

# РЕАЛІЗАЦІЯ ОЦІНЮВАЧА ККД НАСОСУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОЇ ЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ ALTERA CYCLONE V

Бур'ян С.О., к.т.н., доц., Печеник М.В., к.т.н., доц., Петровський Я.І.  
НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

**Вступ.** Пристрої вимірювання координат та параметрів технологічних об'єктів є невід'ємною складовою структури систем керування. В свою чергу давачі, що надають інформацію про технологічні координати насосних установок, є досить дорогими та у багатьох випадках їх неможливо змонтувати або замінити без втручання в гідравлічну мережу. Одним із шляхів зменшення давачів у системі є застосування штучних нейронних мереж, які на основі вже відомих вимірюваних координат дозволяють оцінити значення інших координат, наприклад продуктивності насосу [1], його коефіцієнт корисної дії (ККД) [2] та інші. Останній неможливо виміряти безпосередньо, а відомі непрямі способи [3] знову ж таки потребують встановлення додаткових давачів. Тому актуальним завданням є побудова оцінювача ККД насосу на основі нейронної мережі та експериментальна перевірка його працездатності.

**Мета роботи.** Реалізація оцінювача ККД насосу на основі нейронної мережі на базі плати розробника DE1-SoC [4] фірми Altera з програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС) сімейства Cyclone V.

**Матеріали і результати досліджень.** Технічна реалізація нейронних мереж потребує попередню інформацію про характер зміни оціненої величини від вимірюваних координат, яка буде використовуватися для тренування і визначення коефіцієнтів у рівняннях, що описують нейронну мережу. Для оцінки ККД насосу у якості вхідних масивів використаємо продуктивність ( $Q$ ) та напір ( $H$ ), так як залежність ККД від цих величин можна отримати із каталожних характеристик виробника [5]. Для прикладу був виділений масив з 250 робочих точок, який вміщує 20 каталожних характеристик:  $Q$ - $H$  характеристик та характеристик  $Q$ -ККД на швидкостях від 2900 об/хв до 1000 об/хв з кроком 100 об/хв для насосу потужністю 30кВт, які показано на рис. 1.

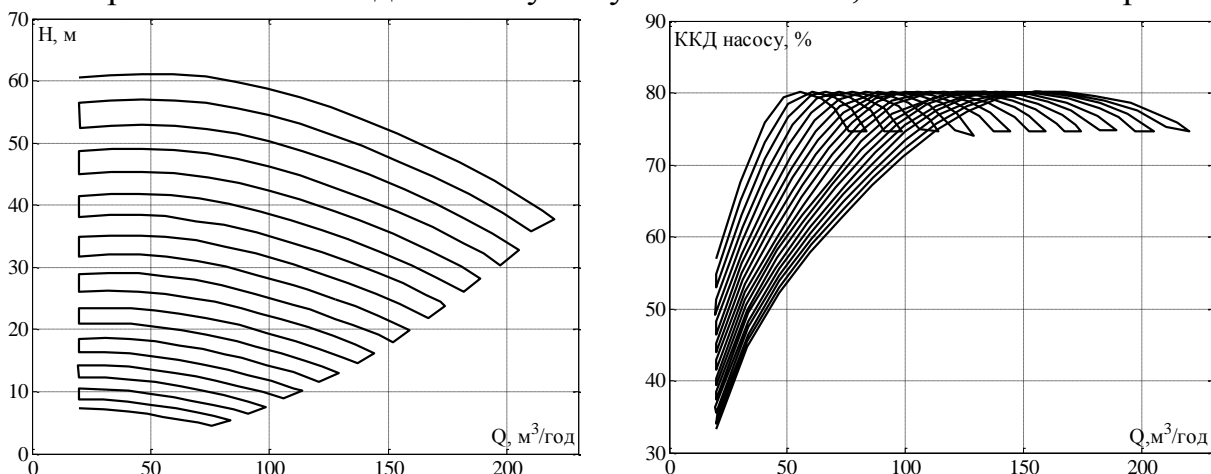


Рисунок 1 – Каталогні характеристики насосу потужністю 30кВт

Сформований масив застосовується для навчання нейронної мережі. Масиви даних  $Q$  та  $H$  є вхідними величинами, а ККД є цільовою функцією. Нейронна мережа складається з двох шарів з 10 та 1 нейронами у відповідних шарах з функціями активації гіперболічного тангенсу ( $\text{tansig}$ ) та лінійною ( $\text{purelin}$ ) відповідно. У якості функції тренування вибраний алгоритм Левенберга-Марквардта  $\text{trainlm}$ , який застосовується для апроксимації функцій.

Рівняння, що описують нейронну мережу мають наступний вигляд

$$y_{11} = th(In_Q \cdot w_{111} + In_H \cdot w_{121} + b_{11}); \quad y_{12} = th(In_Q \cdot w_{112} + In_H \cdot w_{122} + b_{12});$$

$$y_{13} = th(In_Q \cdot w_{113} + In_H \cdot w_{123} + b_{13}); \quad y_{14} = th(In_Q \cdot w_{114} + In_H \cdot w_{124} + b_{14});$$

$$y_{15} = th(In_Q \cdot w_{115} + In_H \cdot w_{125} + b_{15}); \quad y_{16} = th(In_Q \cdot w_{116} + In_H \cdot w_{126} + b_{16});$$

$$y_{17} = th(In_Q \cdot w_{117} + In_H \cdot w_{127} + b_{17}); \quad y_{18} = th(In_Q \cdot w_{118} + In_H \cdot w_{128} + b_{18});$$

$$y_{19} = th(In_Q \cdot w_{119} + In_H \cdot w_{129} + b_{19}); \quad y_{10} = th(In_Q \cdot w_{110} + In_H \cdot w_{120} + b_{10});$$

$$U = y_{11} \cdot w_{11} + y_{12} \cdot w_{12} + y_{13} \cdot w_{13} + y_{14} \cdot w_{14} + y_{15} \cdot w_{15} + y_{16} \cdot w_{16} + y_{17} \cdot w_{17} + y_{18} \cdot w_{18} + y_{19} \cdot w_{19} + y_{10} \cdot w_{10} + b_1.$$

де  $In_Q$ ,  $In_H$  – вхідні масиви продуктивності та напору;  $b_{1i}$ ,  $b_1$  – коефіцієнти зміщення;  $w_{11i}$ ,  $w_{12i}$ ,  $w_{1i}$  – вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків;  $U$  – вихідна координата (ККД насосу).

Після навчання нейронної мережі за допомогою пакету MatLab були визначені коефіцієнти зміщення та вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків.

Для технічної реалізації нейронної мережі була використана плата розробника фірми Altera з програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС) типу FPGA сімейства Cyclone V. На платі розміщено програматор USB-Blaster з інтерфейсом програмування JTAG, генератор тактової частоти та 12-ти розрядний АЦП, що має 8 аналогових входів. На ПЛІС реалізовано процесор Nios II, а також синхронний послідовний порт, за допомогою якого і відбувається зчитування даних з АЦП. Функціональна схема каналу зчитування даних з АЦП представлена на рис. 2.

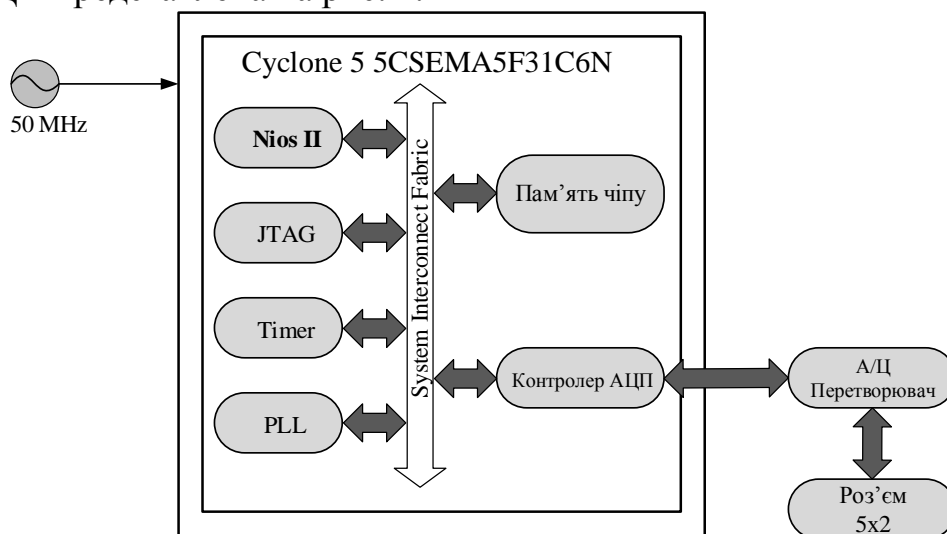


Рисунок 1 – Функціональна схема каналу зчитування даних з АЦП

Для коректної роботи нейронної мережі вхідні та вихідні сигнали були промасштабовані у діапазоні від -1 до 1.

Блок-схема нейронної мережі, запрограмованої у ПЛІС, представлена на рис. 2.

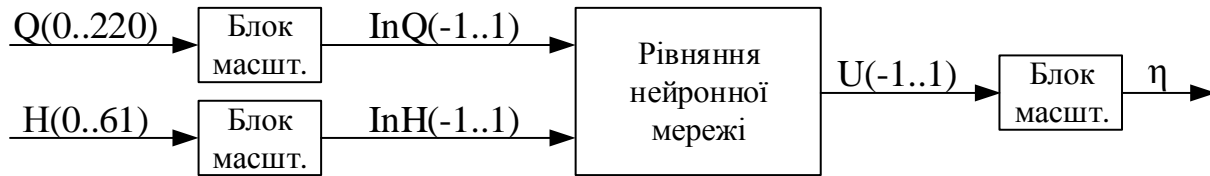


Рисунок 2 – Блок-схема нейронної мережі

Для програмування на мові С використане програмне забезпечення Nios II Software Build Tools for Eclipse фірми-виробника Altera. Вхідні та вихідні сигнали у режимі реального часу виводилися на дисплей ПК для візуальної оцінки. Для перевірки працездатності нейронної мережі аналогові входи були підключені до потенціометрів, які симулювали зміну вхідних сигналів. Похибка оцінки ККД у різних робочих точках не перевищує 5%, що є прийнятним значенням для невеликого тренувального масиву 250 точок.

**Висновки.** Технічно реалізовано оцінювач ККД насосу за допомогою нейронної мережі на базі плати розробника DE1-SoC фірми Altera з запрограмованою логічною інтегральною схемою сімейства Cyclone V. Дослідження показали, що похибка оцінювання ККД насосу не перевищує 5% при порівнянні з каталожними характеристиками. Такий підхід дозволяє зменшити кількість вимірюваних величин при побудові систем керування технологічними координатами та реалізації енергоефективних алгоритмів керування. Наступним кроком буде дослідження роботи оцінювача на експериментальному лабораторному стенді з реальною насосною установкою.

#### Перелік посилань

1. Попович М.Г. Електромеханічна система автоматизації насосної установки з оцінюванням продуктивності за допомогою нейронної мережі / М.Г. Попович, Б.І. Приймак, С.О. Бур'ян // Вісн. Кременчуцького державного політехн. ун-ту ім. М.Остроградського. Вип. 3/2009 (56). – Ч. 2. – 2009. – С. 57-59.
2. Бур'ян С.О. Оцінювач коефіцієнта корисної дії насосу на основі нейронної мережі та каталожних характеристик / С.О. Бур'ян, Т.В. Грищук// Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 07-08 квітня 2011 р. – Кременчук, КНУ, 2011. – с. 97-98.
3. Cattaert A.E. High Pressure Pump Efficiency Determination from Temperature and Pressure Measurements// IEEE PES PowerAfrica 2007 Conference and Exposition Johannesburg, South Africa, 16-20 July 2007.
4. [Електронний ресурс]: Overview of DE1-SoC Development Board /Solution for Altera FPGAs – Електрон. дані. – Terasic Inc., 2013. – Режим доступу: <http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&No=836>.
5. ITT Industries. Vogel Select CD// Selection Program Jan. 2009.