СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ НАСОСУ З РЕГУЛЯТОРОМ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПУ ПАСИВНОСТІ

Кіселичник О., доц., к.т.н.; Потапенко О., магістрант
кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Енергозбереження в системах водозабезпечення промислових об'єктів досягається за рахунок точної відповідності між подаваною кількістю рідини та її необхідним значенням. Це реалізується шляхом впровадження керованих електроприводів та замкнених систем керування за витратами рідини [1]. Одним із підходів для реалізації систем керування є використання принципу пасивності [2], що дозволяє в порівнянні з використанням П-регуляторів суттєво знижувати статичну похибку, з ПІД-регулятором – уникати диференціювання сигналу похибки (знаходиться похідна лише сигналу завдання), з ПІ-регулятором – покращувати динамічні показники при незначному погіршенні статичних показників.

Мета дослідження. Отримати рівняння статичних характеристик системи керування продуктивністю насосу з регулятором на основі принципу пасивності та проаналізувати вплив параметрів на характеристики.

Результати дослідження. Рівняння, які описують статичні характеристики насосу, мережі та регулятора на основі принципу пасивності у випадку векторно-керованого асинхронного електропривода [3] є наступними

$$H = H_{CT} + aQ^2,$$

$$H = \frac{H^{/}_{max\,н}}{\omega^2_{Тн}}\omega^2_T - a_T Q^2,$$

$$\omega_T = R_Q(\overset{*}{Q} - Q) + k_c \overset{*}{Q}, \qquad (1)$$

де H – напір насосу; H_{CT} – геодезична висота підйому води; Q – продуктивність насосу; a – гідравлічний опір мережі; a_T – гідравлічний опір насосу; ω_T – швидкість обертання насосу; $\omega_{Тн}$ – номінальна швидкість обертання насосу; $H^{/}_{max\,н}$ - напір при нульових витратах та номінальній швидкості; $\overset{*}{Q}$ - величина завдання продуктивності; R_Q та k_c - параметри регулятора.

В результаті нескладних математичних перетворень система рівнянь зводиться до квадратного рівняння

$$Q^2 + a_1 Q + a_2 = 0, \qquad (2)$$

де $a_1 = \dfrac{2k_H R_Q^2 \overset{*}{Q} + 2k_H R_Q k_c \overset{*}{Q}}{a + a_T - k_H R_Q^2}$,

$$a_2 = \frac{H_{CT} - k_H R_Q^2 \overset{*}{Q}^2 - k_H k_c^2 \overset{*}{Q}^2 - 2k_H R_Q k_c \overset{*}{Q}^2}{a + a_T - k_H R_Q^2},\ k_H = \frac{H'_{max\,н}}{\omega_{Tн}^2}.$$

Розв'язки рівняння (2) є наступними

$$Q = \frac{k_H R_Q \overset{*}{Q}(R_Q + k_c)}{k_H R_Q^2 - a - a_T} \pm$$

$$\pm \frac{\sqrt{k_H^2 R_Q^2 \overset{*}{Q}^2 (R_Q + k_c)^2 - (k_H \overset{*}{Q}^2 (R_Q + k_c)^2 - H_{CT})(k_H R_Q^2 - a - a_T)}}{k_H R_Q^2 - a - a_T}. \qquad (3)$$

Статичні характеристики системи керування в залежності від гідравлічного опору мережі $Q = f(a)$ описуються рівнянням (3), в якому необхідно обирати знак „-" перед коренем квадратним.

Результати дослідження статичних характеристик показано на рис.1 для наступних величин параметрів Q^*=55 м^3/год, R_Q=25, a=0,0243 м/(м^6/год^2), H_{CT} =100 м, k_c=2,534 та даних відцентрового насосу марки CV 125-30 фірми Grundfos: $H'_{max\,í}$=216 м, $\omega_{Tн}$=303.5 рад/с, a_T=0.00426 м/(м^6/год^2).

При зменшенні завдання продуктивності характеристики знижуються одна відносно іншої, причому зростають їх жорсткості. Зменшення висоти підйому води зменшує статичну похибку по продуктивності для усіх значень гідравлічного опору мережі. Збільшення коефіцієнта R_Q збільшує жорсткість характеристики. Збільшення коефіцієнта k_c відносно фактичного значення коефіцієнта самовирівнювання призводить до підняття характеристики по осі продуктивності. При цьому статична помилка зменшується, але, починаючи з деякого значення гідравлічного опору, виникають відрізки, на яких з'являється від'ємна статична похибка. При подальшому зменшенні гідравлічного опору ця похибка по модулю може перевищувати відповідну похибку вихідної характеристики. Зменшення k_c відносно фактичного значення коефіцієнта самовирівнювання викликає збільшення статичної похибки у всьому діапазоні зміни гідравлічного опору. В обох випадках жорсткість характеристики не змінюється.

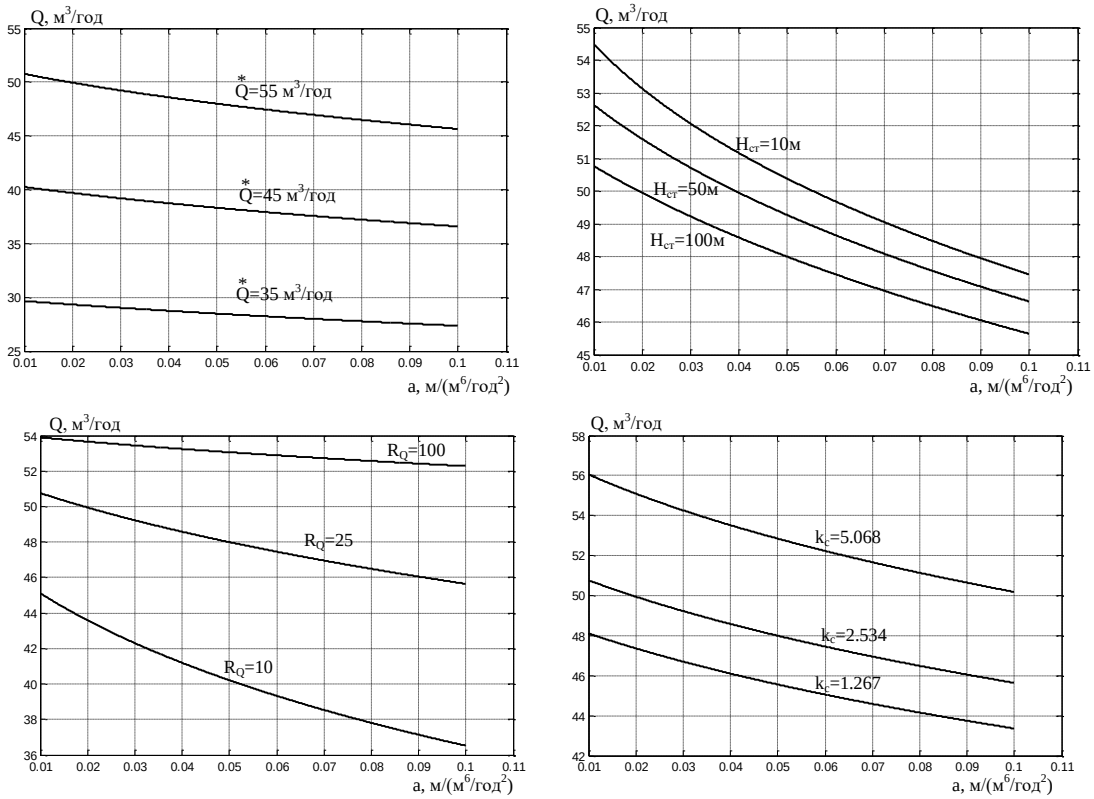

Рисунок 1 – Результати дослідження статичної характеристики $Q = f(a)$

Отримаємо статичні характеристики системи керування у вигляді $H = f(Q)$. Два останні рівняння системи (1) представляються, як квадратне рівняння

$$Q^2 + b_1 Q + b_2 = 0, \tag{4}$$

де $b_1 = -\dfrac{2k_H R_Q \overset{*}{Q}(R_Q + k_c)}{k_H R_Q^2 - a_T}$, $b_2 = \dfrac{k_H \overset{*}{Q}{}^2 (R_Q + k_c)^2 - H}{k_H R_Q^2 - a_T}$.

Тоді рівняння статичних характеристик буде наступним (необхідно обирати знак „-” перед коренем квадратним)

$$Q = \frac{k_H R_Q \overset{*}{Q}(R_Q + k_c)}{k_H R_Q^2 - a_T} \pm$$

$$\pm \frac{\sqrt{k_H^2 R_Q^2 \overset{*}{Q}{}^2 (R_Q + k_c)^2 - (k_H \overset{*}{Q}{}^2 (R_Q + k_c)^2 - H)(k_H R_Q^2 - a_T)}}{k_H R_Q^2 - a_T}. \tag{5}$$

Дослідження статичних характеристик представлено на рис.2 для наступних значень параметрів Q^*=55 м^3/год, R_Q=25, a=0,0243 м/(м^6/год^2), k_c=2,534.

Збільшення завдання продуктивності зміщує напірні характеристики вправо, при цьому їх жорсткість майже не змінюється. Збільшення R_Q підвищує жорсткість напірних характеристик, але зменшує величину продуктивності при відсутності напору. Збільшення величини k_c зміщує характеристику вправо, не змінюючи при цьому її жорсткості.

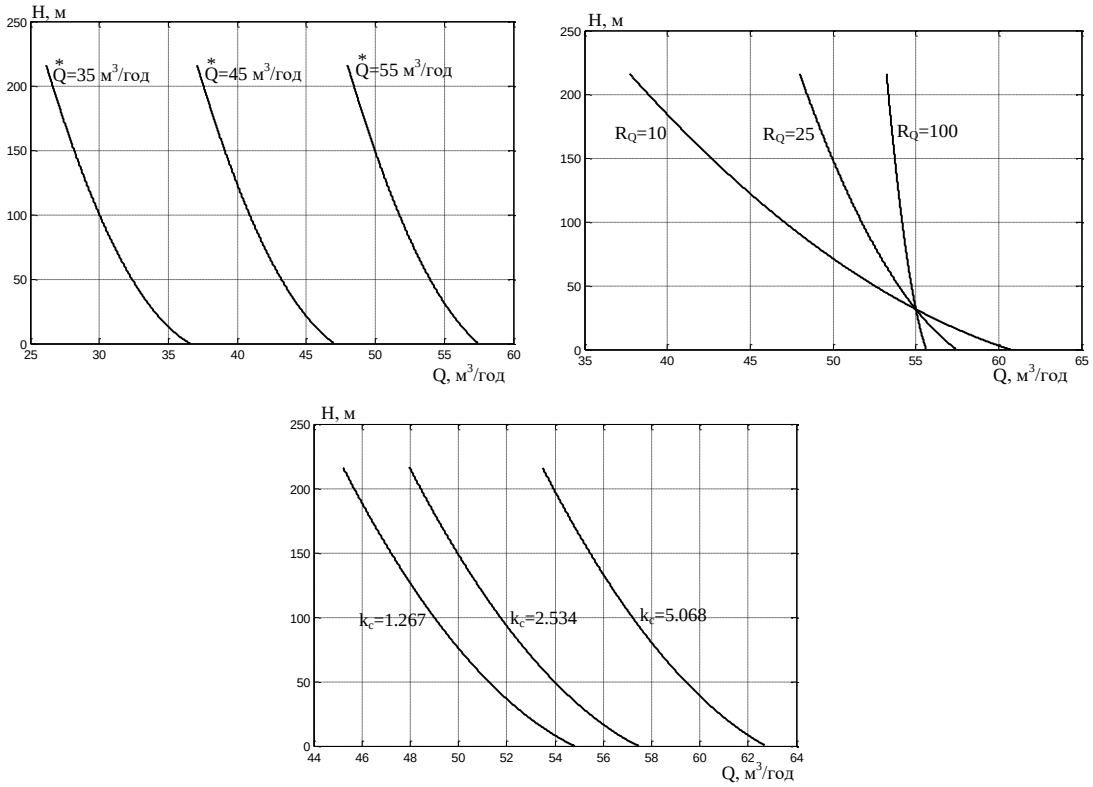

Рисунок 2 – Результати дослідження статичної залежності $H = f(Q)$

Висновки. Отримані залежності надають змогу визначити статичні показники якості системи керування продуктивністю з регулятором на основі принципу пасивності.

Перелік посилань

1. М.Г.Попович, О.І.Кіселичник, “Задачі автоматизації установок водопостачання на основі електромеханічних систем керування”// Вісник Кременчуцького ДПУ, №3/2008 (50). Ч.2. С.8-12.

2. М.Г.Попович, С.М.Пересада, О.І.Кіселичник та інш. Звіт з НДР “Основи теорії керування енергозберігаючими електромеханічними системами з електроприводами змінного струму на основі принципу пасивності”. № держреєстрації 0103U000145, 2005. 409 с.

3. М.Г.Попович, С.М.Пересада, О.І.Кіселичник та інш. Звіт з НДР “Основи теорії високоефективних систем автоматичного керування складними технологічними об’єктами з векторно-керованими електродвигунами”. № держреєстрації 0106U002145, 2008. 504 с.