

ПРИСТРІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ШВИДКОСТІ ТА НАПРЯМУ ВІТРУ

Abstract. The development of device for monitoring wind parameters is presented. General structures of the device and channels for wind speed and direction measurement are described. General problems of signal conditioning and acquisition in designed channels are discussed.

Актуальність

Поширення впровадження джерел альтернативної енергії, таких як вітрогенератори, є актуальним завданням сучасного господарства. Це дозволяє вирішити проблеми енергетичної незалежності окремих регіонів та приватних господарств. Одним із напрямків розвитку галузі є підвищення експлуатаційно-економічних показників – здешевлення обладнання та оптимізація режимів його роботи. Режим роботи вітрогенератора та крок його лопатей, залежать від параметрів вітру: його швидкості та напрямку. Створення економічно привабливих систем керування вітрогенераторами є одним із важливих способів поширення джерел альтернативної енергії. Тому розробка пристроїв дистанційного моніторингу параметрів вітру з покращеними економічними показниками є актуальним завданням в галузі альтернативної енергетики.

Постановка задачі

Метою роботи є створення апаратного забезпечення вирішення завдань метеорологічних вимірювань, а саме розробка пристрою дистанційного моніторингу швидкості та напрямку вітру. Під дистанційним моніторингом в роботі прийнято розуміти періодичне вимірювання необхідного параметру з подальшим передаванням вимірянних значень дротовими або бездротовими лініями зв'язку до базової станції. Для досягнення поставленої мети сформульовано задачу розробки та випробування прототипу пристрою, вирішення якої може бути поділене на наступні етапи:

- 1) аналіз методів вимірювання швидкості та напрямку вітру;
- 2) розробка структурної схеми каналу вимірювання швидкості вітру;
- 3) розробка структурної схеми каналу вимірювання напрямку вітру;
- 4) аналіз та підбір елементної бази;
- 5) проектування принципової схеми пристрою;
- 6) розробка експериментального зразка пристрою;
- 7) проведення експериментальних досліджень пристрою.

Вирішення задачі

Відомі методи вимірювання швидкості вітру, серед яких найбільш прийнятним для реалізації є методи, що ґрунтуються на вимірюванні

© С. В. Шенгур, О. В. Дергунов

швидкості механічного обертання крильчатки або валу з чашками [1-4]. Такі засоби є простими для практичної реалізації, достатньо надійними та задовольняють вимоги предметної області. Задача вимірювання напрямку вітру також може бути вирішена різними методами, проте найпростішим є метод з використанням флюгера та вимірювання його куту повороту відносно основи [1-4].

Пристрій дистанційного моніторингу швидкості та напрямку вітру передбачає наявність двох відповідних вимірювальних каналів, вузлів дротової та бездротової передачі даних, дисплею для відображення поточних показів та мікроконтролера (МК). Структура пристрою наведена на рис. 1, на якому позначено: ОК – об’єкт контролю (вітер), ВК – вимірювальний канал, МК – мікроконтролер, ПВ – пристрій відображення, ВДПД та ВБДПД – вузли дротової / бездротової передачі даних, ЛЗ – лінія зв’язку.

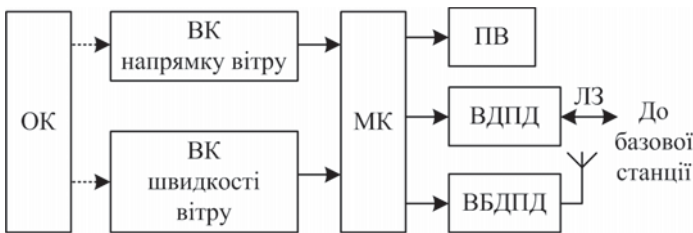


Рис. 1. Структурна схема пристрою дистанційного моніторингу швидкості та напрямку вітру

Основою сучасного електронного пристрою є мікроконтролер. Прототип пристрою побудовано на основі мікроконтролерної плати Arduino Nano, в основі якої лежить МК Atmega 328p компанії Atmel [5, 6].

Основний режим роботи передбачає передачу вимірних даних на базову станцію за допомогою бездротового зв’язку за допомогою модуля nRF24L01+. Даний модуль забезпечує напівдуплексний режим цифрового радіообміну на частоті 2,4 ГГц на відстань до 1 км зі швидкістю передачі даних до 2 Мбіт/с при прямій видимості.

Для випадків, коли радіозв’язок ускладнений, в пристрої моніторингу передбачено вузол дротової передачі даних. В якості інтерфейсу дротової передачі даних обрано інтерфейс RS-485 з протоколом Modbus-RTU.

Далі будуть розглянуті окремі вимірювальні канали.

Канал вимірювання швидкості вітру

Структура послідовного вимірювального каналу (рис. 2) складається із наступних елементів: датчик, пристрій узгодження, мікроконтролер з АЦП, пристрій виведення інформації.

Як датчик обрано оптичару рефлекторного типу TCRT5000, яка складається з ІЧ-світлодіода та фототранзистора.

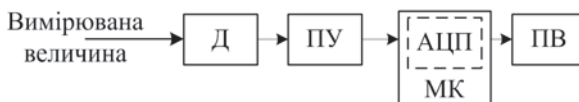


Рис. 2. Структура вимірювального каналу швидкості вітру: Д – датчик; ПУ – пристрій узгодження; МК – мікроконтролер з АЦП; ПВ – пристрій виведення інформації

При обертанні ротора анемометра з напівсферичними чашками на виході оптопари формуються рівні напруги 2,5 В і 3,5 В, що відповідають відкритому та закритому станам фототранзистора (рис. 3а).

Для можливості опрацювання сигналу з датчика мікроконтролером вимірювальний канал передбачає використання пристрою узгодження, який перетворює вхідний сигнал у рівні напруг 0 В та 5 В, що відповідає логічним рівням «0» та «1» (рис. 3б).

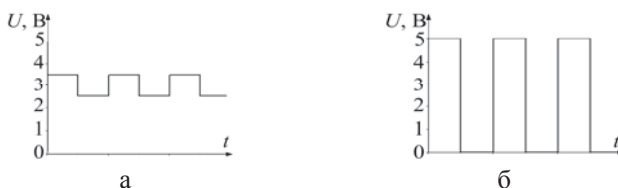


Рис. 3. Сигнали на виході: а – датчика; б – пристрою узгодження

Як пристрій узгодження використано компаратор LM393 Texas Instruments в режимі уніполярного живлення 5 В.

З виходу пристрою узгодження послідовність прямокутних імпульсів, частота яких відповідає частоті обертів ротора анемометра надходить на мікроконтролер, на якому реалізовано цифровий частотомір. Як мікроконтролер використано ATmega328 з тактовою частотою 16 МГц та робочою напругою 5 В, представлений на платі Arduino Nano. Конвертація частоти обертання ротора у швидкість потоку повітря виконана програмно на основі лінійної інтерполяції градувальної характеристики розробленого пристрою за допомогою цифрового анемометра, прийнятого за еталонний.

За пристрій виведення результату вимірювання взято LCD дисплей Nokia 5510 з роздільною здатністю 84x48 пікселів та напругою живлення 3,3 В.

Канал вимірювання напрямку вітру

Принцип вимірювання напрямку вітру базується на вимірюванні кута повороту флюгера безконтактним методом на основі магніторезистивного датчика. На роторі флюгера закріплено постійний магніт таким чином, щоб при обертанні ротора напрямок вектора напруженості магнітного поля магніту обертався в площині чутливості магніторезистивного сенсора (рис. 4).

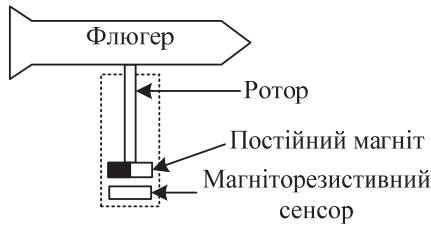


Рис. 4. Умовна конструкція механічної частини каналу вимірювання напрямку вітру

Структура вимірювального каналу наведена на рис. 5. Як датчик використано магніторезистивний датчик KMZ41 Philips – спеціалізований сенсор безконтактного вимірювання кутів повороту рухомих об’єктів [7, 8].

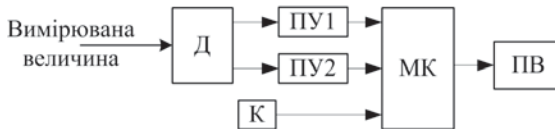


Рис. 5. Структура вимірювального каналу: Д – датчик; К – ключ; ПУ1 та ПУ2 – пристрої узгодження; МК – мікроконтролер; ПВ – пристрій виведення інформації

На аналогових виходах датчика формуються два значення напруги, які відповідають поточному значенню кута повороту флюгера. При неперервному обертанні флюгера у діапазоні $[0^\circ; 360^\circ)$ на виході датчика формуються два біполярні гармонічні сигнали (1) та (2) (рис. 6а):

$$x = X_0 \sin 2\alpha, \quad (1)$$

$$y = Y_0 \cos 2\alpha \quad (2)$$

амплітудою $X_0 = Y_0$ порядку десятків мілівольт, зміщених за фазою (рис. 4а), де α – кут повороту:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{x}{y}\right). \quad (3)$$

З виходу датчика сигнали потрапляють на пару інструментальних підсилювачів, які виступають пристроями узгодження сигналів із мікроконтролером для формування уніполярних сигналів X та Y у діапазоні 0 В ... 5 В [9, 10] (рис. 6б).

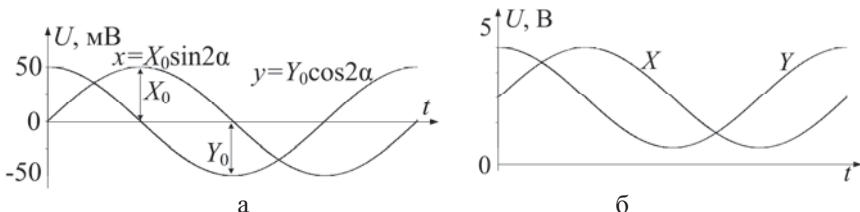


Рис. 6. Сигнал на виході: а – датчика; б – пристроїв узгодження

Датчик KMZ41 передбачає вимірювання кутів повороту від 0° до 180° з обнулінням при повороті на протилежну півкулю. Для відстеження півкулі використано ключ на основі оптопари та компаратора, який формує на цифровому вході мікроконтролера логічні «0» або «1» для відповідних півкуль. В якості мікроконтролера використано ATmega328. Програмна обробка передбачає визначення різниці фаз гармонічних сигналів на аналогових входах мікроконтролера та переведення їх в кут направлення повітряного потоку з урахуванням стану компаратора.

Результат вимірювання значення кута повороту визначають як:

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{X - 2,5}{Y - 2,5}\right), \quad (4)$$

де 2,5 В означає урахування корекції середнього рівня сигналу на виході пристрою узгодження.

Принципова схема пристрою вимірювання швидкості та напрямку вітру наведена на рис. 7.

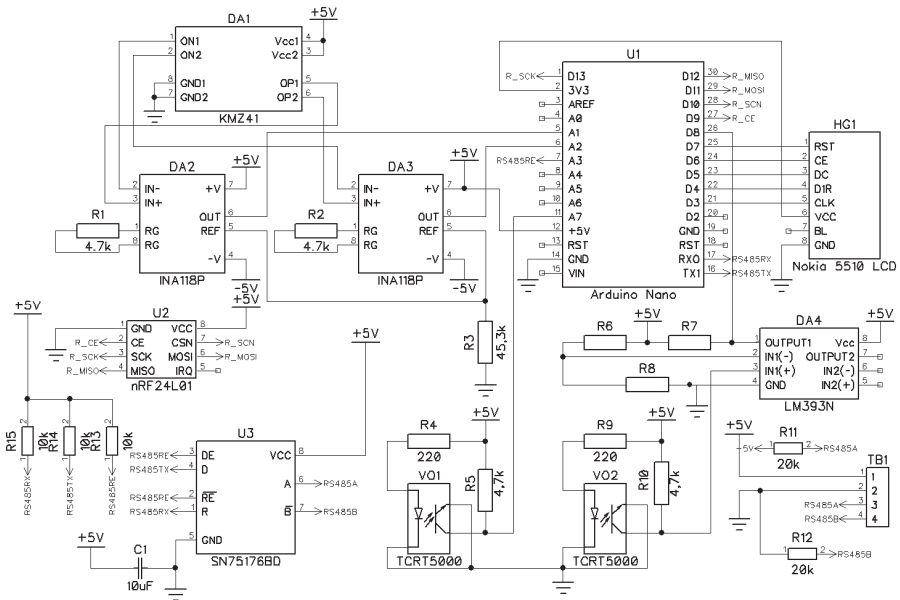


Рис. 7. Принципова схема пристрою вимірювання швидкості та напрямку вітру

Експериментальне випробування пристрою

З метою визначення метрологічних характеристик розробленого пристрою проведено експериментальне випробування його вимірювальних каналів шляхом безпосереднього зіставлення його показів із показами повірених приладів з відомими метрологічними характеристиками. Канал

вимірювання швидкості вітру випробувано на генераторі повітряного потоку з порівнянням показів каналу із показами лабораторного анемометра з класом точності 1.0. В результаті експерименту похибка каналу вимірювання швидкості вітру не перевищувала 3% в діапазоні від 2 до 15 м/с. Похибка вимірювання напрямку вітру визначена за результатами експериментального випробування не перевищує 2,5%.

Висновки

Розроблено прототип пристрою дистанційного моніторингу швидкості та напрямку повітряного потоку, з можливістю передачі результатів вимірювання дротовими та бездротовими лініями зв'язку. Представлена реалізація може бути використана для вирішення задач метеорологічного нагляду в різних секторах господарства, в тому числі в енергетиці, як джерело інформативних сигналів в системах керування вітрогенераторами.

Результати експериментального випробування пристрою вказують на те, що похибки каналів вимірювання швидкості та напрямку вітру не перевищують 3% та 2,5%.

10. *John E. Oliver Encyclopedia of world climatology / John E. Oliver – Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005. – 830 p.*
11. *Anemometer // OMEGA Engineering, Inc [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.omega.com/prodinfo/anemometers.html>.*
12. *How is wind measured for wind turbines? // Windpower Engineering, 2011 [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.windpowerengineering.com/design/test-measurement/how-is-wind-measured/>.*
13. *Williams B.M. New Applications of Remote Sensing Technology for Offshore Wind Power // 2013 [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.ceoe.udel.edu/File%20Library/Research/Wind%20Power/Williams-Final-Thesis-14-May.pdf>.*
14. *James A. Langbridge Arduino Sketches: Tools and Techniques for Programming Wizardry / James A. Langbridge – NY: Wiley, 2015. – 480 с.*
15. *Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер – СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.*
16. *KMZ41 Magnetic field sensor – Product data sheet – NXP Semiconductors, 2010. – 10p.*
17. *Contactless Angle Measurement using KMZ41 and UZZ9001 – Application note AN00004 – Philips Semiconductors, 2013. – 50 p.*
18. *Horowitz P. The Art of Electronics – 3rd edition / P. Horowitz W. Hill – NY.: Cambridge University Press, 2015. – 1192 p.*
19. *Харрис Д.М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера: Пер. с англ. – Изд. 2-е / Д.М. Харрис, С.Л. Харрис – Нью Йорк: Издательство Morgan Kaufman, 2015. – 1662 с.: ил.*

Поступила 20.03.2017р.