

ВСТУП

Сьогодні більше ніж половину всієї електроенергії споживають різноманітні електромеханічні перетворювачі, які все частіше змінюють інші привідні механізми. Всі відомі типи електричних машин були винайдені ще в ХІХ ст., однак поширення набули тільки ті, які могли вмикатися безпосередньо до джерела живлення. Це традиційні колекторні двигуни постійного струму, асинхронні і синхронні двигуни. Бурхливий розвиток силової електроніки в ХХ ст. спричинив новий етап розвитку електроприводу, який дав можливість плавно регулювати вихідні координати та отримати необхідний за технологією режиму рух, з використанням асинхронних та синхронних двигунів. Одночасно виникла ціла гама нових електроприводів з різними типами електромеханічних перетворювачів. Серед них особливої уваги заслуговує привід на основі вентильного реактивного двигуна (ВРД), який перебуває в полі зору багатьох дослідників та науковців [1, 2]. Хоч перший електродвигун, конструктивно відповідний до того, який тепер прийнято називати ВРД-вентильний реактивний двигун, був побудований у 1838 р., активний розвиток цього класу електричних машин розпочався лише наприкінці ХХ ст. з досліджень П. Лоуренсона [3]. Головною причиною такої пізньої зацікавленості до дослідження і практичного застосування подібних електромашин є те, що їх ефективне функціонування залежить від досягнень у галузі силової напівпровідникової техніки. Створення потужних силових транзисторів з малим часом перемикання (MOSFET і IGBT) і недорогих мікроконтролерів, найбільший прогрес у розвитку яких спостерігається саме останніми роками, надав поштовх розвитку електроприводів з використанням ВРД та проведенню різноманітних досліджень і на етапах проектування, і створення ефективних систем керування [4–8].

Сьогодні ВРД набувають широкого застосування в електромобілях, гібридних автомобілях, системах кондиціонування повітря, як привідні механізми вентиляторів, вакуумні насоси, компресори, порохотяги, лабораторні центрифуги, у гірничій промисловості, металургійній промисловості, верстатобудуванні, авіаційній промисловості тощо [9–22]. Цей тип двигунів часто застосовують для заміни гідравлічних систем та систем з механічним приводом у різних виконавчих механізмах (електропідсилювач керма автомобіля, пристрій для автоматичного відкривання дверей), що дає змогу досягти кращих техніко-економічних показників.

Конструктивно ВРД складається з електромеханічного перетворювача (ЕМП), давача положення ротора (ДПР) та електронного комутатора (ЕК) (рис. В.1).

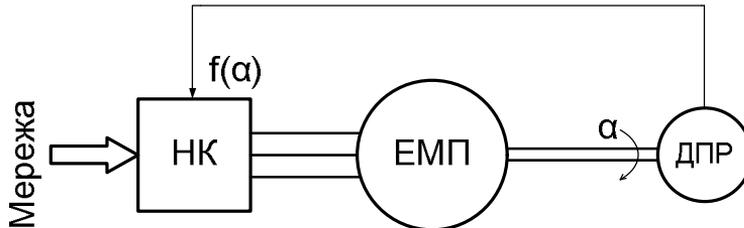


Рис. В.1. Схематичне зображення ВРД

Основними конструктивними елементами ЕМП є ротор і статор з явно вираженими полюсами, виконаними у вигляді пакетів з недорогої магнітом'якої електротехнічної сталі. Котушки обмоток якоря розташовані на полюсах магнітопроводу статора. Котушки, розташовані на протилежних полюсах, з'єднуються попарно послідовно і створюють фазні секції обмотки якоря. Кількість полюсів статора і ротора, число фаз обмотки якоря можуть змінюватися залежно від призначення двигуна. Зокрема, відповідним вибором кількості полюсів статора і ротора можна отримати істотно більший обертовий момент порівняно з електричними двигунами інших типів та оптимізувати масогабаритні характеристики.

Конструкція ЕМП ВРД простіша, ніж традиційних машин змінного струму – синхронної та асинхронної, вона технологічніша і менш матеріалоемна. Це створює передумови для досягнення високих показників економічності, надійності та низької вартості. Однак зазначені переваги нівелюються низькими енергетичними показниками під час використання традиційних схем електронних комутаторів. Це пояснюється тим, що енергія, яка накопичується в магнітному полі обмотки якоря, на кожному періоді комутації розсіюється на елементах захисту силових ключів електронного комутатора (ЕК) і не бере участі в електромеханічному перетворенні. ВРД здатний забезпечувати високі рівні ККД і крутного моменту в ширшому діапазоні кутових швидкостей, ніж, наприклад, асинхронні машини. Проф. В. І. Ткачук створив нові електричні принципи схеми ЕК вентильних реактивних двигунів з буферами енергії, які забезпечують використання запасеної в магнітному полі секцій якорної обмотки енергії для форсування струму під час вмикання секцій, що зумовлює значне підвищення енергетичних показників двигуна, а також

забезпечує захист силових транзисторних ключів комутатора від перенапруг та зменшення динамічних втрат на їх перемикання [23]. ЕК вентиляного реактивного двигуна, зібраний на аналогічній елементній базі, що й перетворювач частоти в асинхронному електроприводі, деякою мірою дешевший і набагато надійніший, ніж останній за рахунок застосування напівмостових схем [24].

Оскільки ВРД з буферами енергії, а точніше ЕК останнього, містить керовані елементи, то їх можна використати для регулювання частоти обертання ВРД. На практиці часто застосовують широтно-імпульсне та широтно-фазове регулювання частоти обертання ВРД, за рахунок якого можна отримувати достатньо жорсткі характеристики.

Відсутність колектора, щіток та постійних магнітів сприяє досягненню високих показників надійності і стійкості до чинників навколишнього середовища.

ВРД має унікальну стійкість до відмов окремих елементів. Відсутність магнітного зв'язку між фазами ВРД дає змогу працювати кожній фазі незалежно від інших. Відімкнення однієї і навіть декількох фаз призводить лише до пропорційного зниження вихідної потужності і збільшення пульсацій моменту, але зберігає привід у робочому стані.

Для виготовлення ВРД потрібно в середньому в 2–3 рази менше міді, ніж для колекторного електродвигуна такої самої потужності, і в 1,3 разу менше міді, ніж для асинхронного двигуна.

Простота обмотки якоря і відсутність обмотки і магнітів на роторі забезпечують ВРД високу гнучкість компонування: конструкція двигуна може бути плоскою, витягнутою, секторною, лінійною. Різноманітність структур магнітної системи ВРД (різні співвідношення зубців статора до зубців ротора 6/4, 8/6, 10/8 тощо), можливість варіювання в доволі широких межах співвідношень головних розмірів машини, розмірів і форми зубців, різні способи комутації фаз дають змогу застосовувати цей тип двигуна і в низько- (сотні об/хв), і у високооборотних (десятки тисяч об/хв) приводах. Сприятливі функціональні та регульовальні властивості: великі моменти за низьких швидкостей, гнучке управління швидкістю, проста реалізація гальмівних режимів аж до нульової швидкості, можливість роботи в агресивних середовищах та за критичних температур тощо, надають можливість вирішити різноманітні завдання на основі цього двигуна.

Важливою особливістю електромеханічного перетворення енергії в ВРД є несинусоїдальність електричних струмів і магнітних потоків у ЕМП та нелінійна залежність між ними. Це не дає змогу застосовувати традиційні аналітичні методи, які використовують під час аналізу і проектування електричних

машин змінного струму традиційного конструктивного виконання. Найпродуктивнішим методом аналізу та синтезу ВРД можна вважати комп'ютерне моделювання [25–25].

Поряд із перерахованими вище перевагами ВРД мають і деякі недоліки: пульсації електромагнітного моменту, акустичні шуми та особливо необхідність використання давача положення ротора (ДПР), який містить типова схема керування ВРД для організації комутаційного процесу.

Давач положення ротора ВРД є елементом позиційного зворотного зв'язку і слугує для формування сигналів, які несуть інформацію про відносне положення магнітних осей індуктора, або зубців ротора, і якірної обмотки, або полюсів статора ЕМП. Зазвичай давач положення ротора виконується в одному корпусі з ЕМП. Використання зовнішніх високоточних давачів (таких, як резольвер чи енкодер) не завжди доцільно, оскільки часто для роботи двигуна необхідно і достатньо мати інформацію про положення ротора лише в певних точках, а не протягом всього оберту. Також збільшуються експлуатаційні вимоги щодо ЕМП через наявність деталей давача положення ротора (вібро- та ударні навантаження, стійкість до зовнішніх чинників навколишнього середовища, необхідність використання різноманітних додаткових пристроїв). Інформаційними ознаками сигналів ДПР можуть бути амплітуда напруги або струму, полярність (знак) або відносна тривалість імпульсів.

ДПР складається з двох основних елементів: один з них зв'язаний з ротором, інший – зі статором. За досягнення заданого кутового положення відбувається перетворення кутового переміщення першого елемента в зміну якогось електричного або магнітного параметра [28].

Наявність давача положення ротора призводить до: підвищення вартості двигуна; зменшення надійності; підвищення експлуатаційних вимог і обмеження галузі використання; ускладнення конструкції ЕМП і, відповідно, технології виготовлення; покращення масо-габаритних характеристик ВРД; необхідності в додатковому апаратному забезпеченні для опрацювання сигналів.

Згадані вище недоліки, зумовлені наявністю ДПР, спричинили розроблення бездавачевих систем керування ВРД. Цей напрям розвитку вентильних приводів характеризується спрощенням апаратної структури приводу за рахунок ускладнення програмної. Щораз більшого поширення набувають дослідження, спрямовані на створення ефективних алгоритмів управління ВРД. У таких системах за допомогою математичного апарата за доступними для вимірювання величинами оцінюють положення ротора і на підставі цього здійснюють комутацію.