

Різновиди та особливості вибору тягового електродвигуна

Ємець Сергій¹, Леонід Іванов¹

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки 14, e-mail: serhii.yemets@nure.ua

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки 14, e-mail: Leonid.ivanov@nure.ua

Анотація: У роботі виконано огляд різновидів тягових електродвигунів та їх характеристики.

Ключові слова: тролейбус, тягова система, тяговий електродвигун.

II. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

I. ВСТУП

Вибір того чи іншого тягового електродвигуна для побудови системи тягових електроприводів залежить від області застосування рухомого електротехнічного комплексу і вимог, поставлених до нього з боку основного технологічного процесу. Незважаючи на те, що кожний тяговий електропривод має свої власні вимоги до системи управління і має оптимальні характеристики лише в певному діапазоні частот обертання, до нього пред'являються наступні основні вимоги:

- простота виготовлення;
- надійність;
- зручність обслуговування;
- легкість регулювання показників робо-ти та системних параметрів;
- простота системи керування;
- високий обертовий момент у всьому діапазоні частот обертання;
- можливість здійснення рекуперативного гальмування;
- високий коефіцієнт корисної дії (ККД).

Дослідження питання побудови систем тягових приводів з різними типами двигунів є актуальними з точки зору досягнення максимального рівня енергоощадності за рахунок виконання всіх перелічених вимог [1].

Засоби підвищення енергетичної ефективності та продуктивності рухомих електротехнічних комплексів в умовах складної ситуації на ринку енергетичних ресурсів дозволяють забезпечити зростання незалежності вітчизняної транспортної галузі від цілої низки економічних та політичних чинників, що мають значний вплив на основні показники роботи багатьох підприємств та бюджет приватних власників транспортних засобів і забезпечують оптимальне проектування та більш ефективну роботу різних галузей господарства.

Енергозбереження та раціональне використання енергії під час виконання технологічних процесів у всіх службах та господарствах транспорту є основним резервом розвитку та забезпечення стабільності багатьох суміжних галузей в найближчій перспективі.

Тяговий електродвигун (ТЕД) - це електричний двигун, призначений для приведення до руху транспортних засобів, зокрема електровозів, електропоїздів, тепловозів, трамваїв, тролейбусів, електромобілів, електроходів, великовантажних автомобілів з електроприводом, танків і машин на гусеничному ході з електропередачею, підйомно-транспортних машин, самохідних кранів тощо).

Основною відмінністю ТЕД від звичайних електродвигунів великої потужності є те, що монтаж таких двигунів трудомісткий, тому ці двигуни можуть розташовуватись тільки у спеціальних конструкціях (відповідні діаметри і довжина, спеціальні засоби для кріплення тощо).

Тягові двигуни міського і залізничного транспорту, а також двигуни мотор-коліс автомобілів експлуатуються в складних погодних умовах, у вологому і запиленому повітрі. Також, на відміну від електродвигунів загального призначення, ТЕД працюють в різноманітних режимах (короткочасних, повторно-короткочасних з частими запусками), що супроводжується широкою зміною частоти обертання ротора і навантаження по струму (при зрушенні з місця режими можуть в 2 рази перевищувати номінальні) [4].

При експлуатації тягові двигуни піддаються механічним, тепловим і електричним перенавантаженням. Тому під час їхнього проектування враховують підвищену електричну і механічну міцність деталей і вузлів, теплостійку і вологостійку ізоляцію струмопровідних частин і обмоток, стабільну комутацію двигунів.

Розвиток напівпровідникової техніки надав поштовх до переходу від двигунів з електромеханічною комутацією до вентильних машин з комутацією, за допомогою напівпровідникових перетворювачів.

Через те що умови роботи тягових двигунів можна вважати важкими, та зважаючи на їхні габаритні розміри тягові двигуни відносять до машин граничного використання.

Тягові електродвигуни класифікують за:
струмом:

- постійного (в тому числі випрямленого багатофазного пульсуючого, з пульсацією до 10%);
- пульсуючого (в тому числі випрямленого однофазного пульсуючого, з пульсацією до більше 10%);
- змінного;

ТИПОМ:

- постійного струму,
- синхронні,
- асинхронні;
 - типом підвищення:
- опорно-осьове,
- опорно-рамне;
 - конструкцією:
- за наявності колектору:
 - колекторні
 - безколекторні (безконтактні, вентильні),
 - за типом руху:
 - обертальні (циліндричні)
 - лінійні (циліндрично-сегментні і повздовжні);
 - режимом роботи:
 - працюють в тривалому режимі,
 - працюють в короткотривалому режимі (робочий період 15-90 хвилин),
 - працюють в повторно-короткочасному режимі (тривалість увімкнення 15-60%);
 - ступенем захисту
 - способом охолодження:
 - з природним охолодженням,
 - з повітряним обдувом (з незалежною вентиляцією і з самовентильацією),
 - з рідинним охолодженням (водяним).

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМОГ ЩОДО ВИБОРУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Порівняння робочих характеристик двигунів показує, що двигун постійного струму показує більш вигідні для рухомих електротехнічних комплексів характеристики, ніж асинхронний, лише при тривалій роботі на низьких швидкостях і для широкого діапазону швидкостей при постійній потужності, що є більш характерним для вантажоперевезення та виконання важкої механічної роботи.

Перевантажувальна здатність у короткочасному режимі залежить не тільки від параметрів двигуна, але, у значній мірі, від характеристик перетворювача частоти. Чим ширшим є діапазон швидкостей, у якому двигун може видати максимальну потужність, тим оптимальніше такий двигун може бути адаптований до процесів, що вимагають забезпечення постійного моменту у всьому діапазоні швидкостей [2-3].

Двигуни постійного струму мають значно меншу висоту осі обертання і масу ротора, ніж асинхронні двигуни, отже мають більш низький момент інерції ротора, що є істотною перевагою у динамічних системах, тому що це впливає на час розгону і динамічний відгук двигуна у всіх чотирьох квадрантах роботи під час розгінних та гальмівних процесів. Більш низькі маса й габарити двигунів постійного струму (стандартний ступінь захисту IP 23), у порівнянні з асинхронними двигунами (стандартний ступінь захисту IP 54), особливо важливі для електротехнічних комплексів, у яких двигун повинен переміщатися разом з вантажем в системах, де важливо компактне розміщення.

Основним з недоліків аналогових електроприводів постійного струму є низька завадостійкість, складність у налаштуванні й нестабільність параметрів. У якості

датчика зворотного зв'язку по швидкості застосовується тахогенератор, що має ті ж недоліки, що і звичайний колекторний двигун. Для реверсивних тяглових електроприводів після тахогенератора доводиться встановлювати спеціальну діодну систему на основі містка, що обмежує діапазон регулювання на малих швидкостях через особливості сигналу зворотного зв'язку[3].

Сучасні мікроконтролери, що управляють частотним перетворювачем та тягловим електродвигуном, дозволяють обробляти дані за період у кілька десятків мікросекунд, що дозволило розширити діапазон регулювання зі зворотним зв'язком до 1:1000 з точністю підтримки швидкості 0,2 оберту у всьому діапазоні. Це наближає частотні приводи за якістю характеристик до сервоприводів.

Основа інформаційних підсистем сучасних тяглових електроприводів, як правило, складають мікроконтролерні пристрої, що мають ряд істотних переваг у порівнянні з аналоговими пристроями управління, які реалізують типові арифметичні і логічні функції, обробку масивів, регулювання електромагнітних і механічних змінних, стабілізацію, корекцію і компенсацію нелінійностей, спостереження, імітацію об'єкта управління і обробку законів роботи. Сучасні мікроконтролери є однокристальними електронно-обчислювальними машинами, цифровими сигнальними процесорами, адаптованими до завдань управління в реальному часі з цілим рядом інтегрованих пристроїв:

- аналого-цифрові перетворювачі для введення сигналів аналогових давачів;

- формувачі вихідних широтно-імпульсних сигналів для прямого цифрового керування силовими перетворювачами;

- порти для сполучення з системами керування більш високого рівня.

Серед переваг мікроконтролерів слід назвати:

- гнучкість (можливість оперативної зміни структури, законів і параметрів системи керування);

- можливість реалізації разом з традиційними законами керування, прийнятими в аналогових системах, складніших методів для використання в адаптивних, самоналагоджувальних, взаємозв'язаних і багатоконтурних системах управління;

- оперативне тестування і діагностика поточного стану системи автоматичного управління та її елементів, що сприяє ранньому виявленню несправностей та попередженню аварій;

- висока точність обробки інформації (в цифрових системах похибки, характерні для аналогових керуючих пристроїв, відсутні);

- можливість фіксації, зберігання і візуалізації масивів параметрів процесів керування, оперативної взаємодії з обслуговуючим персоналом;

- висока надійність, зменшена маса та габарити мікроконтролерних і комп'ютерних систем управління в порівнянні з аналоговими системами.

Наявність в складі мікроконтролерів великого об'єму пам'яті дозволяє реалізувати складні послідовності обробки даних і робити енергетичні об'єкти доступними за широким комплексом інформації з мікроконтролерів, що може

характеризувати дані об'єкти. При цьому, навіть за використання відомих методів прямого вимірювання, необхідних для управління величинами, стає можливим, маючи невелике число здавачів (переважно електричних величин) і, відповідно, каналів збору первинної інформації, визначати необхідну додаткову інформацію за допомогою обчислень в реальному часі. Така тенденція підкріплюється наявністю недоліків підходу прямого використання значної кількості давачів для вирішення завдань регулювання в системах змінного струму:

- високі вимоги до роздільної здатності первинних вимірювачів;
- необхідність побудови додаткових гальванічних розв'язок для підключення давачів;
- складність сполучення різних систем давачів в одному контурі регулювання.

Перехід до цифрового управління відкриває можливості реалізації складних законів управління, які раніше було практично неможливо застосовувати.

Інші типи електродвигунів змінного струму (синхронні, індукторні), у багатьох аспектах поступаються асинхронному двигуну за якістю характеристик, проте продовжують вивчатися стосовно до використання в тягових системах. Виконаємо порівняльний аналіз різних типів двигунів однієї потужності (табл. 1).

| Тип двигуна | Маса, кг | Середній ККД | Відносна вартість |
|--|----------|--------------|-------------------|
| Колекторний, постійного струму | 99 | 0,84 | 1 |
| Асинхронний, з коротко замкненим ротором | 45 | 0,935 | 0,26 |
| Синхронний з електромагнітним порушенням | 55 | 0,93 | 0,32 |
| Синхронний з постійними магнітами | 45 | 0,935 | 0,26 |
| Синхронний дисковий з постійними магнітами | 34 | 0,96 | 0,20 |

З наведеної табл. 1 видно, що за однієї встановленої потужності тягового двигуна двигуни змінного струму мають значно меншу масу та вартість при більш високому ККД, ніж двигун постійного струму

IV. ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу отримала подальший розвиток методика визначення типу та параметрів тягових двигунів рухомого електротехнічного комплексу шляхом врахування заданих вимог з боку виконавчого механізму. Зокрема, проведено аналіз практичного досвіду вибору тягових двигунів та узагальнення методики визначення виду та параметрів тягових двигунів при заданих вимогах з боку рухомого електротехнічного комплексу, що дозволяє проводити точний вибір типу та параметрів двигуна в залежності від умов експлуатації електротехнічного комплексу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Кулагін Д. О. Чернецький Б. С. Особливості вибору тягових електродвигунів для побудови систем рухомих електротехнічних комплексів // *Technology audit and production reserves* — № 2/1(22), 2015.

[2] Васьковський Ю.Н., Гайденко Ю.А. Применение полевого анализа для усовершенствования конструкции тяговых асинхронных двигателей // *Електромашинобудування та електрообладнання*, Випуск 67, 2006, с.88 – 94.

[3] Васьковський Ю.М., Гайденко Ю.А. Дослідження методами теорії поля характеристик асинхронних двигунів при несиметрії параметрів ротора // *“Електротехніка і електромеханіка”*, №3, 2007, с.19 – 22.

[4] Тяговий електродвигун [Електронний ресурс]; Режим доступу(<https://www.wiki.uk-ua.nina.az/>) дата використання [23.09.2022]

[5] Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.