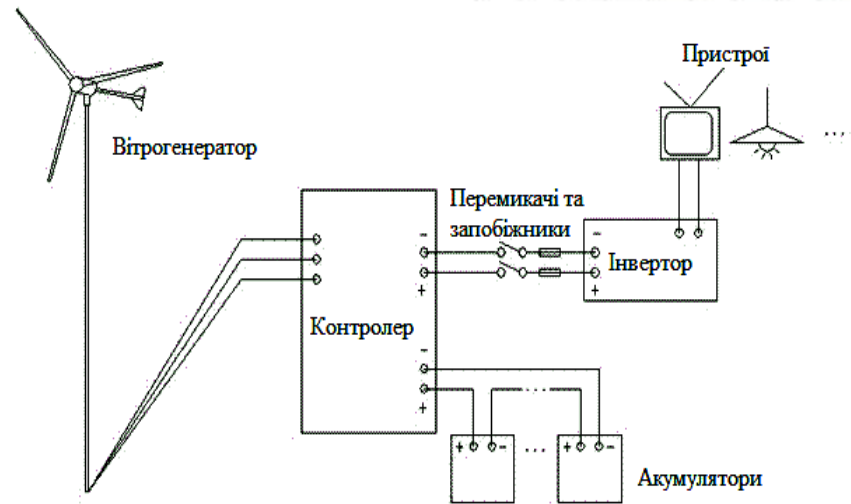


Структурна схема ВЕУ

Будова вітроенергетичної установки



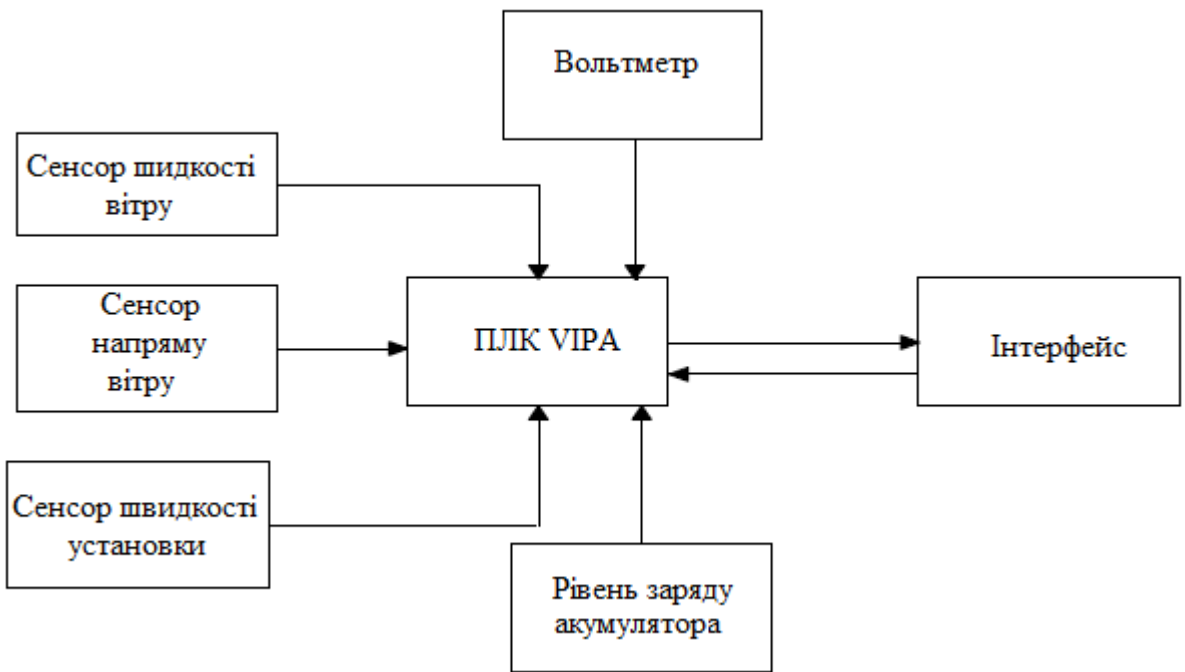
1. Фундамент
2. Силовий шафа, що включає силові контактори і ланцюги управління
3. Вежа
4. Сходи
5. Поворотний механізм
6. Гондола
7. Електричний генератор
8. Система слідкування за напрямком і швидкістю вітру (анемометр)
9. Гальмівна система
10. Трансмісія
11. Лопаті
12. Система зміни кута атаки лопаті
13. Ковпак ротора



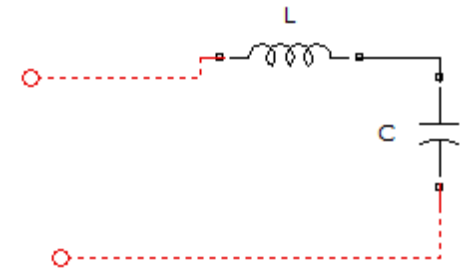
Вітрогенератор (з акумуляторами) і його комутація з мережею

Найменування обладнання	Кількість, шт	Потужність, Вт	Час роботи, год	Період часу	Споживання за місяць, кВт*ч
електролампа	15	60	4	день	108
телевізор	4	60	6	день	43.2
відеоплеєр	1	10	6	тиждень	0.23
комп'ютер	1	150	4	день	18
принтер	1	20	1	неделя	0.009
холодильник	1	150	8	день	36
пральна машина	1	600	1	тиждень	2.58
праска	4	600	3	тиждень	30.96
електродриль	1	500	2	тиждень	4.3
електронасос	1	400	2	день	24
Сумарне електроспоживання в місяць					285.5

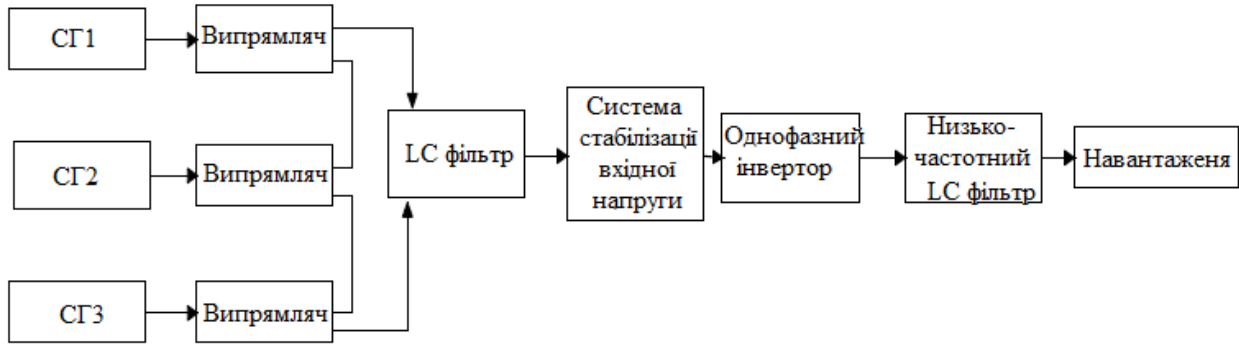
## Навантаження господарства



Функціональна схема системи моніторингу



Випрямляючий LC фільтр



Функціональна схема об'єкта, що моделюється

	Назва	Адреса	Тип	Опис
1	Д1	MD26	Real	датчик напрямку вітру в градусах
2	Д2	MD34	Real	швидкість установки в об / хв
3	Anemometer	MD42	Real	швидкість вітру в м / с
4	High velocity	Q 0.2	Bool	сигналізація ураганної швидкості вітру
5	Reset High Velocity	I 0.0	Bool	скидання сигналізації ураганної швидкості вітру
6	Diesel generator	Q 0.0	Bool	перемикання на живлення від дизельного генератора
7	Wind Power	Q 0.1	Bool	перемикання на живлення від вітроелектростанції
8	Volt	MD46	Real	напруга на виході вітроелектростанції
9	Disconnect	I 0.1	Bool	кнопка від'єднання вітроелектростанції від системи
10	Accumulator	Q 0.3	Bool	перемикання на живлення від акумуляторів
11	AccumulationDeg ree	MD50	Real	рівень заряду акумуляторів
12	Power off	I 0.2	Bool	відключення системи управління

## Лістинг програми управління

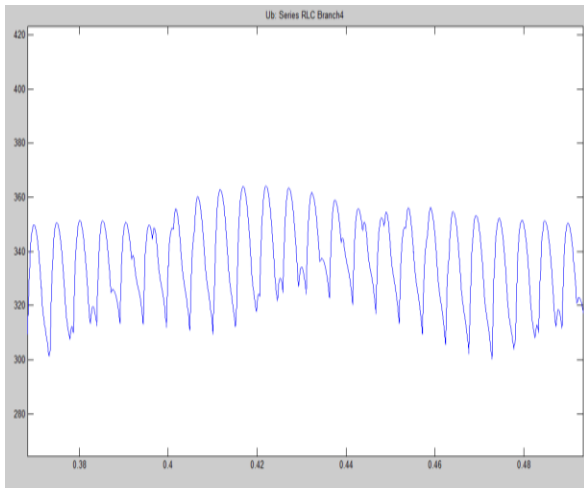
network 1

```

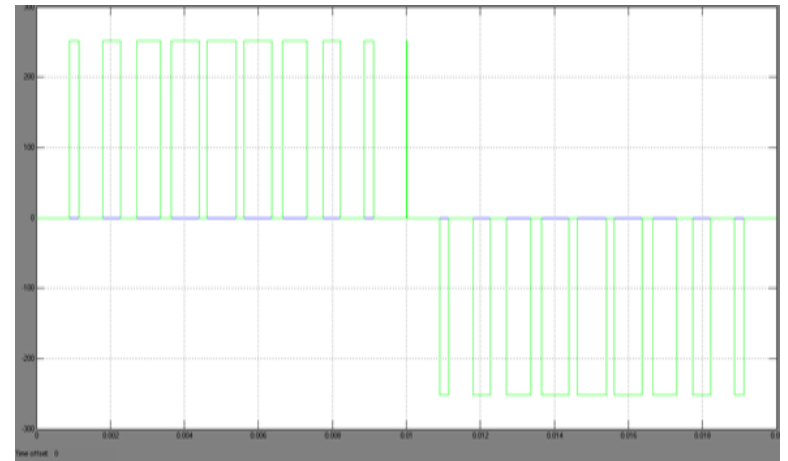
A(
L           "Anemometer" L 3.000000e+001 >D
)
S           "Diesel generator" S           "High velocity"
R           "Wind Power" network 2
A(
L           "Anemometer" L 3.000000e+001 <=D
)
R           "High velocity" network 3
A(
L           "Volt"
L           2.200000e+002 ==D
)
AN "Disconnect" AN "High velocity" S           "Wind Power"
R           "Diesel generator" R           "Accumulator"
network 4
A           "Disconnect"
R           "Wind Power" network 5
A(
L           "Accumulation Degree" L           9.500000e+001
>=D )
AN "Wind Power" S           "Accumulator"
R           "Diesel generator" network 6
A(
L           "Accumulation Degree" L           3.500000e+001
<D )
AN "Wind Power"
S           "Diesel generator" network 7
A           "Power off"
R           "High velocity" R "Accumulator" R "Wind Power"
R           "Diesel generator"

```

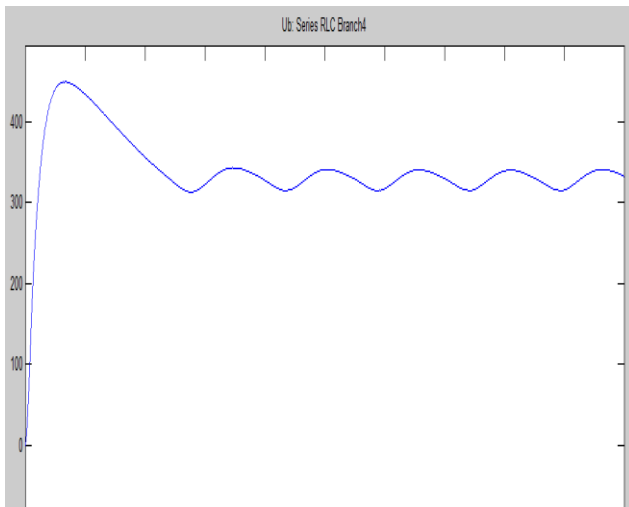
Програмне забезпечення було реалізовано в середовищі Simatic Manager на мові Step 7. Керуюча програма працює на підставі читання даних з ряду датчиків



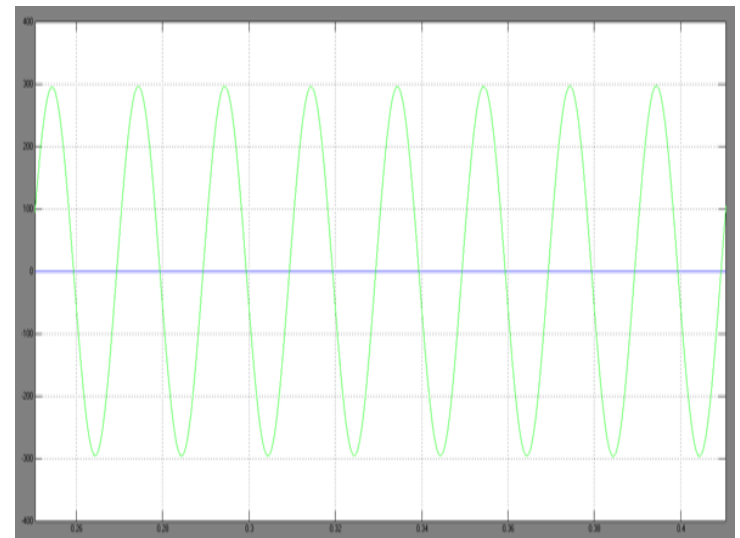
Вихідна напруга без фільтру



Вихідна напруга після інвертора без фільтру



Вихідна напруга з фільтром



Вихідна напруга після інвертора з фільтром



$$f_x = \frac{n \cdot z}{60}$$

де  $f_x$  – частота електричних імпульсів;

$n$  – кількість обертів;

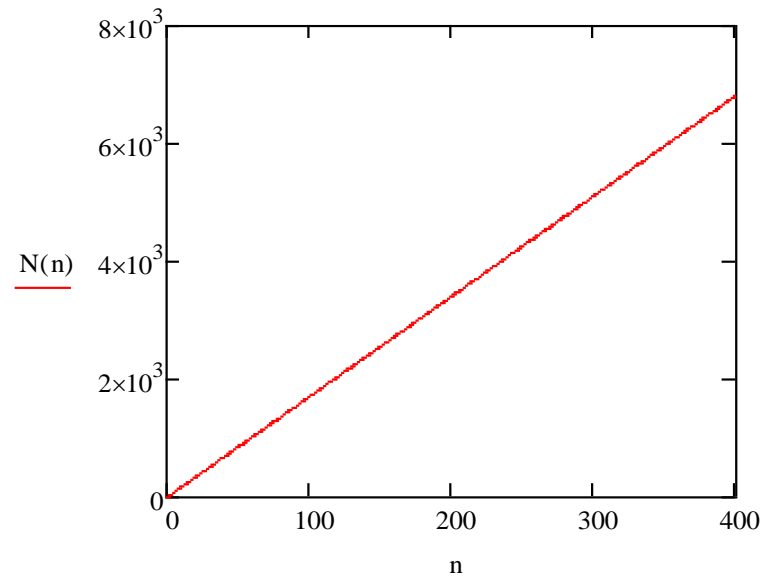
$z$  – кількість імпульсів за один повний оберт.

$$N_x = \frac{k \cdot n \cdot z}{60 \cdot f_0}$$

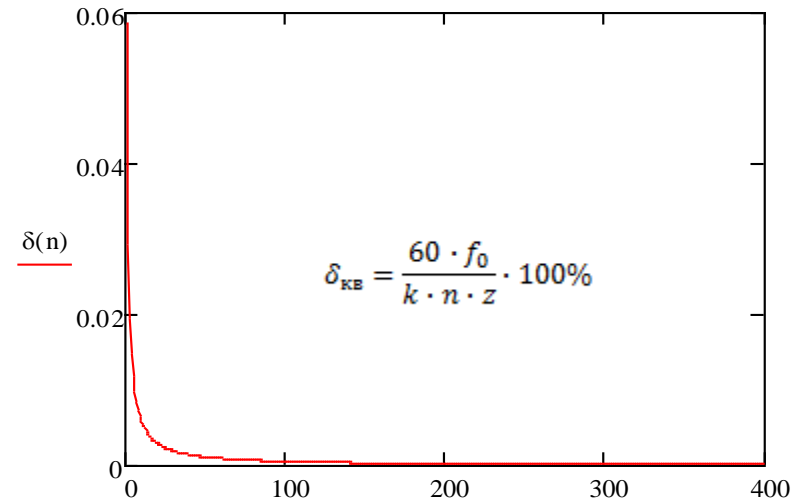
де  $k$  – коефіцієнт ділення подільника

частоти;

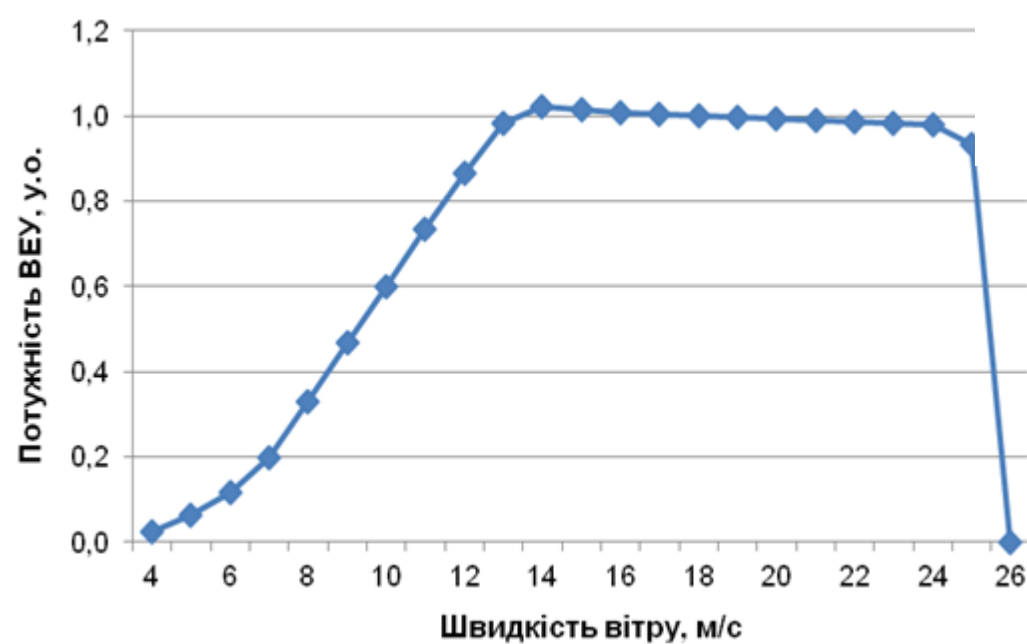
$f_0$  – зразкова частота



Графічне представлення рівняння перетворення вимірювального каналу швидкості обертання



Графічне представлення похибки квантування вимірювального каналу



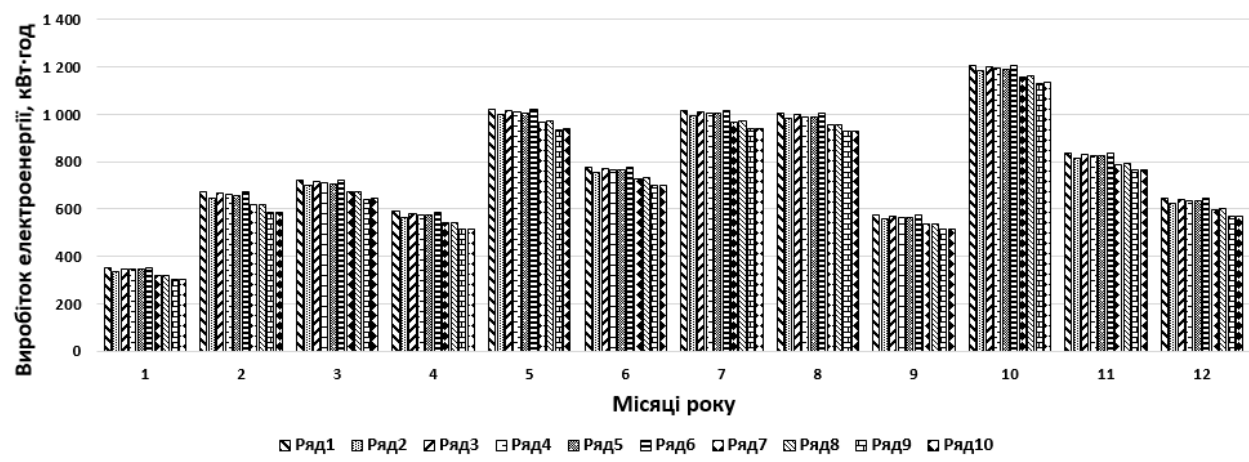
$$P_{BEU}(v) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F \cdot \eta(v) \cdot \eta_m \cdot \eta_{gw}$$

$P_{BEU}$  – потужність вітроелектричної установки при заданій швидкості вітру, кВт;  
 $\rho$  – густина вітрового потоку, кг/м<sup>3</sup>, при атмосферному тиску 760 мм.рт.ст., та температурі 15 °С становить 1,225 кг/м<sup>3</sup>;  
 $v$  – поточна величина швидкості вітрового потоку, м/с;  
 $\eta(v)$  – коефіцієнт використання вітрової потужності;  
 $F$  – площа обмаху ротора, м<sup>2</sup>, зазвичай визначається як площа кола

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Типова крива потужності ВЕУ

де:  $d$  – діаметр ротора, м.



Діаграма виробітку електричної енергії десяти ВЕУ

Було проведено оцінку комерційного потенціалу розробки системи контролю параметрів вітрогенераторів на основі ПЛК, яка забезпечить моніторинг та управління роботи вітроелектричних установок, який є середнім.

При порівнянні нової розробки з аналогом виявлено, що вона є якіснішою і конкурентоспроможнішою відносно аналога, а також краще по технічним і економічним показникам.

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи по кожній з статей витрат складе 24098,8 грн. Загальна ж величина витрат на виконання та впровадження результатів даної НДР буде складати 96395,26 грн.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 1,2 роки при прогнозованому прибутку грн. за три роки.

Відповідно до теми та індивідуального завдання, у даній магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено перетворювач кінетичної енергії вітрового потоку у електричну та система контролю параметрів вітрогенераторів. Дана система може застосовуватись на об'єктах з різними вихідними параметрами, як по потужності, так і по номіналу напруги.

В ході виконання роботи було визначено особливості об'єкту контролю, зроблено огляд структури ВЕУ, вибір схеми забезпечення об'єкта енергією, розроблено систему автономного енергозабезпечення на прикладі реального господарства. В ході роботи було здійснено проектування системи моніторингу роботи автономної енергоустановки, а також проведені дослідження метрологічних характеристик вимірювального каналу обертання лопаті вітрогенератора.

Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для роботи ПЛК VIPA.

## Апробація результатів магістерської роботи

**Апробація результатів роботи.** Результати роботи обговорювалися на V Міжнародній науково-технічній конференції «ВКДТС-2019». (м. Вінниця).

**Публікації.** Результати роботи опубліковано у збірнику тез доповідей:  
[Дудатьєв І.А., Кузнецлв М. . ПЕРЕТВОРЮВАЧ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ  
ВІТРОВОГО ПОТОКУ У ЕЛЕКТРИЧНУ З ПОКРАЩЕНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ  
БЕЦА // ВКДТС , 2019, с. 118-121.](#)

**Дякую за увагу!**