

УДК 621.313

Тума Д.Р.¹, Сапронов І.І.², Мохнач Р.Е.³, Татарчук Т.В.⁴

¹ студ. гр. Е-413сп НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. КНТ-523 НУ «Запорізька політехніка»

³ зав.лаб. НУ «Запорізька політехніка»

⁴ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ФІЗИЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДВОХ ПРОВІДНИКІВ

У сучасному суспільстві електромагнітні поля широко використовуються в різних системах і пристроях. Вивчення їхніх властивостей важливе для інженерних і наукових застосувань, даючи змогу оптимізувати й удосконалювати електрообладнання. Магнітні поля використовуються для реалізації різних систем керування, наприклад, для динамічної стабілізації маніпуляторів шляхом зміни магнітного поля. Датчики Холла використовуються для безконтактного вимірювання показника електромагнітних полів, позиціонування у багатьох системах, допомагаючи підвищити ефективність і точність [1].

У цьому дослідженні використовуються система з трьох датчиків Холла, які розміщені по різних площинах. Один датчик Холла вимірює магнітне поле у горизонтальній площині, другий датчик Холла – у вертикальній площині, а третій датчик Холла – у площині, перпендикулярній до перших двох (рис. 1).



Рисунок 1 – Розміщення датчиків Холла у трьох площинах

У вимірюванні використовується модуль на мікроконтролері STM32F103C8T6 (рис. 2), до якого підключаються датчика Холла. На плату подається живлення (напруга від 3,3 до 5 В), для роботи модуля, та підключається модуль до мікроконтролера за допомогою дротів: SDA, SCL та GND. SDA та SCL – це лінії інтерфейсу I2C, які використовуються для передачі даних від модуля до мікроконтролера.

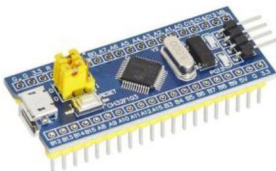


Рисунок 2 – Модуль на мікроконтролері STM32F103C8T6

Датчики Холла, за маркуванням HW-101G мають високу чутливість і вимірюють магнітне поле з роздільною здатністю 1 мкТл. Вони використовуються для різних програм, включаючи вимірювання магнітного поля землі, детектування магнітів, контроль положення тощо [2].

Модуль використовує протокол I2C для зчитування даних з датчика Холла, який вимірює магнітне поле в трьох напрямках. Вбудований мікроконтролер STM32F103C8T6 обробляє ці дані та взаємодіє з іншими пристроями. Мікроконтролер також підтримує різні інтерфейси і може бути запрограмований за допомогою платформи Arduino. Датчик поля автоматично калібрується шляхом генерації сигналу та аналізу максимальних і мінімальних значень напруг за трьома осями. Це дає змогу визначити коефіцієнти масштабування та зміщення для кожної осі вимірювання, забезпечуючи точність вимірювань.

Формули для обчислення коефіцієнтів масштабування та усунення [2]:

$$scale_x = \frac{\max_x - \min_x}{2^{15}}, \quad (1)$$

$$offset_x = \frac{\max_x + \min_x}{2}, \quad (2)$$

де \max_x \min_x – максимальне та мінімальне значення напруги, В.

Після обчислення коефіцієнтів масштабування та зміщення мікроконтролер записує їх в енергонезалежну пам'ять (EEPROM) модуля для збереження при перезавантаженні. Ці коефіцієнти використовуються для перетворення сирих даних від датчиків Холла в одиниці магнітного поля. Автоматичне калібрування датчиків на модулі підвищує точність вимірювання та усуває зміщення в значеннях [2].

Платформа для вивчення магнітного поля провідників заснована на механізмі 3D-принтера. Провідник поміщається на поверхню платформи, де на нього подається живлення. Модуль датчика Холла встановлюється замість сопла принтера і за сигналом переміщається за заданими координатами на відстані 1 мм над площиною вимірювання. Показання датчика Холла

зчитуються з частотою, обраною за допомогою програмного забезпечення. Стенд керується електронною платою Arduino Uno з численними входами і виходами та USB-роз'ємом для підключення до комп'ютера [3].

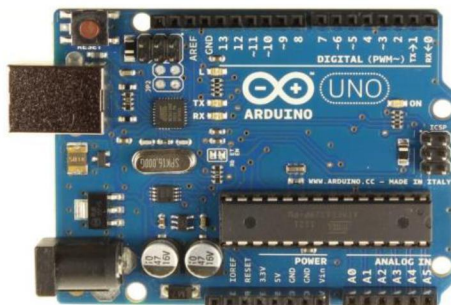


Рисунок 3 – плата Arduino Uno

Arduino Uno підтримує мову програмування C/C++ і вбудовану Arduino IDE, що дає змогу легко завантажувати код і відстежувати результати в режимі реального часу. Він також підтримує широкий спектр додаткових бібліотек і модулів розширення [4], що додають йому функціональності: Arduino Uno використовує інтерфейс USB для передачі даних на комп'ютер, що дає змогу передавати дані в реальному часі на ПК. Графіки, отримані після вимірювання магнітного поля за допомогою цього модуля, використовуються для аналізу та візуалізації різних властивостей магнітного поля, як-от просторовий розподіл і зміни в часі.

Для перевірки роботи системи датчиків та отримання розподілу магнітного поля використали наступну систему: два провідники, які встановлені паралельно один до одного (рис. 4).

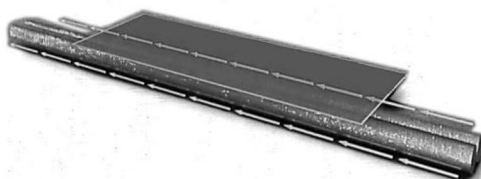


Рисунок 4 – Два провідника діаметром 2 мм

Графік магнітного поля одного провідника (рис. 5) є залежністю магнітної індукції від відстані до провідника. На графіку видно, що магнітне поле спочатку збільшується і досягає максимуму в деякій точці, а потім починає зменшуватися. Це пов'язане з тим, що поблизу провідника магнітне

поле формує замкнуті лінії магнітної індукції, але на великих відстанях поле поширюється.

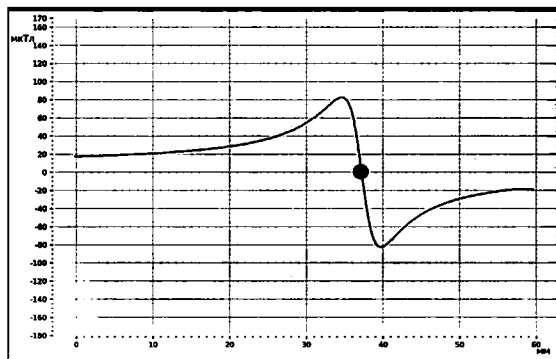


Рисунок 5 – Магнітне поле одного провідника

Проведено дослідження магнітного поля двох провідників, коли датчики розміщені по центру провідників та зі зсувом на 2 мм у бік від них. Форма кривої має залежність від відстані між провідниками, діаметра провідників, сили струму та інших факторів. Однак у цілому підсумована крива матиме схожі особливості з кривою одиночного провідника, але з більшими амплітудами піків та мінімумів (рис.6).

Підсумовуюча крива двох провідників з односпрямованим струмом виявляється схожою з кривою одиночного провідника, тому що в цьому випадку магнітні поля, створювані кожним провідником, складаються. Якщо провідники знаходяться досить близько один до одного, то магнітні поля, створювані кожним провідником, взаємодіють один з одним [5].

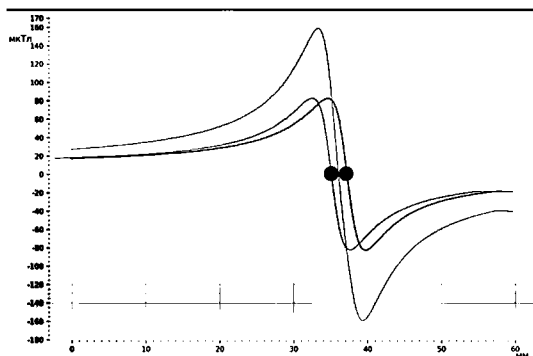


Рисунок 6 – Реальна підсумована крива двох провідників

Таким чином, на основі 3D-принтера та електронної плати Arduino Uno створено пристрій для кількісного аналізу магнітного поля у просторі для різних систем. Як приклад, розглянуто розподіл магнітного поля, що створюється двома прямими провідниками та виявлено точку максимальної магнітної взаємодії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чабан, В. Електромагнітні процеси: навч.-наук. посіб. [Текст] / В. Чабан; Львів: Простір. – М, 2017. – 411 с.
2. Montaigne, F. Development of magnetoresistive sensors based on planar Hall effect for applications to microcompass [Text] / F. Montaigne, A. Schuhl, F. Nguyen Van Dau // Sensor Actuat. A-Phys. – 2000. – V. 81. – P. 324.
3. Офіційний сайт Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc>.
4. Антоненко, В.М. Сучасні інформаційні системи і технології. Навчальний посібник [Текст] / В.М. Антоненко, Ю.В. Рогушина. – К.: КСУ МГІ, 2005. – 131 с.
5. Чабан, В. Електромагнітні поля: навч. посіб. для електротехн. фахів [Текст] / В. Чабан. – 7-е вид., доповн. – Львів, 2013. – 234 с.
6. Готра, З.Ю. Фізичні основи електронної техніки: підручник [Текст] / З.Ю. Готра, І.Є. Лопатинський, Б.А. Лук'янець та ін. – Львів: Бескид Біт, 2004. – 880 с.