

## СУЧАСНІ ВЕНТИЛЬНІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

*Розульчик О.С.* – гр. БЕМ-17, студент

*Осипенко В.В.* – д.т.н., професор, [vvo7@ukr.net](mailto:vvo7@ukr.net)

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*Обґрунтовано доцільність використання у техніці вентильних електродвигунів та вказані їх перспективи. Розглянуто конструкцію вентильних двигунів, наведено класифікацію, представлено способи керування. Зроблено висновок про напрями вдосконалення вентильних двигунів.*

*The expediency of using valve electric motors in the technique is substantiated and their prospects are indicated. The design of valve motors is considered, the classification is given, the control methods are presented. The conclusion about directions of improvement of valve diguns is made..*

**Вступ.** Основним напрямком удосконалювання сучасних електромеханічних систем є підвищення їхньої продуктивності, економічності та надійності, засноване на застосуванні новітніх досягнень матеріалознавства, перетворювальної техніки та автоматики. На сьогоднішній день інтенсивно розвиваються нові типи електричних машин, що пов'язано з підвищенням вимог до таких їх характеристик, як: діапазон регулювання швидкості, динаміка та точність руху, ККД, надійність, а також енерго- та ресурсоощадність [1].

Колекторні машини постійного струму, які донедавна найчастіше використовувались у регульованому електроприводі (ЕП), сьогодні досягли високого технічного рівня і мають гарну регульовальну здатність, володіють високими динамічними показниками та коефіцієнтом корисної дії, відрізняються простотою і технологічністю у виготовленні. Проте, дослідження свідчать, що колекторні машини постійного струму на даний час досягли своїх граничних параметрів [2]. Потреба в ЕП середньої і великої потужності із широким і плавним діапазоном регулювання частоти обертання на сучасному етапі розвитку не може бути забезпечена повною мірою за рахунок традиційних машин постійного струму, де щітко-колекторний вузол накладає серйозні обмеження на граничні значення потужності, частоти обертання, напруги [3].

Для електричних машин загального застосування проблеми використання машин постійного струму пов'язані з більш інтенсивним зносом щіток і збільшеним значенням реактивної ЕРС на високих частотах обертання. Для спеціальних машин тягових або автономних

електроприводів – з обмеженням корисної потужності, низькими масогабаритними показниками, для високодинамічних ЕП – високим моментом інерції частин, що обертаються. Виникають також проблеми з комутацією в умовах зниженого тиску і високої вологості повітря, особливо у перехідних режимах, що також призводить до підвищеного зносу щіток [4].

Альтернативою приводам з колекторними двигунами постійного струму сьогодні є приводи з вентильними, тобто електрично-комутованими двигунами.

**Постановка проблеми.** Тенденція до заміни колекторних електричних машин вентильними двигунами (ВД), що спостерігається на сьогоднішній день, обумовлена наступними факторами [5]:

1. Відбувся значний прогрес напівпровідникової техніки: на теперішній час створені потужні польові транзистори (напругою стік-витік до 1200 В і тривалим струмом до 75 А), біполярні транзистори з ізолюваним затвором (напругою до 1700 В і тривалим струмом до 45 А). Застосування в якості комутаційних елементів таких ключів дозволяє значно збільшити граничні потужності, підвищити надійність і зменшити експлуатаційні витрати.

2. Створені сучасні мікроконтролери (МК) з високими характеристиками. Застосування таких МК дозволяє збільшити діапазон і максимальну величину частоти обертання, а також реалізувати складні алгоритми управління.

3. Розвивається промислове виготовлення постійних магнітів з високими енергетичними показниками, що дозволяє створювати в малих обсягах великий магнітний потік та значно підвищити граничні потужності ЕМ.

4. Удосконалюється і впроваджується нове програмне забезпечення, яке дозволяє виконувати математичне та імітаційне моделювання, розрахунки і проектування різноманітних електротехнічних пристроїв, в тому числі ЕМ і систем керування ними з урахуванням впливу електромагнітних і теплових процесів.

ВД почали розвиватися у 1960-ті р.р. 20-го ст. у зв'язку з досягненням значних успіхів у області напівпровідникової техніки. Проте, широкого розповсюдження у ЕП вони досягли лише протягом останніх 15-20 років, поступово витісняючи колекторні машини у самих різних сферах завдяки своїм перевагам. Сьогодні такі двигуни використовуються у електроенергетиці, робототехніці, верстатобудуванні, автомобілебудуванні, авіації, морській та залізничній техніці, електропобутовій техніці та багатьох інших сферах.

Електродвигун є основною ланкою ЕП та значною мірою визначає характеристики останнього. Тому найбільш важливими вимогами для двигуна є високі динамічні та енергетичні показники при мінімально можливих габаритах та масі. Оптимального співвідношення вказаних характеристик можна досягти у ВД.

Метою роботи є аналіз існуючих конструкцій ВД, способів керування ними та сфери їх застосування.

**Результати досліджень.** Вентильний електродвигун (англ. Brushless DC-Motor, Selfcontrolled Synchronous Motor) – тип синхронної машини, реалізований в замкнутій системі з використанням датчика положення ротора, системи керування (перетворювача координат) і силового напівпровідникового перетворювача. Часто їх також називають безконтактними (безколекторними) двигунами постійного струму або оберненою машиною постійного струму.

ВД представлено на рис. 1. Він складається з ротора, роль якого виконує магнітний диск, статора та підшипників. [6, 7]. Усі деталі укладені в міцний корпус. Статор аналогічний тому, що використовується в асинхронних машинах. Основним його елементом виступає сталеве осердя, по периметру якого розміщується обмотка з міді. Від кількості обмоток залежить, до якого типу належатиме ВД (однофазний, двофазний, трифазний). Залежно від того, як витки обмотки розташовуються у статорі, форма електрорушійної сили може бути трапецевидною (BLDC) або синусоїдальною (PMSM).

Ротор являє собою кілька магнітів з постійним полем. Раніше для його виробництва застосовувалися магніти з фериту. Але рівень їх магнітної індукції досить малий, тому вони були замінені на вироби зі сплавів рідкоземельних елементів, що дозволяють досягти необхідного рівня індукції і одночасно зробити ротор більш компактним.

На теперішній час існує велика кількість різних конструкцій ВД, що різняться між собою способом збудження, конструкцією магнітної системи, родом струму, видом комутації, кількістю фаз і т.д. На рис. 2 наведена класифікація ВД.

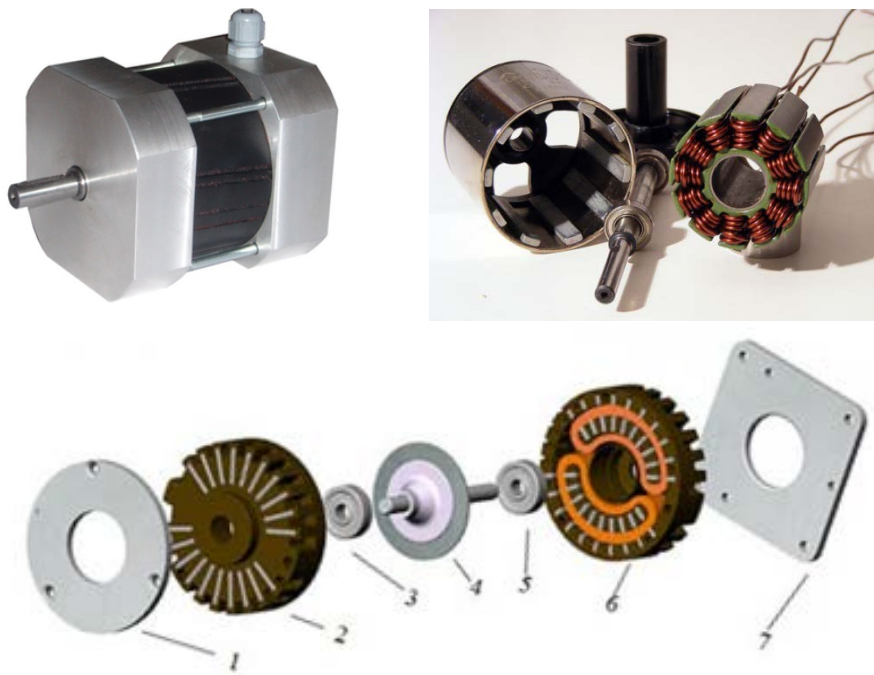


Рисунок 1. Вентильний двигун: а – зовнішній вигляд; б – елементи двигуна у розібраному вигляді; в – схема. 1 – задня частина корпусу; 2 – статор; 3, 5 – підшипники; 4 – магнітний диск (ротор); 6 – статор з обмоткою; 7 – передня частина корпусу

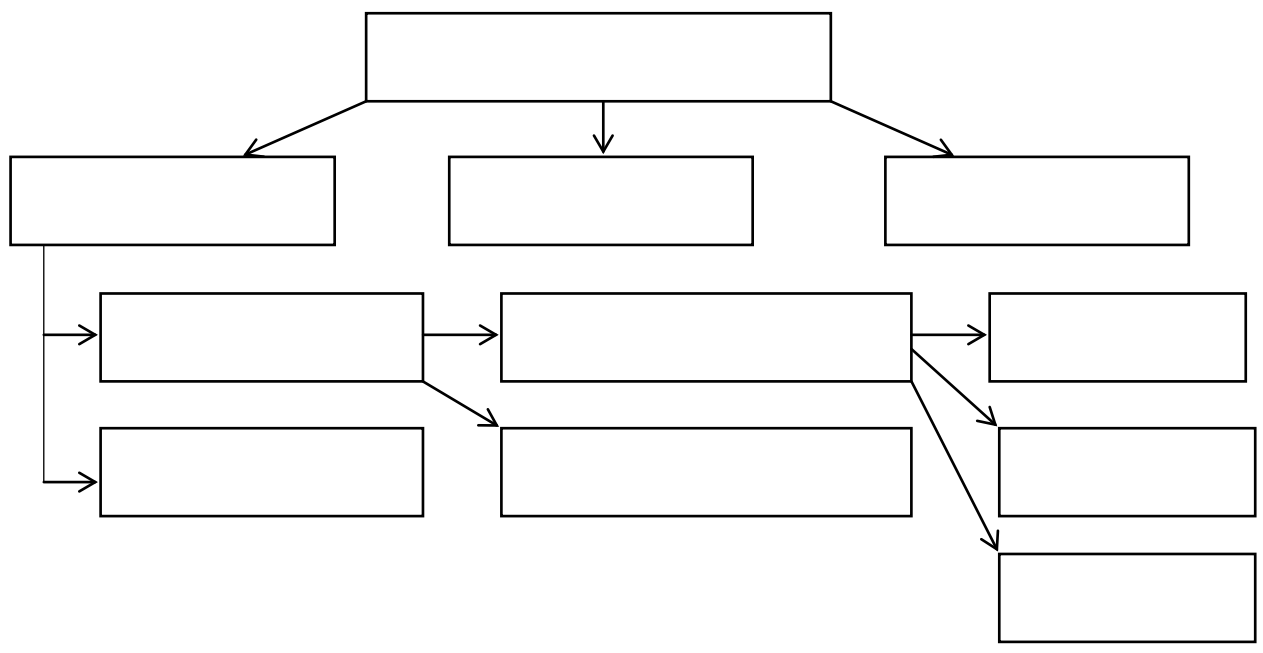


Рисунок 2. Класифікація вентильних двигунів

ВД можна умовно розділити три великі групи: ВД постійного струму, змінного струму та вентильно-індукторні двигуни. У всіх

вентильних електродвигунах спільною є наявність джерела постійного струму, у якості якого може бути використана акумуляторна батарея або джерело вторинного електроживлення – випрямляч. Основною відмінністю двигунів цих груп є тип застосовуваної електричної машини. ВД постійного струму будуються на базі синхронної машини з постійними магнітами, ВД змінного струму – на базі асинхронної машини, вентильно-індукторного двигуни – на базі індукторної машини.

По управлінню ВД постійного струму і електроприводи на їх основі можуть бути з векторним та скалярним (дискретним) управлінням.

Векторне керування дозволяє незалежно і без інерції керувати швидкістю обертання та моментом на валу двигуна. При цьому, крім зазначених параметрів, необхідно керувати ще й фазою напруги живлення (контролювати значення і кут просторового вектору) [8].

Векторне керування реалізується кількома способами [9]:

- поле-орієнтоване керування;
- керування моментом з просторово-векторною модуляцією потоку статору;
- пряме керування моментом з таблицею вмикання;
- адаптивне пряме керування моментом;
- пряме керування моментом з ШІМ-модуляцією;
- пряме самостійне керування.

Векторне управління має ряд переваг в порівнянні зі скалярним: висока стабільність електромагнітного моменту і частоти обертання, забезпечення максимально широкого діапазону регулювання. Однак реалізація векторного управління є складним завданням, зокрема, через більш складний алгоритм управління, більшу кількість елементів, що в цілому погіршує масогабаритні показники і надійність усієї системи.

Скалярний метод керування полягає у підтримці постійного співвідношення між значеннями напруги і частоти напруги живлення машини у усьому робочому діапазоні швидкостей. При цьому сила струму в обмотках, а отже й крутний момент на валу, залишаються незмінними. Така система проста в реалізації, але має певні недоліки:

- неможливо реалізувати систему керування асинхронним двигуном при різкому збільшенні навантаження без датчиків кутового положення ротору;
- система керування швидкістю з датчиком зворотного зв'язку під навантаженням синхронного двигуна має низьку точність і може вийти із синхронізму;
- неможливо одночасно керувати і моментом, і швидкістю.

З цих причин скалярне управління застосовується у високодинамічних та високошвидкісних електроприводах, де не вимагається плавність ходу і широкий діапазон частоти обертання.

Для реалізації алгоритму керування ВД, який живиться від мережі постійної напруги, потрібна інформація про поточне положення і частоту обертання ротора машини (зворотний зв'язок). Цю інформацію отримують на підставі сигналів датчиків кутового положення ротора або миттєвого значення струмів в фазах. У якості датчиків положення ротора застосовуються аналогові і цифрові датчики різного принципу будови і конструктивного виконання.

**Висновки.** Найважливішими вимогами для ВД є високі динамічні та енергетичні показники і мінімальні габарити й маса.

Динамічні показники визначаються швидкодією двигуна, але при цьому залежать від моменту інерції навантаження і моменту інерції обертових частин самого двигуна.

Зменшення габаритів і маси може бути досягнуто шляхом збільшення частоти обертання, проте зменшення габаритів призводить до погіршення енергетичних показників (ККД).

Таким чином, при проектуванні ВД для ЕП ставляться суперечливі вимоги по динамічним, енергетичним і габаритними показниками. Одночасне виконання усіх перерахованих вимог є складним і суперечливим завданням, для вирішення якого необхідно використовувати методи оптимального проектування, які дозволять отримати ВД, що відповідатиме усім вищевказаним показникам.

#### Список використаних джерел

1. Гребеников В. В. Сравнительный анализ вентильных двигателей индукторно-реактивного типа с постоянными магнитами на роторе. Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2011. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/64009/14-GrebenikovNEW.pdf?sequence=1>.
2. Ишутинов В. В. Применение методов оптимизации при проектировании вентильных электродвигателей постоянного тока с постоянными магнитами для специальных приводов. Электротехника. 2014, №4. С.46-50.
3. Захаров А. А. Сравнительный анализ коллекторных асинхронных и вентильных электродвигателей, применяемых в узлах железнодорожной автоматики. *Общество, наука, инновации* : сб. матер. Всероссийской научно-практической конференции. 2014. с. 2059-2061.
4. Волчуков Н. П., Фаран А. Ш. Сравнительный анализ рабочих характеристик вентильных двигателей различного исполнения. *Технічна*

*електродинаміка*. 2002. Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки, Ч.4. С.91-94.

5. Иштуinov В. В. Моделирование электромагнитного поля вентильного электродвигателя. Общество, наука, инновации (НПК-2014) : сб. матер. Всероссийской ежегодная научно-практической конференции. Вятский государственный университет, 2014. С. 2046-2047.

6. Вентильний двигун: принцип роботи і схема. URL: <https://uk.ellas-cookies.com/domashniy-uyut/13531-ventilnyy-dvigatel-princip-raboty-i-shema.html>

7. Вентильний двигун: конструктивні особливості і принцип дії, переваги та недоліки. URL: <https://sitemasters.com.ua/elektroobladnannja/ventilnij-dvigun-konstruktivni-osoblivosti-i/>

8. Векторное управление двигателем URL: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/vector/>

9. Бороденко Ю. М. Електричні системи і комплекси транспортних засобів. Розділ «Мехатронні системи приводу автомобіля»: конспект лекцій. Харків: ХНАДУ, 2019. 121 с.