

## АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ НАСОСНОЮ УСТАНОВКОЮ ОБЕРНЕНОЇ ДІЇ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Бур'ян С.О., к.т.н., доц., Дорошенко Є.О., Хенхао Сун, магістранти

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** У багатьох галузях промисловості, комунального господарства, транспорту, електроенергетики існує необхідність накопичення значної кількості рідини у резервуарах. В якості прикладів таких застосувань можна навести водонапірні башти, ємності пивзаводів, нафтосховища, шлюзи, танкери, приливні та гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС). Загальною рисою вказаних гідроустановок є перетворення електричної енергії, яка споживається насосною установкою під час нагнітання рідини у резервуар в потенціальну енергію рідини, яка визначається рівнем її підйому. Як правило, в процесі зворотного витіканні рідини з резервуарів накопичена енергія витрачається безповоротно у вигляді втрат. І лише в ГАЕС передбачається повернення потенціальної енергії водяної маси в електричну енергію шляхом подачі накопиченої води безпосередньо на гідротурбіни, або за допомогою насосів оберненої дії.

**Мета роботи** - обґрунтувати принципову можливість здійснення керованого режиму рекуперативного гальмування насосним гідроелектроагрегатом оберненої дії та розробити алгоритм керування ним.

**Матеріали досліджень.** Розглянемо роботу оборотного насосного гідроелектроагрегату (ГЕА) більш докладно на прикладі ГАЕС.

В великих енергосистемах велику частку складають потужності теплових і атомних електростанцій, які не можуть швидко змінювати вироблення електроенергії при денних і нічних коливаннях енергоспоживання або ж роблять це з великими втратами. Це призводить до встановлення істотно більшої комерційної вартості пікової електроенергії в енергосистемі у порівнянні з вартістю електроенергії, вироблюваної в нічний період. В таких умовах залучення потужностей ГАЕС економічно вигідно і підвищує ефективність використання інших потужностей (в тому числі і транспортних), а також надійності енергопостачання.

ГАЕС застосовує в своїй роботі комплекс генераторів і насосів, або оборотні гідроелектроагрегати, які здатні працювати як в режимі генераторів, так і в режимі насосів. Під час нічного провалу енергоспоживання ГАЕС отримує з енергомережі дешеву електроенергію і витрачає її на закачку води в верхній б'єф (насосний режим). Під час ранкового та вечірнього піків енергоспоживання ГАЕС скидає воду з верхнього б'єфу в нижній, виробляє при цьому дорогу пікову електроенергію, яку віддає в енергомережу (генераторний режим).

Досвід використання ГАЕС з метою регулювання електричних режимів показав, що вони є не тільки генеруючим джерелом, а й джерелом надання

системних послуг, що сприяють як оптимізації добового графіка навантажень, так і підвищенню надійності і якості електропостачання.

В якості оборотних гідротурбін використовується спеціальний тип радіально-осьових гідротурбін, які можуть працювати як в турбінному, так і в насосному режимах, зберігаючи при цьому високий ККД. Дана особливість досягається за допомогою лопатей, що мають спеціальну форму (див. рис. 1). Потужність таких турбін досягає 400 МВт. Робочі характеристики: напір від 40 м до 550 м; діаметр робочого колеса від 1 м до 7,5 м; особливості конструкції - робота в турбінному, насосному і компенсуючому (як синхронний компенсатор) режимах.



Рисунок 1 – Ротор насоса-турбіни з напором до 80 м

В той же час відомі технічні рішення передбачають в турбінному режимі переведення приводного електродвигуна ГЕУ у некерований процес рекуперативного гальмування з поверненням накопиченої потенціальної енергії рідини в електричну мережу за рахунок обертання турбіни насосу зі швидкістю, вище швидкості холостого ходу електродвигуна, який при цьому переходить у генераторний режим. При використанні в якості двигуна-генератора асинхронної машини режим рекуперативного гальмування з поверненням енергії в мережу відбувається за рахунок зміни фази струму статора з поверненням активної потужності у мережу. Реактивна потужність при цьому продовжує

споживатись з мережі. При застосуванні синхронної машини в турбінному режимі ГЕУ здійснюється генерування енергії в мережу та компенсація реактивної потужності.

Розглянемо можливість здійснення керованого режиму перетворення накопиченої потенціальної енергії рідини в електричну енергію за допомогою оборотного ГЕА з використанням асинхронного електроприводу за системою ПЧ-АД. В загальному випадку ГЕА складається з резервуару 1, трубопроводу 2, оборотного насосу 3, асинхронного двигуна-генератора з короткозамкненим ротором  $G$ , перетворювача частоти  $UZ$ , підключеного до мережі  $M$ , датчика кутової швидкості ротора  $BR$  та керуючого пристрою КП (див. рис. 2). На рисунку позначені:  $U_M$  – напруга мережі живлення;  $U_{3П}$  – завдання потужності;  $U_3$  – завдання частоти;  $f$  – регульована частота напруги на виході перетворювача.

Задачею КП є управління перетворювальним та електродвигунним пристроями з метою забезпечення заданого алгоритму роботи електроприводу.

Для розробки алгоритму керування насосною установкою в режимі генерації енергії з постійною потужністю скористаємось рівнянням лінеаризованої механічної характеристики асинхронної машини (1) та спрощеною моделлю асинхронного частотно-керованого електроприводу [1]:

$$(\omega_0 - \omega) \cdot \beta = M_D = \frac{P_3}{\omega}, \quad (1)$$

де  $\omega$  - швидкість ротору асинхронної машини;  $\omega_0$  - розрахункова швидкість холостого ходу;  $\beta$  - коефіцієнт жорсткості механічної характеристики;  $M_D$  - момент двигуна в генераторному режимі;  $P_3$  - задана потужність генерації в рекуперативному режимі. В гальмівному режимі момент двигуна та потужність мають від'ємні знаки.

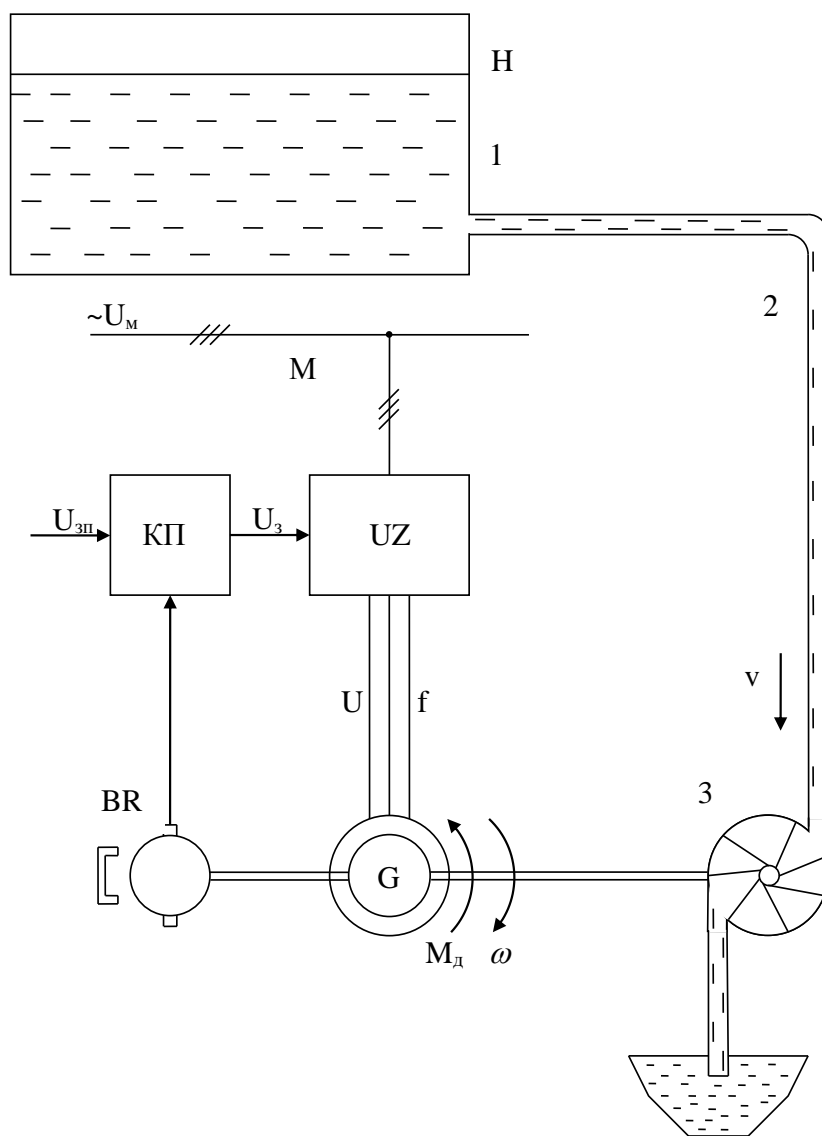


Рисунок 2 – Функціональна схема оборотного ГЕА

Будемо вважати, що метою регулювання є стабілізація потужності асинхронного двигуна-генератора в режимі рекуперативного гальмування в умовах зміни рівня рідини у резервуарі. При синтезі алгоритму керування приймаємо, що швидкість ротора насосу в турбінному режимі прямо пропорційно залежить від швидкості  $v$  рідини в трубопроводі.

Розв'язуючи рівняння (1) відносно  $\omega_0$ , отримуємо залежність, яка визначає закон керування швидкістю холостого ходу асинхронної машини і забезпечує незмінною задану величину активної потужності, що повертається в мережу живлення, в умовах зміни рівня  $i$ , відповідно, напору та швидкості рідини, що витікає з резервуару:

$$\omega_0 = \frac{P_3}{\beta\omega} + \omega \quad (2)$$

Як видно з (2), для реалізації даної залежності необхідна лише одна вимірювана змінна - сигнал датчика швидкості ротора асинхронної машини.

Структурна схема функціонального блоку, який реалізує алгоритм керування (2), представлена на рис. 3. На рисунку позначені:  $k$  – масштабуючий коефіцієнт;  $k_d$ ,  $T_E$  – коефіцієнт передачі та електромагнітна стала часу асинхронного електродвигуна.

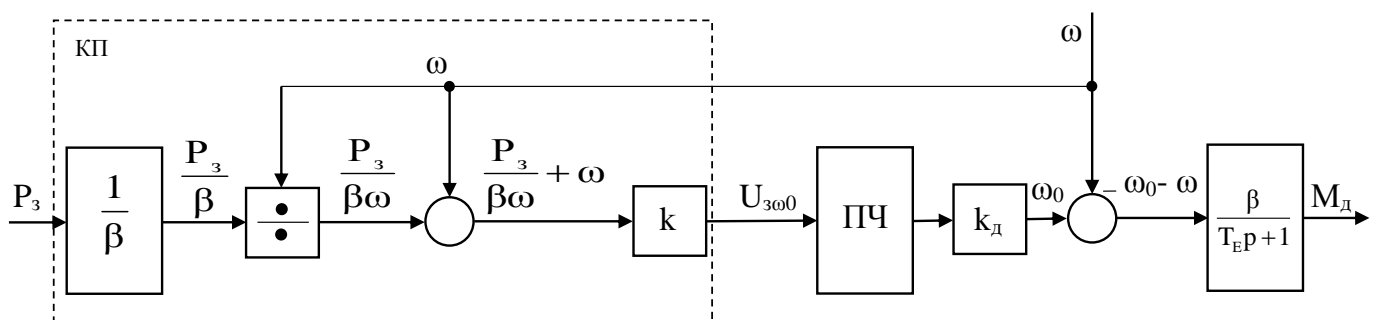


Рисунок 3 – Структурна схема системи автоматичного керування потужністю в режимі рекуперації

Робота алгоритму керування ілюструється механічними характеристиками електроприводу, представленими на рис. 4. Для підтримання сталого режиму рекуперативного гальмування розрахункова швидкість холостого ходу асинхронної машини повинна автоматично знижуватись відповідно до зниження швидкості витікаючої рідини, внаслідок зменшення її рівня в резервуарі, при цьому різниця швидкостей холостого ходу і ротору машини визначає величину гальмівного моменту на валу двигуна, виходячи з умови  $P_3 = \text{const}$ .

Як видно з синтезованого алгоритму частотне керування асинхронним електродвигуном в режимі рекуперативного гальмування при зниженні рівня рідини внаслідок витікання з резервуару забезпечує стабілізацію потужності у квазістатичному генераторному режимі, що підтверджує можливість

здійснення регулювання активної потужності, яка повертається в мережу, за потрібним законом.

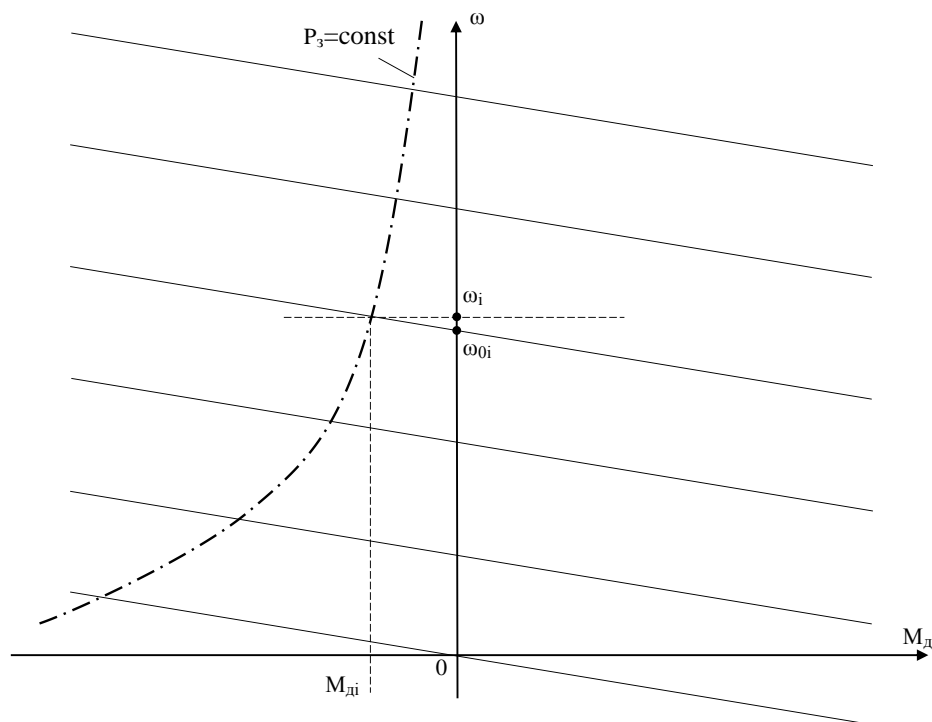


Рисунок 4 – Механічні характеристики асинхронного електродвигуна в режимі рекуперативного гальмування при стабілізації потужності генерації

**Висновки.** Показана доцільність створення оборотних ГЕА, які дозволяють здійснювати керований процес перетворення накопиченої потенціальної енергії рідини в електричну енергію. Обґрунтована можливість здійснення режиму рекуперативного гальмування за заданим законом керування. Запропоновано методологію синтезу алгоритму керування ГЕА зі стабілізацією потужності генерування, який забезпечує покращення техніко-економічних показників процесу перетворення енергії в оборотних насосних установках.

#### Перелік посилань

1. Попович М.Г. Особливості синтезу та дослідження електромеханічних систем з послідовною корекцією та частотнорегульованими асинхронними двигунами / М.Г. Попович, В.І. Теряєв, О.І. Кіселичник, С.О. Бур'ян. - Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 3/2007 (44) частина 2. – с. 12 – 16.