

УДК 677.055

**ЗАСОБИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДВОПОТОЧНОГО  
ПРИВОДУ КРУГЛОВ'ЯЗальної МАШИНИ**

Г.П. РОСІНСЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

*Наведено можливі варіанти систем синхронного обертання валів електродвигунів для усунення нерівномірного розподілу навантаження між двигунами у двопоточному приводі круглов'язальної машини*

Враховуючи доцільність та можливість підвищення ефективності роботи привода круглов'язальних машин автором була запропонована нова конструкція привода – привід круглов'язальної машини з розгалуженням потужності з використанням двох електродвигунів (двопоточний привід) [1]. Запропонована конструкція привода дозволяє повністю компенсувати радіальні навантаження на опори голкового циліндра круглов'язальної машини і механізму товароприйому і тим самим підвищити якість трикотажного полотна та надійність і довговічність роботи круглов'язальної машини в цілому. Однак за рахунок того, що в запропонованому приводі використовуються два електродвигуна, не виключена можливість нерівномірного розподілу навантаження між ними.

***Об'єкт та методи дослідження***

Об'єктом досліджень обрано системи синхронного обертання (ССО) – взаємозв'язані електромеханічні системи, які забезпечують синхронне обертання двох і більше двигунів, не зв'язані між собою механічним валом.

***Постановка завдання***

Завданням досліджень стало проаналізувати можливі варіанти систем синхронізації роботи привода з двома електродвигунами.

***Результати та їх обговорення***

Використання двопоточного привода машини має свої переваги в порівнянні з однопоточним приводом, а саме [2]:

- 1) менший момент інерції при сумарній потужності двох двигунів, який дорівнює потужності однієї електричної машини при тій же швидкості обертання. Зменшення моменту інерції двопоточного електроприводу покращує динамічні властивості робочої машини, підвищує її швидкодію;
- 2) підвищена надійність, за рахунок половинного резерву при відмові одного з двигунів;
- 3) дозволяє отримати спеціальні регульовальні характеристики, які не можна отримати в однопоточному електроприводі з простою схемою управління.

Але наряду з перевагами двопоточний електропривод має і свої недоліки:

- 1) ускладнюється схема з'єднання електричних машин як при послідовному, так і при паралельному підключенні їх до мережі живлення;
- 2) можливе виникнення нерівномірного розподілу навантаження між двома двигунами.

Причиною нерівномірності розподілу навантажень є відмінності в параметрах двигунів, що мають одні і ті ж довідникові дані. При виробництві електричних машин можливий так званий

технологічний розкид параметрів, який приводить до різниці опорів обмоток якірного кола ( $R_{я}$ ) і в колі збудження, тобто до змін магнітного потоку ( $\Phi$ ). Зсув щіток з нейтралі, або вживання різних типів щіток так само приводять до зміни параметрів електричних машин. Будь-які зміни і невідповідності в  $R_{я}$  або  $\Phi$  двох машин приводять до зміни жорсткості їх механічних характеристик і, як наслідок, до нерівномірності розподілу навантажень.

Для синхронізації роботи електродвигунів пропонується, як один з можливих варіантів [3], використовувати систему електричного валу, в якій узгоджений рух двигунів забезпечується відповідною електричною схемою їх з'єднання. Крім спрощення кінематичної схеми робочої машини, застосування електричного валу дозволяє полегшити автоматизацію технологічних процесів, підвищити точність роботи, усунути можливе явище механічного резонансу.

Сучасні системи електричного валу діляться на дві основні групи: з допоміжними порівняльними машинами і з основними робочими машинами. Перша група характеризується наявністю додаткових синхронних або асинхронних машин, які служать для вирівнювання навантаження на валах основних двигунів. В другій групі порівняльні машини відсутні, і їх функції виконують основні машини – з асинхронними двигунами з фазним ротором або з двигунами постійного струму.

Схема електричного валу з синхронними порівняльними машинами приведена на рис. 1,а. На валах 1 і 6 головних асинхронних двигунів 2 і 5 встановлені ідентичні порівняльні синхронні машини 3 і 4, обмотки статорів яких включені таким чином, що ЕРС (електрорушійна сила)  $E_1^{(1)}$  та  $E_1^{(2)}$ , які в них наводяться, направлені назустріч один одному (рис. 1,а). До кожного механічного валу 1 і 6 робочої машини прикладене відповідне навантаження, що визначається статичними моментами  $M_{c1}$  та  $M_{c2}$ .

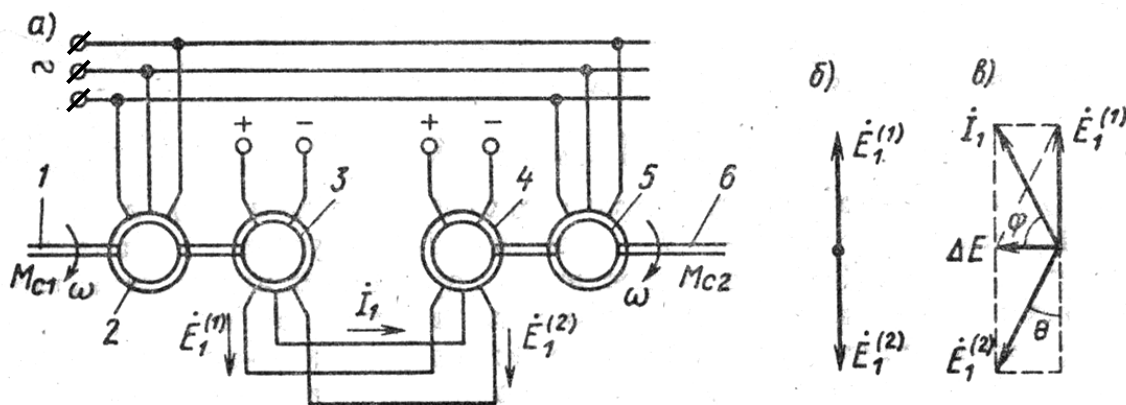


Рис. 1. Схема та векторні діаграми електричного валу з синхронними машинами

При однакових швидкостях і навантаженнях першої і другої пар машин вектори ЕРС синхронних машин будуть рівні по величині і направлені назустріч один одному (рис. 1,б). При цьому струм в електричному колі статорів цих машин буде дорівнювати нулю і машини не розвиватимуть моментів.

Якщо в процесі роботи навантаження на одному з валів, наприклад на другому, підвищиться, то вектор ЕДС машини 4  $E_1^{(2)}$  обернеться у бік відставання на деякий кут  $\theta$  (рис.1,б). В результаті цього в

колі обмоток статорів почне діяти різниця ЕРС  $\Delta E$ , під дією якої по обмотках статорів машин 3 і 4 потече струм  $I_1$  (його називають порівняльним) і вони почнуть розвивати синхронізуючий момент.

Оскільки проекція вектора  $I_1$  на вектор ЕРС  $E_1^{(1)}$  позитивна, а на вектор  $E_1^{(2)}$  негативна, то машина 3 почне працювати генератором, створюючи на валу 1 гальмівний момент, а машина 4 – двигуном. Відповідно до цього сумарний рушійний момент на валу 6 зросте і його швидкість збільшиться, а на валу 1 зменшиться і його швидкість знизиться. Вали 1 і 6 знов обертатимуться з однаковою швидкістю (синхронно).

Синхронізуючий момент синхронних машин у відповідності з [2] визначається наступним виразом:

$$M_{\text{син}} = \frac{\pm 3E_1^{(1)} \cdot E_1^{(2)} \cdot \text{Sin} \theta}{2\omega_0 \cdot x_1}, \tag{1}$$

де  $\theta$  – кут зсуву фаз між ЕРС  $E_1^{(1)}$  та  $E_1^{(2)}$ ;  $x_1$  – синхронний індуктивний опір синхронної машини.

Схема електричного валу з використанням в якості порівняльних машин АД з контактними кільцями приведена на рис.2,а.

Порівняльні машини 3 та 4, що знаходяться на валах 1 і 6 головних двигунів 2 і 5, ідентичні АД з однаковими напругами, числом фаз та полюсів, обмотки статорів яких підключені до загальної трифазної мережі змінного струму, а роторні сполучені між собою так, щоб ЕРС, що наводяться в них, були направлені назустріч один одному.

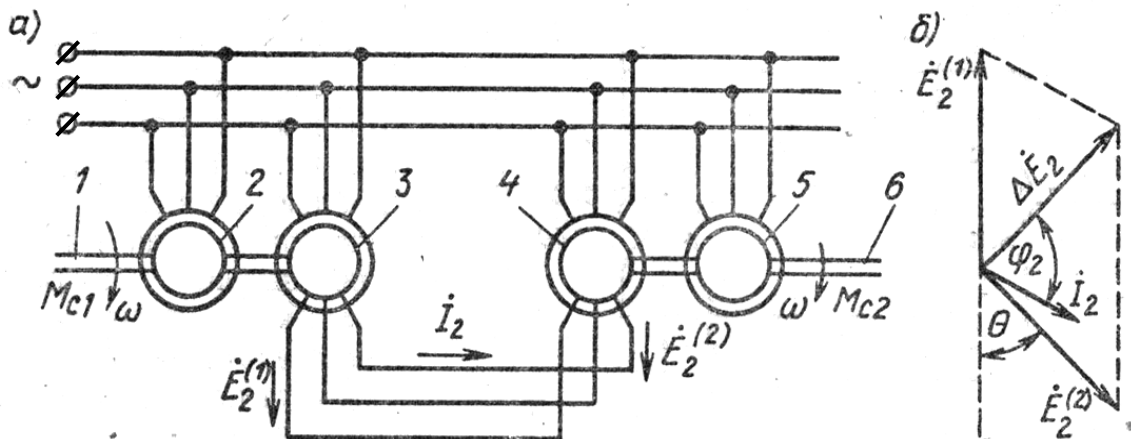


Рис. 2. Схема та векторні діаграми електричного валу з асинхронними машинами

Робота електричного валу відбувається таким чином. Якщо навантаження на вали однакове, то вони обертаються синхронно (і синфазно) з однаковою швидкістю. Унаслідок стрічного напрямку ЕРС допоміжних машин  $E_2^{(1)}$  та  $E_2^{(2)}$  і їх рівності, струм в колі їх роторів  $I_2$  буде відсутній, і машини 3 і 4 моменти розвивати не будуть.

Тепер припустимо, що на валу *б* збільшився момент. Ротор АД 4 почне відставати від ротора АД 3 і вектор ЕРС цієї машини  $E_2^{(2)}$  обернеться в просторі на кут  $\theta$  відносно свого колишнього положення (рис. 2,б). В результаті в роторному колі машин 3 і 4 з'явиться різниця ЕРС  $\Delta E_2$ , під дією якої по обмотках роторів почне протікати порівняльний струм  $I_2$ .

Оскільки проекція вектора цього струму на вектор ЕРС  $E_2^{(2)}$  буде позитивною, то машина 4 почне розвивати додатковий момент на валу *б*, за рахунок чого його швидкість буде вирівнюватися із швидкістю валу *1*.

Таким чином, енергія, що споживається двигуном, вал якого навантажений більшим статичним моментом, повертається в мережу живлення двигуном, який напружений меншим статичним моментом. Це положення справедливе, якщо не враховувати втрати в системі порівняльних машин.

Якщо в приводі необхідно регулювати швидкість обертання валів *1*, *б*, то це можна здійснити за допомогою двигунів 2 та 5, а схема включення порівняльних машин залишається без змін.

Система електричного вала створена тільки з основних двигунів (рис. 3), які виконують роль як робочих, так і порівняльних машин. Для цього обмотки статорів двигунів 1 і 2 підключені паралельно до мережі живлення, а роторні сполучені стрічно. Паралельно обмоткам ротора в усі три фази включені регульовані резистори 3 опором  $R_{2д}$ . При  $R_{2д} = 0$  електричний вал перетворюється на звичайні, працюючі незалежно один від одного асинхронні двигуни з короткозамкнутими роторами.

При  $R_{2д} \neq 0$  і обертанні двигунів з однаковою швидкістю, кут  $\theta = 0$  і вони розвивають однакові моменти, працюючи на реостатних характеристиках.

При збільшенні навантаження одного з двигунів кут між векторами ЕРС машин стає нерівним нулю, з'являються порівняльний струм і момент. Порівняльний момент розвантажує машину з більшим навантаженням і підвантажує менш навантажену машину. При цьому вали двигунів 1 і 2 обертаються з однаковою швидкістю (синхронно). Максимально допустимий кут розузгодження, як і для системи із порівняльними машинами, складає  $\pi/2$ .

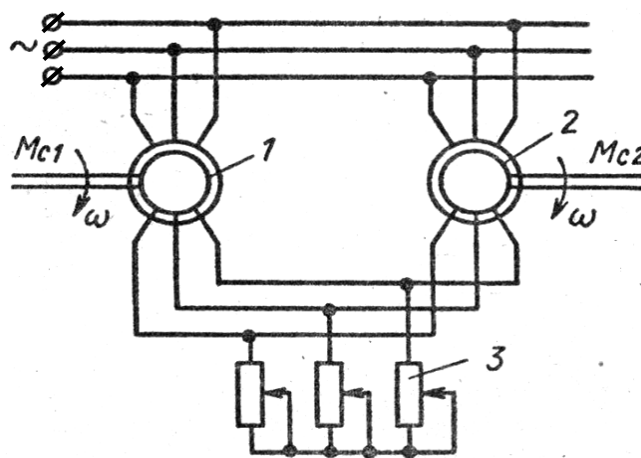


Рис. 3. Схема електричного вала без допоміжних машин

Основною перевагою електричного валу з головними машинами є відсутність додаткових машин. Проте для збільшення порівняльного моменту шляхом підвищення ковзання в роторне коло двигунів необхідно включати додаткові опори, що призводить до додаткових втрат потужності. Зазвичай електричний вал з основними робочими машинами застосовується лише при невеликій різниці статичних моментів.

Однак перед пуском системи ротори машин електричного валу можуть займати будь-яке положення. Такий стан роторів машин під час їх включення для спільної роботи може привести до несинхронного режиму, особливо коли статичні моменти на їх валах неоднакові. Різниця в статичних моментах на валах приводить до неодновременного початку пуску машин, до створення різних запасів кінетичної енергії в рухомих частинах і до можливості виникнення коливальних процесів. Це твердження справедливе як для систем із порівняльними, так і тільки з основними робочими машинами.

Для стійкої роботи електричного валу і зниження кидків струму під час включення машин проводиться допоміжна операція фазування, при якій ротори отримують синфазне положення (характеризується тим, що кут розузгодження роторів машин рівний нулю), що виключає вказані небажані явища при подальшому пуску.

#### **Висновки**

Аналізуючи результати досліджень, можемо зробити такі висновки:

– розглянута система електричного валу (рис. 1) володіє істотним недоліком, що виражається у відсутності синхронізуючого моменту при нульовій швидкості (при  $\omega=0$ ), оскільки при цьому ЕРС машин  $E_1^{(1)}$  та  $E_1^{(2)}$  дорівнюють нулю. Відповідно пуск механізмів може виконуватися лише в несинхронному режимі. З цієї причини найчастіше як порівняльні машини використовуються асинхронні машини;

– процес пуску машин, що працюють в системі електричного валу із порівняльними двигунами (рис. 2) або в системі електричного валу з основними робочими машинами (рис. 3), можна розділити на два етапи: попереднє фазування, при якому машини займають синфазне положення, і процес розгону до сталої робочої швидкості.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Кулешов Ю.Є, Росінська Г.П. Доцільність використання привода круглов'язальних машин з розгалуженням потужності // Вісник КНУТД. –2004. – № 5. – с. 17-20.
2. Куликов А.А. Основы электропривода. – К.: – Вища школа, – 1977. – 184 с.
3. Москаленко В.В. Электрический привод – М.: – Высш. Школа. – 1991. – 430 с.