

## СИСТЕМА ВИРІВНЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ДВОДВИГУННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Земляний А.О., магістрант

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

**Вступ.** Механізми повороту гірськорудних машин – потужних екскаваторів драглайнів виконуються з багатодвигунними частотно-регульованими асинхронними електроприводами [1,2]. При цьому використовується від двох до шести асинхронних електродвигунів. Основна мета застосування багатодвигунного електроприводу – рівномірний розподіл навантажень у кінематичному ланцюзі, зменшення сумарного моменту інерції і габаритів установки.

Оскільки у двигунів одного і того ж конструктивного виконання механічні характеристики відрізняються через відмінність опорів та індуктивностей статора і ротора, то розподіл навантаження між ними при роботі на загальний вал може значно відрізнятись, як в статистичних, так і динамічних режимах. При цьому окремі електродвигуни можуть працювати навіть у генераторному режимі. Тому задача керування багатодвигунним електроприводом - отримати рівномірний розподіл навантаження між двигунами, які працюють на загальний виконавчий орган, є актуальною.

**Мета роботи.** Визначення причин і наслідків нерівномірності розподілу навантажень у дводвигунних асинхронних електроприводах. Пошук оптимального вирішення проблеми вирівнювання навантажень у дводвигунному асинхронному електроприводі, розробка системи вирівнювання навантажень з регулятором на основі нечіткої логіки.

**Матеріали і результати досліджень.** При використанні дводвигунних систем електроприводу виникає ряд проблем, найбільш істотною з яких є нерівномірний розподіл навантаження між двигунами, що працюють на загальний вал. Ця проблема має місце навіть при роботі двох однотипних двигунів однакової потужності, що пов'язано з відхиленням параметрів двигунів в процесі виробництва і експлуатації [3].

При живленні кожного електродвигуна від індивідуального перетворювача частоти електроприводи можна розглядати як електрично нез'язані об'єкти, для керування електромагнітними моментами яких можна використовувати будь-який з відомих способів регулювання моменту АД (див. рис. 1).

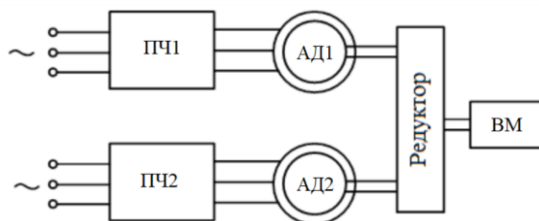


Рисунок 1 – Дводвигунний асинхронний електропривод: ПЧ1, ПЧ2 – перетворювачі частоти; М1, М2 – електродвигуни; ВМ – виконавчий механізм.

При спільній роботі двигунів, що мають однакові швидкості ідеального холостого ходу, на загальний вал навантаження між ними розподіляється пропорційно жорсткості механічних характеристик. Двигун з більш жорсткою характеристикою буде більш навантажений, що видно з механічних характеристик, показаних на рисунку 2.

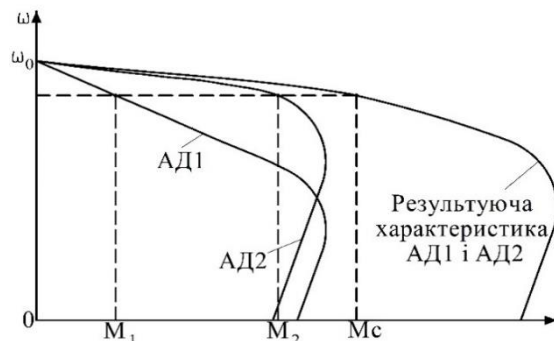


Рисунок 2 – Розподіл навантаження між двигунами

Для забезпечення рівномірного розподілу навантажень АД при роботі на загальний механічний вал розглянемо можливість побудови регулятора вирівнювання навантажень на основі використання апарату нечіткої логіки для формуванні сигналів завдання швидкості [4].

Спрощена схема нечіткого регулятора представлена на рисунку 3.

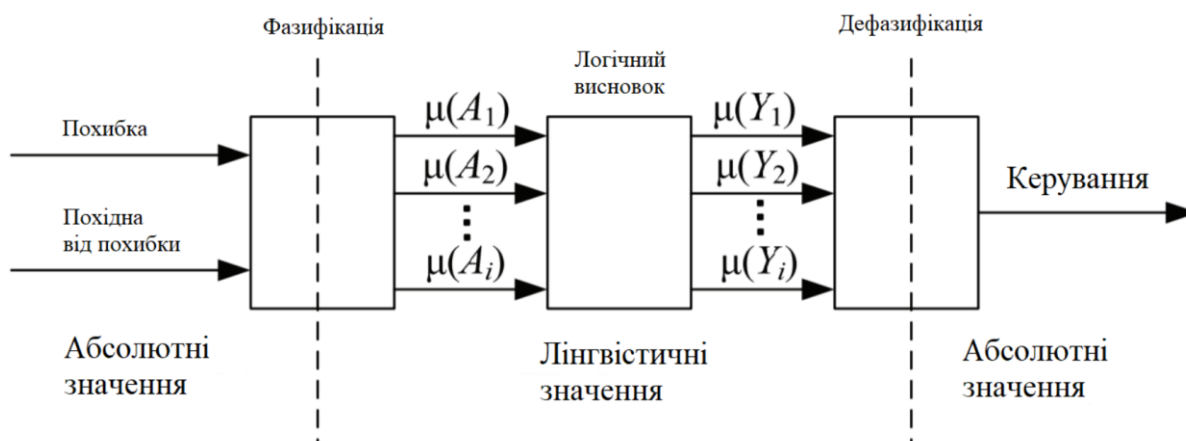


Рисунок 3 – Спрощена схема нечіткого регулятора

Система керування дводвигунним електроприводом (див. рис. 4) складається з двох рівнів: нижнього з класичною схемою векторного керування АД та верхнього з регулятором нечіткої логіки, тобто регулятором сигналів завдання швидкості обертання роторів АД (індивідуально для кожного електроприводу). Нижній рівень містить блоки перетворення трифазної системи координат (a; b; c) у двофазну (1-2), блоки з алгоритмом векторного керування, перетворювачі системи координат (1-2) в систему координат (u; v), блоки з математичною моделлю для обчислення потокозчеплень роторів  $\psi_m$  та швидкостей обертання роторів АД  $\omega_{зад}$  та блоків зворотного перетворення

двофазної системи координат на трифазну (а; b; с). Всі ці блоки інтегровані спільно з інвертором та утворюють єдиний напівпровідниковий перетворювальний модуль із мікропроцесорним управлінням. Входом цього модуля є сигнал завдання швидкості обертання роторів АД, а виходом трифазна синусоїдальна напруга, отримана широтно-імпульсною модуляцією.

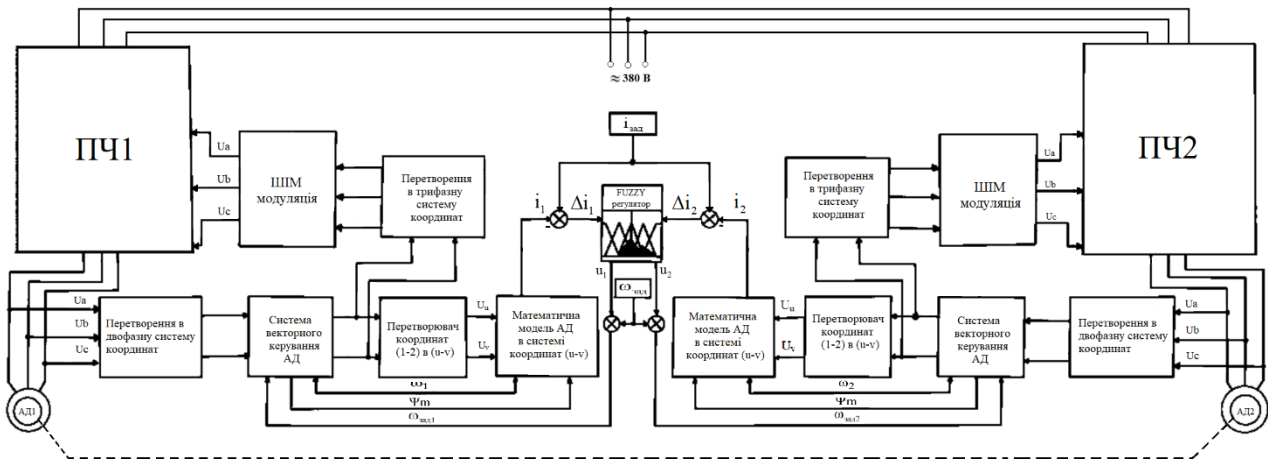


Рисунок 4 – Структурна схема дводвигунного асинхронного електроприводу з формуванням сигналу завдання системи векторного керування для варіанту бездатчикового керування частотою обертання роторів АД

Розглянемо, як здійснюється процес формування сигналів завдання швидкості обертання електроприводів відповідно до розробленого алгоритму нечіткого керування.

На вхід Fuzzy-регулятора надходять сигнали розузгодження  $\Delta i_1$  та  $\Delta i_2$  між фактичними струмами  $i_1$  та  $i_2$  роторів АД і заданим значенням струму  $i_{\text{зад}}$  та відповідні похідні від струму електроприводів  $\frac{di_1}{dt}$  та  $\frac{di_2}{dt}$ . Виходом нечіткого регулятора є коригувальні сигнали  $u_1$  та  $u_2$ , які додаються до опорного сигналу завдання швидкості обертання роторів АД.

Синтез алгоритму нечіткого регулятора складається з трьох етапів у наступній послідовності:

1. Перетворення чітких значень вхідних змінних у лінгвістичні змінні (терм-множини). На етапі фазифікації встановлюється відповідність між конкретним (числовим) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виведення та значенням функції належності відповідного їй значення вхідний лінгвістичної змінної. Так, чітким значенням вхідних змінних відповідають лінгвістичні вхідні змінні  $x_1$  (помилка за швидкістю обертання першого електроприводу),  $x_2$  (похідна за швидкістю обертання першого електроприводу),  $x_3$  (помилка за швидкістю обертання другого електроприводу) і  $x_4$  (похідна по швидкості обертання другого електроприводу), які задані терм-множинами трикутного S-подібного та Z-подібного виду з деяким ступенем приналежності в діапазоні від нуля до одиниці (рис. 5);

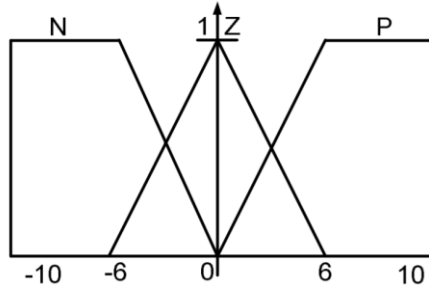


Рисунок 5 – Фазифікація чітких значень вхідних змінних:  $\Delta i_1, \Delta i_2, \frac{di_1}{dt}, \frac{di_2}{dt}$

2. Опрацювання отриманої інформації в категоріях нечіткої логіки відповідно до розробленої на основі експертних оцінок бази логічних правил виду IF...ELSE. Вся безліч комбінацій терм-множин вхідних лінгвістичних змінних утворює безліч підумов, які утворюють безліч умов стану об'єкта регулювання. Для кожної умови стану об'єкта існує свій висновок, також представлений лінгвістичною змінною  $y_1$  або  $y_2$ , яка відповідає чіткому значенню вихідної змінної  $u_1$  або  $u_2$ . Вибір конкретної терм-множини висновку вихідної лінгвістичної змінної визначається відповідно до розробленої таблиці логічних правил. Таблиця логічних правил містить емпіричні знання експертів у галузі керування дводвигунними електроприводами, представлені у формалізованому вигляді висловлювань. Експертами у цій галузі можуть бути, наприклад, проектувальники, наладчики систем керування такими електроприводами;

3. Перехід від категорії нечітких множин до чітких значень вихідних змінних (етап дефазифікації) включає перехід від категорії нечітких значень коригувальних сигналів вихідних лінгвістичних змінних  $y_1$  та  $y_2$  до звичайних (чітких) значень Fuzzy-регулятора  $u_1$  та  $u_2$  і проводиться найбільш поширеним методом центру ваги плоских фігур функцій ступені належності вихідних лінгвістичних змінних  $y_1$  та  $y_2$ , утворених на етапі акумуляції висновків, за формулою:

$$u_{1,2} = \frac{\int_{y_{1,2min}}^{y_{1,2max}} y_{1,2} \cdot \mu(y_{1,2}) dy_{1,2}}{\int_{y_{1,2min}}^{y_{1,2max}} \mu(y_{1,2}) dy_{1,2}}$$

де  $u_{1,2}$  – результат дефазифікації – чіткі значення коригувальних сигналів на виході нечіткого регулятора;  $y_{1,2}$  – вихідні лінгвістичні змінні, представлені деякими терм-множинами (висновками);  $\mu(y_{1,2})$  – ступені належності нечітких множин висновків, відповідних вихідним лінгвістичним змінним  $y_1$  та  $y_2$  після

етапу акумуляції;  $u_{1,2\min}$  та  $u_{1,2\max}$  – ліва та права точки інтервалу носія нечітких множин вихідних лінгвістичних змінних  $u_1$  та  $u_2$ .

Отримані на виході регулятора числові значення коригувальних сигналів  $u_1$  та  $u_2$  додаються до сигналів завдання швидкості обертання електроприводів  $\omega_{зад1}$  та  $\omega_{зад2}$  і надходять на вхід системи керування дводвигунним асинхронним електроприводом.

**Висновки.** Однією з важливих проблем дводвигунного електроприводу є забезпечення вирівнювання навантажень між електродвигунами. Для вирішення цієї проблеми розглянуто можливість використання апарату нечіткої логіки при формуванні сигналів завдання швидкості локальних електроприводів. Результати аналізу свідчать, що векторний алгоритм керування асинхронним електроприводом добре поєднується з використанням регулятора з нечіткою логікою і дає можливість забезпечити якісні показники керування та енергоефективності.

#### Перелік посилань

1. Бабокин Г.И., Шпрехер Д.М., Насонова Т.В. Исследование системы выравнивая нагрузок электропривода скребкового конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. М: МГГУ. 2004. №2. С. 307-310.
2. Бабокин Г.И., Насонова Т.В. Выбор системы привода скребкового конвейера. // Электроснабжение и электросбережение, 2003. с. 26.
3. Turl, G. A synchronised multi-motor control system using hybrid sensorless induction motor drives: PhD thesis / G. Turl. – University of Nottingham, 2002. – p. 307.
4. Жеребкин Б.В. Синтез структуры системы векторного управления тяговых электромеханических комплексов дуосных электровозов / Б.В. Жеребкин, Д.А. Шокарев, Е.И. Скапа // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. № 4/2011(16). – С.17–21.