

МЕТОДИ ВИРІВНЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ У БАГАТОДВИГУННИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Ястреба О.С., студент

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

Вступ. Тенденція збільшення потужності і поліпшення динамічних характеристик промислових механізмів призводить до необхідності розгляду багатодвигунних систем електроприводу (ЕП), в яких декілька двигунів з'єднані механічно і працюють на загальний вал. Відомі різні конструктивні варіанти багатодвигунного електропривода з використанням як однотипних двигунів, так і двигунів різної потужності, типу і, навіть, виду. До переваг використання багатодвигунних ЕП, у порівнянні з однодвигунними, можна віднести підвищення енергетичної ефективності, можливість використання уніфікованих двигунів в установках різної потужності, гнучкість роботи в умовах широкого діапазону змін навантажень, зменшення сумарного моменту інерції електроприводу, поліпшення надійності і експлуатаційних показників всієї системи в цілому та ін.

Мета роботи. Визначення причин і наслідків нерівномірності розподілу навантажень у багатодвигунних асинхронних електроприводах та особливостей їх вирівнювання. Розгляд існуючих схем та систем вирівнювання навантажень, пошук оптимального вирішення проблеми вирівнювання навантаження у дводвигунному асинхронному електроприводі

Матеріали і результати досліджень. Разом з приведеними перевагами, використання багатодвигунних електроприводів супроводжується рядом складнощів, найбільш істотною з яких є можливість нерівномірного розподілу навантаження між двигунами, що працюють на загальний вал. Проблема розподілу навантаження має місце навіть при роботі двох однотипних двигунів однакової потужності, в тому числі і при паралельному живленні, що може бути обумовлено рядом причин: розбалансом попереднього налаштування регуляторів двигунів при випробуваннях в складі одиночного приводу, відхиленням параметрів двигунів в процесі виробництва і експлуатації, наявністю природних нелінійностей.

Розглянемо систему дводвигунного ЕП (рис. 1), в якому керування двигунами АД1 та АД2 здійснюється від індивідуальних перетворювачів частоти ПЧ1 та ПЧ2.

При спільній роботі двигунів, що мають рівні швидкості ідеального холостого ходу, на загальний вал виконуючого органу механізму (ВО), навантаження між ними розподіляється пропорційно жорсткості механічних характеристик. Двигун з більш жорсткою характеристикою буде перевантажений (момент M_2), що видно з механічних характеристик двигунів, приведених на рис. 2,а.

Якщо при спільній роботі асинхронних двигунів відрізняється не лише нахил механічних характеристик, а й швидкості холостого ходу, можливий

випадок, коли один з двигунів взагалі перейде в гальмівний режим, виконуючі роль додаткового навантаження (АД1 на рис 2,б).

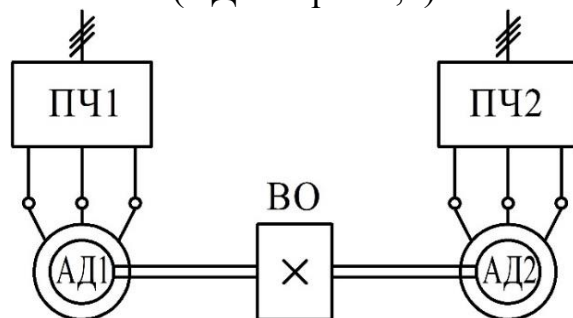


Рисунок 1 – Дводвигунний асинхронний електропривод

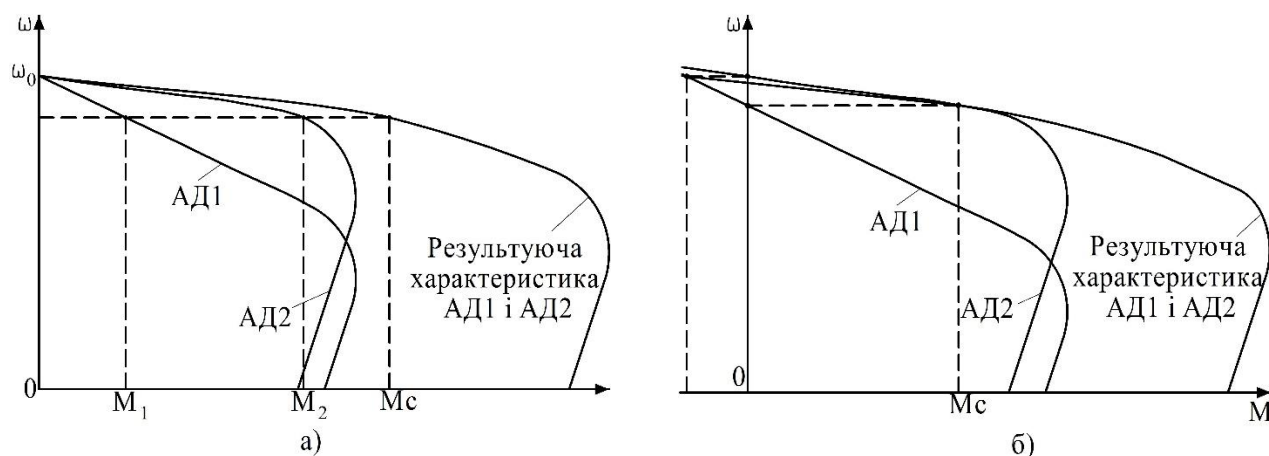


Рисунок 2 – Розподіл навантаження між двигунами

У зв'язку з викладеним для забезпечення стійкої роботи реальних АД на загальний механічний вал з рівномірним розподілом навантаження необхідно застосувати системи узгодженого управління з використанням додаткових компенсуючих зв'язків [1].

На даний час існують такі способи вирівнювання навантаження [2 - 4]:

- використання регуляторів синхронізації в каналах управління АД;
- система «ведучий - ведений»;
- компенсуючі перехресні зв'язки між каналами управління АД.

Дані методи передбачають попереднє налаштування параметрів компенсатора, і, отже, не дозволяють здійснювати перерозподіл навантаження при змінах параметрів АД безпосередньо в процесі роботи багатодвигунного електроприводу. У зв'язку з цим актуальним напрямком є розробка системи узгодженого управління, яка забезпечить вирівнювання навантаження як в статичних, так і динамічних режимах роботи електроприводу.

Розглянемо більш докладно існуючі системи вирівнювання навантажень:

1. Використання синхронізуючих регуляторів [2]. Найбільш простий спосіб управління розподіленням навантаження на кожному з електродвигунів (ЕД) шляхом введення додаткових синхронізуючих регуляторів в каналах регулювання електромагнітного моменту. Спрощений вид системи управління з використанням синхронізуючих регуляторів і приведений на рис. 3. На рис. 3 введено такі позначення: РС1, РС2 – синхронізуючі ПІ-регулятори, які

визначають заданий розподіл навантаження між ЕД; ПЧ1 і ПЧ2 – перетворювачі частоти з відповідним алгоритмом керування; ЕД1 і ЕД2 – блоки, що описують електромагнітні процеси кожного ЕД; ВО – блок, що характеризує механічні процеси в виконавчому органі; ω^* , M_1^* і M_2^* – задані значення швидкості і моментів кожного АД; ω , M_1 і M_2 – фактичні значення кутової швидкості ротора і моментів кожного АД; $U_{a1,b1}$, $U_{a2,b2}$ – сформовані компоненти напруг статора ЕД. Через наявність жорсткого механічного зв'язку між ЕД досліджувана система багатодвигунного ЕП характеризується однаковою швидкістю обертання роторів кожного АД, і, як наслідок, наявністю загального зовнішнього контуру регулювання швидкості в системі управління.

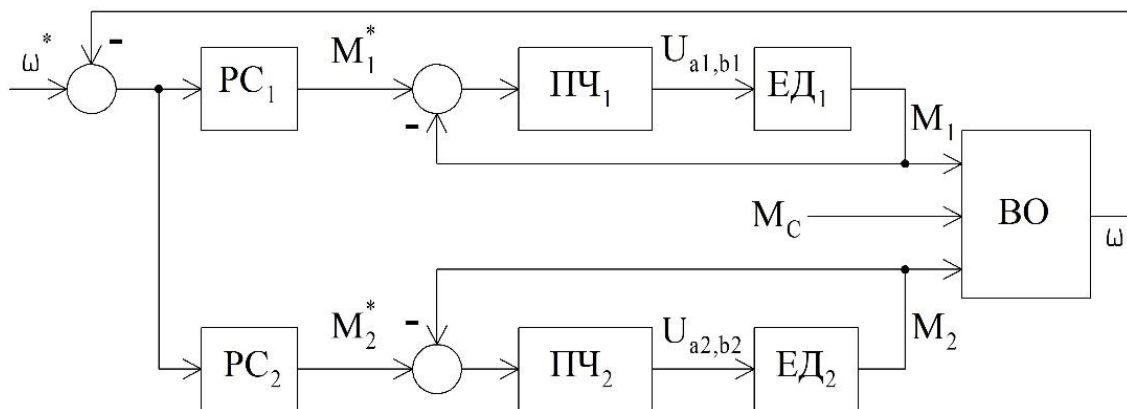


Рисунок 3 – Структурна схема дводвигунного ЕП з синхронізуючими регуляторами

Розглянутий спосіб не забезпечує вирівнювання навантаження між АД в умовах часто змінюваного навантаження. Для вирішення цієї проблеми пропонується доповнити систему з синхронізуючими регуляторами рядом обмежувачів статорного струму і електромагнітного моменту з метою недопущення переходу одного з ЕД в генераторний режим і виникнення нестійкого режиму роботи. В результаті такий спосіб може використовуватися лише для розподілу навантаження між уніфікованими ЕД малої потужності за умови відсутності суттєвого розкиду їх параметрів, що виникає в процесі роботи.

2. Метод керування з використанням схеми «ведучий - ведений» [3]. У класичному поданні при використанні даної схеми виміряне значення крутного моменту першого (ведучого) двигуна ЕД1 є завданням на момент для другого (веденого) двигуна ЕД2. Відповідна спрощена структурна схема дводвигунного ЕП приведена на рис 4. Система управління ведучим ЕД може бути організована, наприклад, при використанні стандартного алгоритму векторного керування з орієнтацією по вектору потокозчеплення ротора, що включає в себе, крім усього іншого, зовнішній контур регулювання швидкості обертання з регулятором швидкості РШ і обмеженням необхідного рівня електромагнітного моменту. Керування веденим ЕД при цьому здійснюється за заданим поточним значенням моменту M_1 ведучого ЕД.

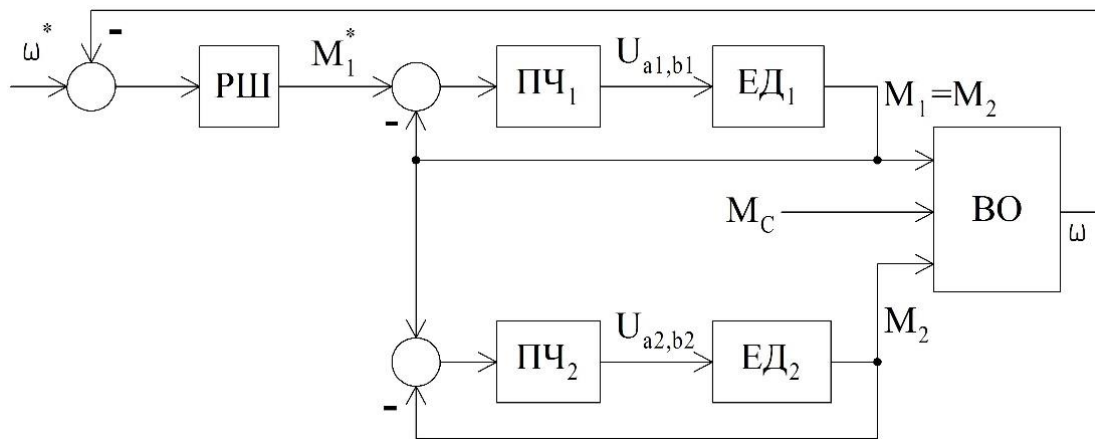


Рисунок 4 – Структурна схема дводвигунного ЕП з керуванням типу «ведучий - ведений»

Недоліком використання схеми типу «ведучий - ведений» є односторонній характер відпрацювання системою зовнішніх збурень і відхилень внутрішніх параметрів. Зокрема, зміна параметрів веденого АД не відобразиться на процесах управління і також призведе до нерівномірного розподілу навантаження між спільно працюючими АД.

Виникнення зазначених режимів можна уникнути при використанні двосторонніх перехресних зв'язків між АД.

3. Метод керування з використанням перехресних зв'язків [4] є найбільш поширеним і передбачає керування взаємозв'язаними системами ЕП за допомогою введення відповідних штучних перехресних зв'язків. Перехресні зв'язки між каналами включаються зворотно або прямо до основних каналів. В першому випадку в систему вводиться додатковий зворотній зв'язок за різницею регульованих сигналів кожного ЕД (рисунок 5). У другому випадку (рисунок 6) паралельне з'єднання прямих зв'язків призводить до можливості вирівнювання керуючих сигналів на входах ПЧ. На рисунках позначені $K_1 - K_4$ – коефіцієнти передачі відповідних прямих та зворотних компенсуючих зв'язків. Використання подібних структур дозволяє оцінювати зміни в навантаженні ЕД і в результаті забезпечити необхідний ступінь вирівнювання навантаження між ними. Разом з цим використання компенсуючих перехресних зв'язків в загальній системі управління супроводжується необхідністю дослідження спостережності та умов стійкого функціонування дводвигунного ЕП.

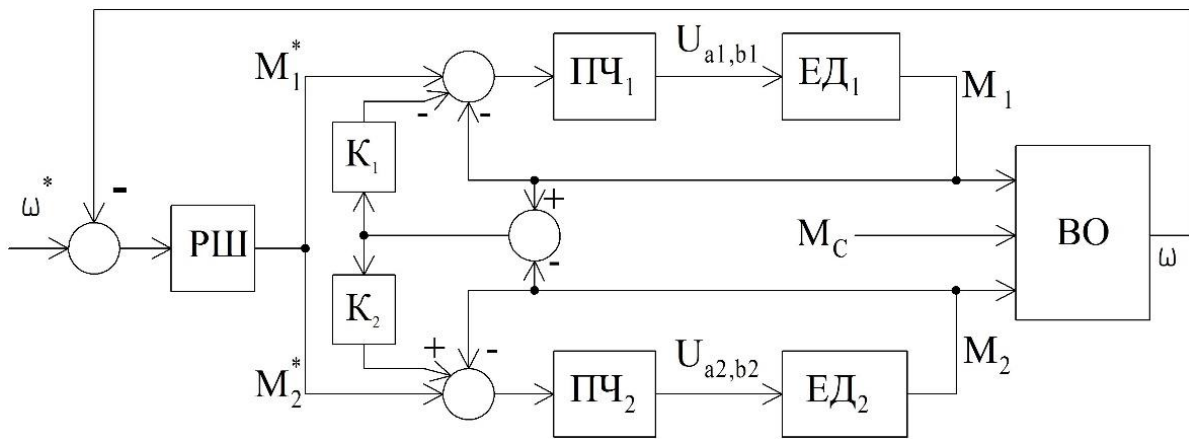


Рисунок 5 – Структурна схема дводвигунного ЕП з зустрічно-паралельним способом підключення компенсаторів

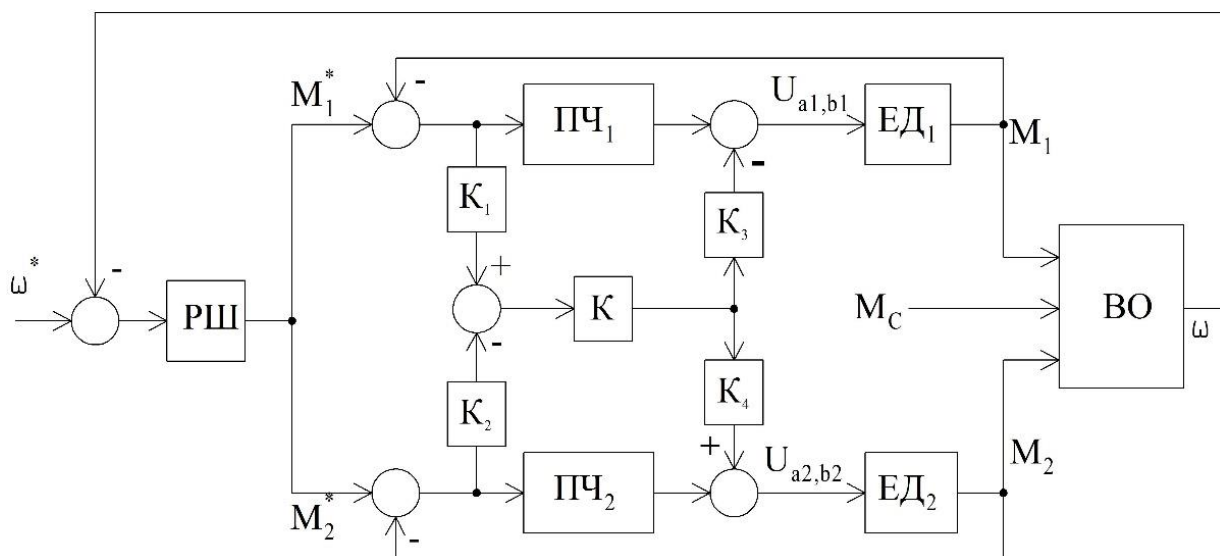


Рисунок 6 – Структурна схема дводвигунного ЕП з узгоджено-паралельним способом підключення компенсаторів

За допомогою використання представлених схем може здійснюватися перерозподіл і коригування будь-якої вимірюваної змінної в системі ЕП. При необхідності коригування декількох змінних схеми перехресних зв'язків мають більш складну структуру.

Синтез власних регуляторів сепаратних каналів може здійснюватися двома способами. Відповідно до першого способу регулятори розраховуються без урахування перехресних зв'язків відповідно до принципів підлеглого регулювання багатоконтурних систем. Додавання перехресних зв'язків в цьому випадку приймається як введення збурень. Другий спосіб базується на перерахунку параметрів регуляторів, отриманих без урахування перехресних зв'язків, для еквівалентної моделі об'єкта управління, отриманої з урахуванням введених перехресних зв'язків. Як можна помітити, другий спосіб настройки фактично є розширенням першого, оскільки використовує в якості початкових умов параметри регуляторів, отриманих в результаті налаштування незв'язаних контурів регулювання окремих об'єктів [5].

Висновки. Проведений порівняльний аналіз існуючих методів вирівнювання навантажень у багатодвигунних асинхронних електроприводах дав можливість визначити їх переваги та недоліки, сформулювати рекомендації для застосування. Результати аналізу показують, що найбільш раціональним з точки зору технічної реалізації, якісних показників керування та енергоефективності є зустрічно-паралельний спосіб підключення компенсаторів.

Перелік посилань

1. Шевченко, В. И. Выравнивание нагрузок в многодвигательном электроприводе путем регулирования напряжения питающей сети / В. И. Шевченко // Изв. вузов. Горный журнал. – 1995. – №1. – с. 97–100.
2. Bouscayrol, A. Multi-machine Multi-converter System for drives: analysis of coupling by a global modeling / A. Bouscayrol, B. Davat, B. Fornel, B. Francois, J. P. Hautier, F. Meibody-Tabar, M. Pietrzak-David // IEEE Industry Applications Conf. – 2000. – Vol. 3. – pp. 1474–1481.
3. Oleschuk, V. Direct synchronized PWM techniques with linear control functions for adjustable speed drives / V. Oleschuk, F. Blaabjerg // Proc. of the IEEE Applied Power Electronics Conf. - 2002. – pp. 76–82.
4. Tomizuka, M Synchronization of Two Motion Control Axes Under Adaptive Feedforward Control / M. Tomizuka, J-S. Hu, T-C. Chiu, T. Kamano // ASME Transactions – Journal of Dynamic Systems. Measurement and Control. – 1992. – Vo1. 114. – pp. 196-203.
5. Koren, Y. Cross-coupled biaxial computer control for manufacturing systems / Y. Koren // – Trans. ASME J. Dyn. Means. Control, 1980, – P.265-272.