

ЕЛЕКТРОПРИВОД КОЛІС ТРОЛЕЙБУСА НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА

Постановка проблеми. В великих містах одним із невід'ємних складових транспортної мережі є тролейбус, який спочатку розглядався як приміський транспорт, але пізніше замінив трамвай на ділянках, де використання останніх ускладнено - наприклад, в історичних центрах міст із вузькими вулицями, оскільки поєднує в собі переваги трамвая та автобуса. В Україні станом на 2012 рік діяло 42 тролейбусні системи, тим самим Україна посідала друге місце в світі за кількістю таких систем.

Сьогоднішнє відродження інтересу до тролейбуса в світі зумовлене можливістю за допомогою сучасних технічних рішень зменшити завантаженість міського автомобільного транспорту та покращити екологічний стан. З розвитком технологій змінюється не тільки дизайн тролейбуса, але і його електропривод. На заміну тяговим електродвигуном постійного струму використовують, наприклад, асинхронні двигуни з відповідними перетворювачами, яким, однак, також притаманні не тільки відомі переваги, а й недоліки [4].

Застосування вентильних двигунів (ВД) у сучасних регульованих електроприводах малої й середньої потужності, на думку фахівців, нині є найбільш перспективним з посеред інших типів двигунів, що пояснюється низкою відомих конструктивних і техніко-експлуатаційних переваг ВД порівняно з існуючими типами електричних машин. Найістотніші з них - безконтактність і відсутність вузлів, які вимагають обслуговування, підвищують експлуатаційний ресурс і надійність ВД порівняно з двигунами постійного струму та асинхронними двигунами з фазним ротором. На відміну від асинхронних двигунів, ККД яких помітно залежить від зміни напруги і навантаження, швидкодія та енергетичні показники ВД незначно змінюються під час коливань напруги мережі та за зміни навантаження, що особливо приваблює розробників електроприводів широкого застосування, зокрема, для транспортних засобів. Тому видається логічним застосувати для приводу коліс тролейбуса вентильний реактивний двигун (ВРД) з ємнісними накопичувачами енергії (ЄНЕ), що, як відомо [1], складається з електромеханічного перетворювача (ЕМП), давача положення ротора (ДПР) та електронного комутатора (ЕК). ЕК можуть бути використані для регулювання частоти обертання, моменту тощо, тому до базової структури доцільно ще застосувати систему керування (СК). Електромеханічний перетворювач та ДПР зазвичай об'єднують в один конструктивний вузол, а ЕК і СК в інший.

Метою роботи є обґрунтування доцільності застосування вентильних реактивних двигунів з ємнісними накопичувачами енергії для електроприводу коліс тролейбуса.

Матеріали досліджень. На відміну від ВРД із відомими електронними перетворювачами, які мають невисокі енергетичні показники та, відповідно, обмежене застосування, для ВРД із ЄНЕ, кафедрою електричних машин та апаратів Львівської політехніки запропоновано схеми ЕК, (наприклад, рис.1), застосування яких дозволяє одночасно використати енергію, запасену в електромагнітному полі якоря ЕМП, обмежити наростання зворотної напруги транзисторного ключа комутатора до допустимого рівня та значно зменшити динамічні втрати на перемикання транзистора перетворювача внаслідок перехоплення струму вимикання транзистора колом заряду конденсатора [1].

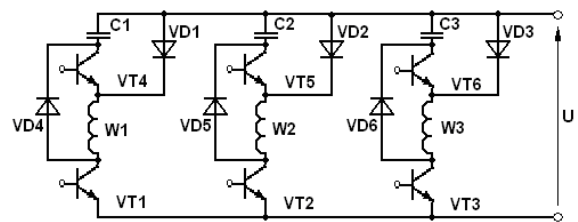


Рис. 1 Схема ЕК ВРД із ЄНЕ

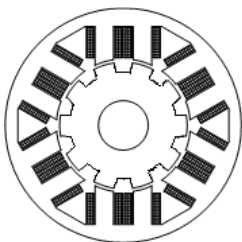


Рис. 2 Псевдо U-подібна конструкція статора

У ВРД застосована псевдо U-подібна конструкція статора (рис.2) з майже відсутніми електромагнітними зв'язками між секціями, що підвищує стійкість роботи електронних компонентів та енергетичні показники завдяки меншій, порівняно з класичною конструкцією, довжині магнітних силових ліній, а отже, і втратам в сталі.

Тролейбуси, як відомо, виконуються з одним, двома, а в деяких випадках чотирма тяговими електродвигунами, що доцільно для тролейбусів з двома ведучими осями (рис.3). В такій схемі тягове зусилля від електродвигунів 1 через карданні передачі 3 і редуктори 7 передаються кожному із ведучих коліс 2. До позитивних рис даної схеми є відсутність механічного диференціального зв'язку між ведучими колесами, що дозволяє повніше застосування тягових зусиль двигунів та суттєво знижує рівень підлоги в тролейбусі завдяки меншим габаритам двигунів і редукторів.

Тролейбуси, як відомо, виконуються з одним, двома, а в деяких випадках чотирма тяговими електродвигунами, що доцільно для тролейбусів з двома ведучими осями (рис.3). В такій схемі тягове зусилля від електродвигунів 1 через карданні передачі 3 і редуктори 7 передаються кожному із ведучих коліс 2. До позитивних рис даної схеми є відсутність механічного диференціального зв'язку між ведучими колесами, що дозволяє повніше застосування тягових зусиль двигунів та суттєво знижує рівень підлоги в тролейбусі завдяки меншим габаритам двигунів і редукторів.

Проектування двигуна проведено за використання розробленої на кафедрі електричних машин та апаратів автоматизованої системи проектування (АСП) вентильних реактивних двигунів із накопичувачами енергії [2]. Система складається з головної програми, 16-ти підпрограм та файлів даних, має відкриту структуру та дає змогу здійснювати розширення та модернізацію під час розвитку

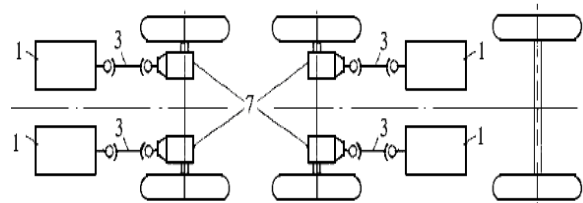


Рис. 3 - Схема тягової передачі тролейбуса

завдань проектування та дослідження ВРД із ЄНЕ. Підсистема готує необхідні вхідні дані для проведення досліджень електроприводу на базі ВД із ЄНЕ у підсистемі автоматизованого дослідження вентильних реактивних двигунів [3]. Для забезпечення можливості синтезу двигунів вищих потужностей та напруг в АСП заздалегідь було внесено відповідні зміни.

Оскільки методики проектування традиційних типів електричних машин (асинхронних, синхронних, постійного струму) базуються на виборі величин електромагнітних навантажень (індукції у повітряному проміжку і окремих частинах магнітопроводу, лінійного навантаження, густини струму тощо), досвід вибору яких обмежений, вказані величини потребують відповідних уточнень. Тому, використовуючи теорію електромеханічного перетворення енергії у ВРД з ємнісними накопичувачами енергії, а також порівняльний аналіз моменту і електромагнітних навантажень ВРД з буферами енергії з колекторними двигунами постійного струму, в [1] наведено вирази для розрахунку геометричних розмірів магнітопроводу ВРД із пасивним ротором класичної та псевдо-U-подібної конструкції. Однак, внаслідок відсутності досвіду проектування вентильних двигунів з пасивним ротором, не можна також скористатись прийнятим в практиці проектування традиційних типів електричних машин методом, коли за даними спроектованих машин аналогічної або близької конструкції та потужності попередньо задаються рекомендованими значеннями електромагнітних навантажень та інших незалежних змінних. Тому, вибір значень незалежних параметрів під час проектування двигунів такого типу здійснюється, опираючись на результати досліджень, проведених на кафедрі "Електричні машини та апарати".

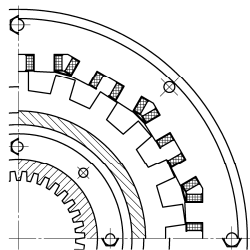


Рис. 4 Фрагмент перетину двигуна

За критерій оптимальності вибраного варіанту двигуна слугувала механічна характеристика та максимальний момент, який зможе розвинути двигун. В результаті проектування отримано двигун, фрагмент поперечного перетину якого наведено на рис.4, з наступними даними: Номінальна напруга живлення - 550 В; Корисна потужність - 40 кВт; Частота обертання, 1500 об/хв; ККД - 75,4%.

Двигун досліджувався з використанням розробленої на кафедрі ЕМА Львівської політехніки автоматизованої підсистеми дослідження ВРД з ємнісними буферами енергії [4], вхідними даними для якої є файл вихідних даних, розрахований за допомогою програми проектування. Було проведено кілька варіантів симуляції його роботи у пускових та квазіусталених режимах роботи при різних навантаженнях.

На рис. 5 і 6 наведено, відповідно, графічні залежності швидкості обертання ротора та моменту, прикладеного до вала двигуна на початку пуску, а на рис.7 - механічну характеристику.

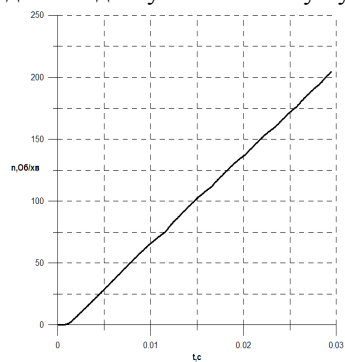


Рис. 5 Залежність швидкості обертання ротора від часу під час пуску

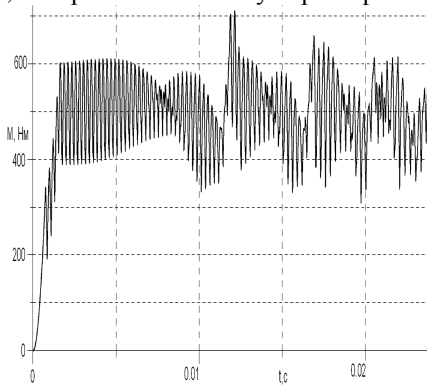


Рис. 6 Залежність моменту на валу при пуску

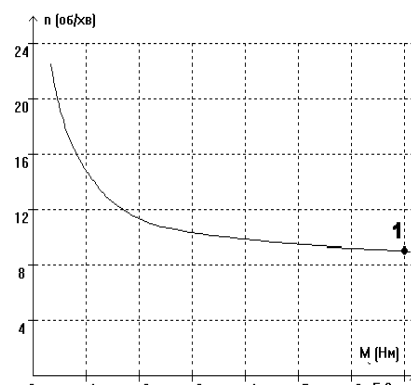


Рис. 7 Механічна характеристика двигуна

ВИСНОВКИ. Розроблено вентильний реактивний двигун з ємнісними буферами енергії для приводу коліс тролейбуса, характеристики якого дозволяють йому успішно конкурувати з тяговими колекторними двигунами, за вищої надійності і меншого об'єму активної частини. Результати дослідження з використанням автоматизованої системи показують, що електропривод на базі спроектованого двигуна забезпечує на горизонтальній ділянці необхідну швидкість тролейбуса 90 км/год. Потужність, яку розвиває двигун на одиницю ваги (тону), становить близько 7 кВт/т, а кут, під яким тролейбус зможе рухатись вгору без прискорення з швидкістю 30 км/год, становить 10,4°, що приблизно відповідає сучасним зарубіжним та вітчизняним тролейбусам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ткачук В.І. Вентильний реактивний двигун з ємнісним накопичувачем енергії//Електромашинобудування та електрообладнання. №52,1999.– С.82-88.
2. Ткачук В.І. Підсистема комп'ютерного діалогового проектування вентильних реактивних двигунів // Вид-во ДУЛП, Вісник ДУЛП „Електроенергетичні та електромеханічні системи”, № 340, 1997. – С. 112-120.
3. Ткачук В. Підсистема автоматизованого дослідження вентильних реактивних двигунів // Технічна електродинаміка. 1998. - С. 180 - 187.
4. Комплект тягового електропривода ПТ (совместное производство с ООО НПФ «АРС ТЕРМ»,) для электро-транспорта. <http://www.npfarsterm.ru>.