НЕЙРОДАТЧИК ДЛЯ БЕЗДАТЧИКОВОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПОРУ НАСОСУ

Пєтухова Д.І., магістрант, Кіселичник О.І., доцент, к.т.н.
кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. На даний час актуальним питанням є впровадження енергозберігаючих технологій в народне господарство. Зокрема, в системах водопостачання широкого розповсюдження набули системи стабілізації напору на базі відцентрових насосів та частотно-керованих асинхронних електроприводів [1]. Такі системи змінюють швидкість насосу відповідно до зміни водоспоживання, зменшуючи витрати електроенергії на перекачування зайвих об'ємів води. Основний недолік таких систем проявляється найбільш сильно на малих потужностях, коли вартість датчика тиску стає співрозмірною з вартістю насоса з привідним асинхронним двигуном. В сучасних бездатчикових системах значення напору розраховують на основі виміряної потужності, яку споживає привідний двигун, та аналітичних залежностей, які апроксимують напірну характеристику та залежність потужності від витрат [2].

Мета досліджень. Для багатьох насосів виробники надають лише номінальну напірну характеристику. Аналітичні залежності на основі неї, перераховані для інших частот, та характеристики потужності суттєво відхиляються від реальних. Метою досліджень є оцінка перспективи апроксимації цих залежностей з використанням апарату нейронних мереж, навчених на основі експериментальних даних. У роботі розглядається процедура розробки нейродатчика напору насоса, придатного для застосування з промисловими перетворювачами частоти, та порівняння аналітичних та нейромережевих апроксимацій.

Матеріали досліджень. Експериментальні дослідження проведено за допомогою спеціалізованого лабораторного стенду лабораторії "Автоматизованих електромеханічних систем загальнопромислових механізмів" кафедри АЕМС-ЕП НТУУ "КПІ" [3]. Стенд реалізовано на основі відцентрового насосу Calpeda MXH 202E з номінальною потужністю 0.33КВт та привідним трифазним асинхронним двигуном з номінальною напругою 230В та швидкістю 2800 об/хв. Для живлення двигуна використовується перетворювач частоти Lenze 8200 Vector з номінальною потужністю 0.75 КВт. Перетворювач має два аналогові виходи, на які можна вивести сигнали напруг, пропорційних частоті напруги та споживаній активній потужності на виході перетворювача. Ці сигнали будуть вхідними для плати мікроконтролера, який реалізуватиме нейродатчик, вихідним же сигналом буде напруга пропорційна напору, яка подаватиметься на аналоговий вхід зворотного зв'язку перетворювача.

На рис. 1 представлено експериментальні залежності (позначені зірочками), отримані при U/f^2 частотному керуванні для різних значень частоти.

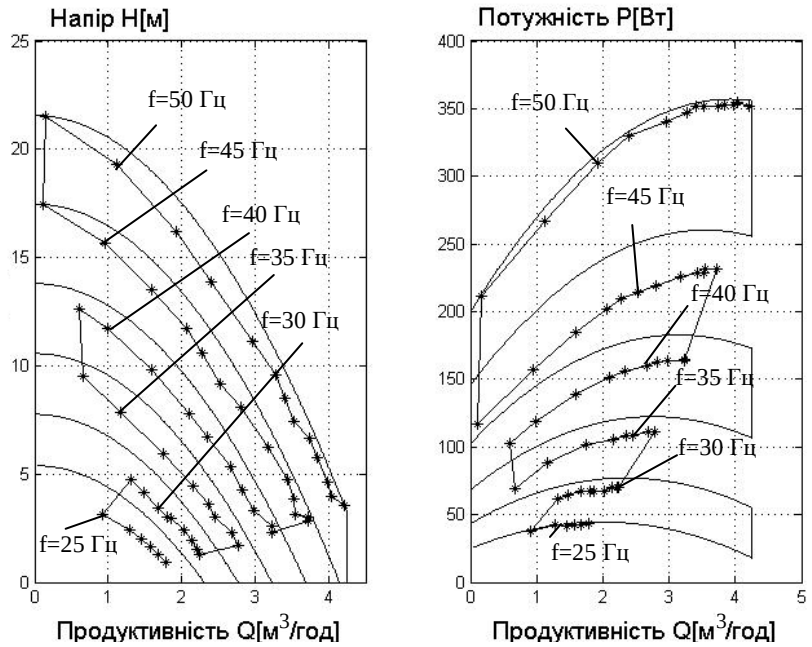

Рис. 1. Експериментальні характеристики відцентрового насосу

Напірні статичні характеристики насосу апроксимуються параболами [4]

$$H = H_{0н}\left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^2 - a_ф Q^2, \qquad (1)$$

де ω - швидкість обертання насосу; $\omega_н$ – номінальне значення швидкості; $H_{0н}$ – напір при нульовій подачі та номінальній швидкості; $a_ф$ – гідравлічний опір насосу.

Апроксимована залежність потужності насоса від величини його продуктивності є наступною

$$P = a\omega^3 + b\omega^2 Q + c\omega Q^2, \qquad (2)$$

де a, b, c – деякі сталі для конкретного насосу.

Теоретичні характеристики на основі рівнянь (1) і (2) показано суцільними лініями без зірочок для тих же частот, що і для експериментальних кривих, на рис. 1. Величини $H_{0н}$ та $a_ф$ визначені з номінальної експериментальної напірної характеристики. Значення a, b, c розраховано такими, щоб розрахункова крива на номінальній швидкості мала три спільні точки з номінальною експериментальною залежністю P від Q.

Як видно з рис. 1, нейродатчик, навчений на основі експериментальних даних, буде більш точним, ніж на основі апроксимацій. Для розробки використовується середовище Matlab Neural Network Toolbox. В якості прикладу продемонструємо роботу нейронної мережі навченої для номінальної характеристики при живленні від промислової мережі 50 Гц. Для реалізації обрано тришарову нейронну мережу типу Feed-forward Backpropogation з 1, 3 та 1 нейронами у відповідних шарах. У першому та другому шарах обрано вихідні функції активації TANSIG, а в третьому – PURELIN. При тренуванні нейронної мережі отримано середньоквадратичну помилку 0.11682, що задовольняє вимогам точності. Перевірка роботи нейродатчика проведена в середовищі Matlab Simulink. Simulink-модель датчика генеровано функцією

gensim при періоді квантування 0.001 с в робочому вікні Matlab Workspace після експорту навченої мережі з Neural Network Toolbox. На рис. 2 показано вихідний сигнал нейродатчика напору в залежності від потужності, а також відповідну експериментальну характеристику, де 1 – вихідний сигнал нейродатчика, а 2 – експериментальна характеристика. Точність оцінювання є достатньою.

Було проведено також синтез нейродатчика з вхідним двовимірним вектором експериментальних значень потужності та частоти, а ціллю навчання – одновимірним вектором відповідних експериментальних значень напору насосу. Дослідження показали необхідність збільшення масиву експериментальних даних та їх рівномірності розподілу для забезпечення необхідної точності датчика.

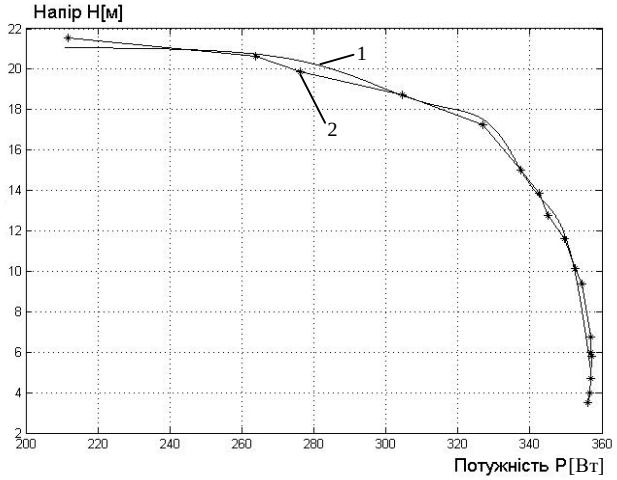

Рис. 2. Вихідний сигнал нейродатчика напору як функція потужності для номінальної характеристики при f = 50 Гц

Висновки. Нейронний датчик напору має достатню точність та період квантування, які дозволяють його інтегрувати в систему стабілізації напору на основі промислових перетворювачів частоти з вбудованими ПІД-регулятором та двома програмованими аналоговими виходами.

Перелік посилань

1. Kiselychnyk O., Bodson M., Werner H. Overview of Energy Efficient Control Solutions for Water Supply Systems / Transactions of Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy State Polytechnic University. Kremenchuk: KSPU, N3/2009 (56), part 1, 2009. pp.40-45.

2. Operating instructions Hydrovar® HVS 1.1 – HVS 1.2, HVS 3.2 – HVS 3.4 sensorless. http://www.vogelpumpen.com/ vogdata/doc/EN/hvs-im-en.pdf

3. Pechenik M., Kiselychnyk O., Buryan S. Experimental research of interactive energy saving controller of water supply pump based on flow rate measurement/ Transactions of Kharkiv National Technical University, N28, 2010. pp.272-274.

4. Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселичник О.І., Бур'ян С.О. Динаміка електромеханічних систем автоматичного керування турбомеханізмами з екстремальними напірними характеристиками// Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету, 2007. С.407-411.