

УДК 621.31, 53.083

## Система керування стендом випробовування теплового насосу

Пасічник Б.В., Бевза О.М.

### Вступ

На тлі енергетичної кризи, яка щороку постає все гостріше, актуальним є питання стосовно ефективного використання альтернативних джерел енергії. Тепловий насос (ТН), серед решти, відрізняється досить високою ефективністю (на 1 Вт затраченої електричної енергії можливо отримати до 7 Вт теплової енергії). Ще одна перевага – геотермальна енергія, за рахунок якої реалізується робота насоса, є надійним та поновлюваним джерело енергії доступним протягом усього року.

Метою роботи є розробка системи контролю (СК) стенду який здійснює випробовування роботи теплового насоса, задля визначення його параметрів та режимів роботи. Робота здійснюється на замовлення ТОВ «В.Д.Е. - Україна».

**ТН (геотермальний насос)**, як пристрій транспортування теплової енергії від джерела низькопотенціальної теплової енергії до споживача, працює за зворотнім циклом Карно і може бути як компресійним (приводиться в дію з допомогою механічної енергії) так і абсорбційним (використовують тепло

в якості енергії). Система що розробляється передбачає роботу саме з ТН компресійного типу. Узагальнена схема такого насосу відображено на рис.1.

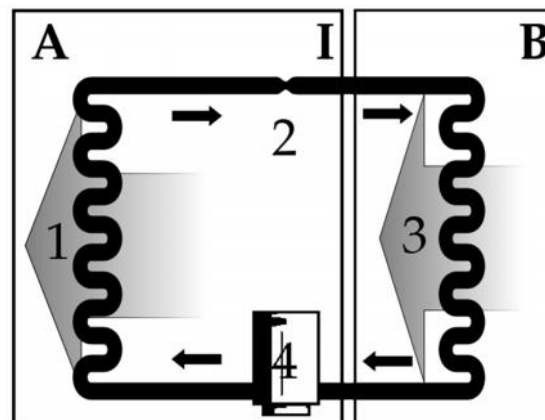


Рис. 1. Схема компресійного теплового насоса

Літерами А та В на рисунку позначено корисна теплова енергія та зовнішня теплова енергія, відповідно. 1 – конденсатор, 2 – дросель (розширювальний вентиль), 3 – випаровувач, 4 – компресійний двигун.

Дана схема є справедливою також і при опису стенду для випробовування теплового насоса, система моніторингу якого є основною ціллю роботи. В такому випадку конденсатор та випаровувач, які в комерційних зразках являють

великооб'ємні контури замінюються їх зменшеною моделлю, яка потребує менше місця для розташування та має необхідні параметри (тиск та об'єм потоку робочої рідини, температура і т.і.).

Завдання розроблюваної системи:

- контроль параметрів роботи теплового насоса для заданого стенду, який моделює різні умови реального використання ТН. Це здійснюється задля наступних цілей:
- юстування роботи системи контролю самого теплового насоса;
- перевірка та налаштування компресійного двигуна;
- можливість проведення експериментальної роботи по вдосконаленню елементної бази та матеріалів ТН;
- використання як демонстраційного стенду роботи ТН (для потенційних покупців, інвесторів, робочого персоналу), що має достатньо високу мобільність та інформативність.

Відповідно до поставлених завдань, розроблювана СК має відповідати наступним вимогам:

- вимірювання таких величин як: напруга, струм, температура, тиск;
- висока здатність до модернізації;
- візуалізація отриманої інформації в зручному для користувача форматі, з можливістю її подальшого накопичення та збереження (обробки).

Структурна блок-схема розроблюваної системи контролю стенду випробовування теплового насоса відображено на рис.2.

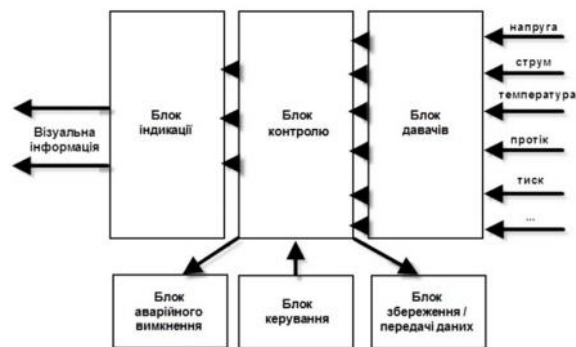


Рис. 2. Блок-схема системи контролю стенду випробовування теплового насоса

Усім згаданим вище вимогам задовольняють восьмибітні мікроконтролери сімейства AVR, які, принаймні на стадії проектування та налаштування системи контролю, зручніше використовувати в парі з відлагоджувальною платою Arduino, оскільки: по-перше – плата містить всю необхідну для коректної роботи мікроконтролера елементну базу необхідну для його нормального функціонування, що полегшує програмування / тестування; по-друге – спеціальне середовище програмування дозволяє спростити процес підключення та налаштування нових модулів (датчиків, пристроїв індикації та керування, модулів зв'язку та збереження інформації і т.і.); по-третє – величезна кількість готових для роботи з Arduino модулів, з наявними бібліотеками, що дозволяє не лише реалізувати початкові завдання замовника, але й сприяє подальшій модернізації та

розширенню функціональних можливостей системи.

Так, наприклад, для вимірювання сили струму (яка в моменти пуску, для найбільш потужних моделей, може перевищувати значення 130 А) пропонується використання так звані неінвазивні давачі струму, принцип роботи яких ґрунтується на використанні ефекту Холла. Перевагою застосування даного типу давачів є: висока верхня межа вимірюваного діапазону струму (до 1кА); можливість вимірювання як постійного так і змінного струму; наявність гальванічної розв'язки з електричним ланцюгом в якому проводяться вимірювання, що є важливим пунктом враховуючи високі значення вимірюваної величини. Явище ефекту Холла відображено на рис.3.

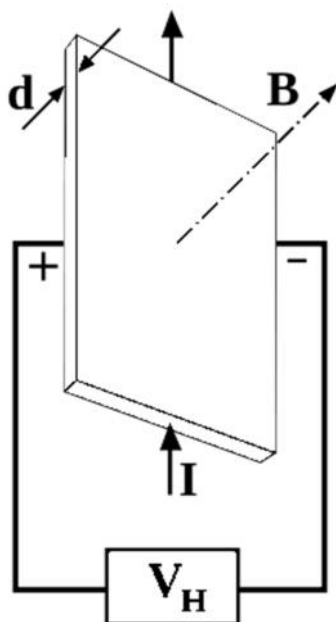


Рис. 3. Ефект Холла

При поміщенні провідника (пластина на рисунку) в магнітне поле ( $\vec{B}$ ), під дією сили Лоренца заряди

«зміщуються» до однієї з граней пластини створюючи, різницю потенціалів, яка пропорційна магнітній індукції ( $B$ ) що пронизує пластину та силі струму ( $I$ ) що фіксується, і визначається за формулою:

$$U_{\text{Холл}} = \frac{IB}{e\rho d} = R \frac{IB}{d}, \quad (1)$$

де  $e$  – елементарний заряд електрона,  $\rho$  - кількість електронів в одиниці об'єму,  $d$  – товщина пластини (провідника),  $R = \frac{1}{q\rho}$  – постійна Холла.

У випадку застосування неінвазивного давача електромагнітне поле, що виникає довкола провідника зі струмом, через не високу свою потужність потребує підсилення з допомогою феритового кільця, в розріз якого поміщується пристрій що фіксує зміну значення магнітної індукції через зміну напруги (давач на ефекті Холла). Однак на рівні з простотою конструкції, що обумовлює не високу вартість приладу (давач струму на ефекті Холла відкритого типу), проявляються і недоліки у вигляді підмагнічування осердя, що призводить до підвищення нелінійності показників. Побороти це явище можна додавши до осердя обмотку, та пустивши по ній струм, пропорційний тому що вимірюється. Давачі такої конструкції називають сенсорами компенсаційного типу (Рис.4).

Серед переваг сенсорів даної конструкції – вища точність, що

обумовлена кращою лінійністю залежності сили струму та напруги Холла. Однак ускладнена будова робить їх дорожчими, в порівнянні з давачами відкритого типу.

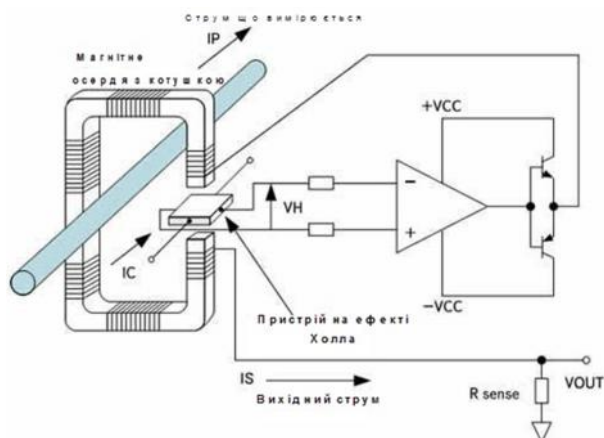


Рис. 4. Давач струму на ефекті Холла компенсаційного типу

Підключення здійснюється до аналогового порту мікроконтролера, відповідно, інформація опрацьовується через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Для біполярного давача що живиться безпосередньо від Arduino (5 В), середня точка (за кімнатної температури та відсутності вимірюваного струму / магнітного поля) знаходиться на цифровому рівні 512 (для 10-ти бітного АЦП мікроконтролерів сімейства AVR роздільна здатність визначається з формули:

$$N_p = 2^{10} = 1024, \quad (2)$$

що складає половину від напруги живлення – 2,5 В. Таким чином отримуємо крок дискретизації рівний:

$$N_d = \frac{5}{1024} = 0,00488(B) = 4,88(mB) \quad (3)$$

Знаючи залежність вихідної напруги пристрою на ефекті Холла від величини магнітної індукції, яка пропорційна силі струму що вимірюється, можна розрахувати мінімальну зміну напруги, що може фіксуватися даним вимірювачем. Відповідно до закону Біо-Савара, модуль магнітної індукції  $B$  магнітного поля прямого провідника залежить від струму провідника за формулою:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = k \frac{I}{r}, \quad (4)$$

де  $\mu_0$  – магнітна стала,  $R$  – відстань на якій визначається значення індукції

Використання такого типу давача дозволяє застосовувати його без розриву електричного ланцюга в якому проводяться вимірювання, що також можна віднести до переваг.

Наступним важливим параметром що необхідно моніторити є напруга. Реалізувати вольтметр можливо як окремим модулем, так і на власних апаратних можливостях мікроконтролера, використавши вбудований АЦП. Для забезпечення безпеки роботи, в такому випадку, доцільно реалізувати гальванічну розв'язку з високовольтним джерелом напруги. Це можна здійснити через понижуючий трансформатор, що разом полегшить подальші маніпуляції необхідні для вимірювання напруги.

Оскільки вимірювана напруга є змінною, то вольтметр можна реалізувати на понижуючому

трансформаторі (що понизить напругу до комфортного для роботи рівня та реалізує гальванічну розв'язку) та діодному мосту зі згладжувальним конденсатором (який забезпечить постійну пульсуючу напругу, яку можна буде опрацювати на АЦП мікроконтролера для визначення її значення). І врахувавши всі коефіцієнти трансформації та втрати внесені діодним мостом, обрахувати діюче значення напруги живлення.

Знаючи числові значення прикладеної до компресійного насоса напруги та струму, що протікає в його колі, можна визначити моментальну потужність, спожиту компресором в певні етапи його роботи, що важливо для оптимізації роботи теплового насоса.

Аналогічним чином, використовуючи датчик тиску, температури, протоку рідини, можна визначити робочі параметри системи теплового насоса; використовуючи LSD/LED-дисплеї – представити отриману інформацію в зручному для спостерігача вигляді; накопичення отриманих даних можна реалізувати з використанням модуля запису/зчитування SD карт; у випадку настання критичних умов роботи – здійснити відмикання напруги живлення через використання реле і т.д., залежно від потреб що встановлюються замовником.

### **Висновки**

Теплові насоси є перспективним джерелом альтернативної енергії, що має достатньо високий коефіцієнт корисної дії. Однак, для покращення

показників його роботи в кожному конкретному випадку, а також задля можливості проведення робіт по тестуванню/удосконаленню актуальним є використання автоматизованого тестового стенду, який би збирав всю необхідну виробнику інформацію задля її опрацювання та аналізу.

Для таких цілей можна успішно використовувати AVR мікроконтролери встановлені до відлагоджувальної плати Arduino, для зручності їх налаштування/програмування. Аналіз ринку компонентів показав що даний тип відлагоджувальних плат має велику кількість модулів, серед яких: різного роду датчик, дисплеї, пристрої запису, передавання та накопичення інформації, пристрої керування та багато іншого. Серед всього різноманіття представленої продукції наявні моделі, які цілком задовольняють умовам використання, забезпечуючи необхідну точність, при цьому маючи порівняно не високу вартість та зручність для використання з контролерами даного роду. Таким чином, пристрій що розробляється відповідає технічному завданню на розробку.

### **Література**

1. Laszlo Garbai, Szabolcs Mehes – System theory models of different types of heat pumps, WSEAS International conference on energy & environment, 2007;
2. ТОВ «Компанія ВДЕ» виробництво теплових насосів.

- Теплові насоси [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vde.com.ua/thermocompressor.html>;
3. Олексій Степанов. Простий пристрій моніторингу енергоспоживання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geektimes.ru/post/257776/>;
  4. Robert Keim. Understanding and applying the Hall effect [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-and-applying-the-hall-effect/>;
  5. Arduino.ua. Arduino Uno [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arduino.ua/ru/hardware/Uno> ;
  6. Монастирський З.Я. Особливості вживання української метрологічної термінології в науково-технічній літературі та документації, Гідроенергетика України, 4/2010;
  7. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М. Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/ За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів Видавництво «Бескид Біт», 2003;
  8. Баранов В.Н. Застосування мікроконтролерів AVR: схеми, алгоритми, програми, 2-е видання – М.: Видавничий дім «Додэка-XXI», 2006.