

## ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОТОР-КОЛІС ЕЛЕКТРОБУСА

**Вступ.** Виснаження природних енергетичних ресурсів і забруднення навколишнього середовища значною мірою пов'язане з постійним зростанням світового автомобільного парку. Тому актуальним є розв'язання проблеми створення екологічно безпечного транспортного засобу з мінімальними витратами енергії. Зокрема, доцільним є створення невеликих міських електромобілів і малих електробусів на базі електричних мотор-колес (МК), призначених для перевезення вантажів і пасажирів. В електромобілі відносно просто розв'язується задача економії природних енергетичних ресурсів завдяки можливості реалізації режиму рекуперації енергії гальмування, з подальшим використанням її для руху електромобіля.

**Постановка задач дослідження.** При розробці електробуса необхідно визначити потрібні в міських умовах значення сумарного рушійного моменту, що мають розвивати синхронні електродвигуни, які входять до складу МК, а також потрібні електричні параметри блоків регулювання (БР) і ємність акумуляторної (АБ) і конденсаторної (КБ) батарей, що входять до складу бортового джерела живлення (БДЖ).

**Матеріали дослідження.** Міський електробус на 14 посадкових місць має такі основні параметри: висота – 2,37 м, ширина – 1,926 м, маса – 4700 кг, радіус шини колеса – 0,372 м, максимальна швидкість – 80 км/год, максимальний час розгону до максимальної швидкості – 10 с, бажана відстань пересування на одній зарядці АБ – 200 км. Динамічні характеристики проектуваного електробуса повинні бути не гірше за аналогічні характеристики міського автобуса. Тому вибір МК по значенню сумарного рушійного моменту здійснювався на підставі тахограми руху електробуса (рис. 1), яка відповідає стандартній циклограмі руху міського автобуса [1].

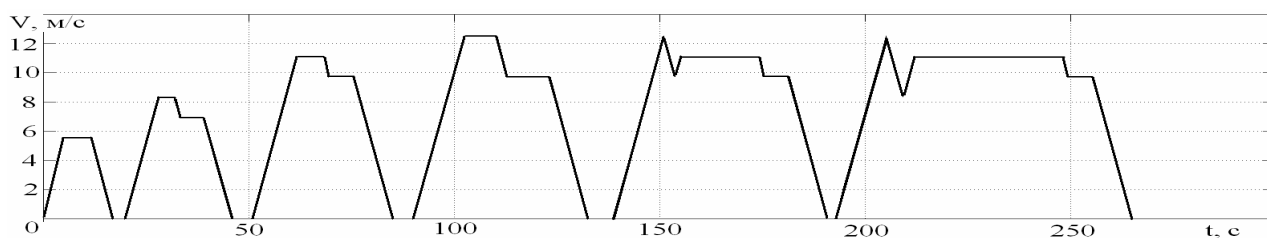


Рис. 1. Тахограма руху електробуса

На підставі наведених вище технічних параметрів міського електробуса, тахограми руху і викладеної у [2] методики розрахунку сил тертя котіння і опору повітря розрахована діаграма сумарного механічного моменту (рис. 2).

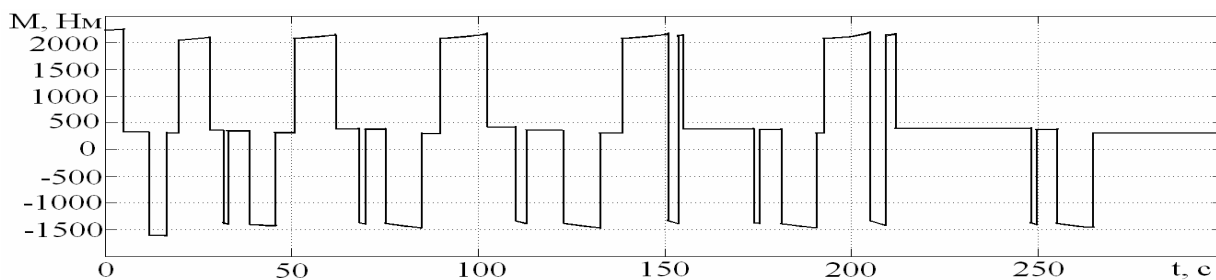


Рис. 2. Діаграма сумарного механічного моменту

Для вибору МК було застосовано метод еквівалентного моменту. Відповідно діаграмі (рис. 2) цей момент складає 1282 Нм. Проте МК також мають забезпечити необхідний максимальний момент при розгоні електробуса. Тому МК для електробуса необхідно вибирати так, щоб сума їх номінальних механічних моментів була не менше за еквівалентний момент, а сума максимальних значень моменту перевищувала максимальний момент з діаграми (рис. 2), який складає 2400 Нм.

На підставі тахограми руху і параметрів електробуса була розрахована діаграма кутової швидкості МК, яка показала, що при русі транспортного засобу в режимі стандартного міського циклу найбільше значення кутової швидкості МК не перевищує 34 рад/с. Однак відповідно до вимог максимальна лінійна швидкість руху елект-

робуса має дорівнювати 80 км/год (22,222 м/с). Тому максимальне значення кутової швидкості обертання МК повинне бути не менше 59,737 рад/с.

В ЗАТ НПП ІНКАР-М [3] на базі синхронних двигунів із збудженням від постійних магнітів розроблено і випробувано дослідні зразки мотор-коліс типа МК-20 розміром (діаметр×ширина) 0,47×0,185 мм, номінальною механічною потужністю 20 кВт, номінальним моментом 600 Нм, максимальною кутовою швидкістю 62,8 рад/с. Максимальна напруга обмотки статора двигуна складає 350 В, а номінальний струм обмотки статора - 120 А. Таким чином, чотири таких мотор-колеса дозволяють забезпечити рух електробуса по горизонтальній дорозі відповідно до потрібної тахограми (рис. 1).

На підставі діаграми сумарного механічного моменту (рис. 2) побудована діаграма сумарного струму, що споживається всіма МК від БР, з якої визначено, що найбільше значення сумарного струму при розгоні досягає 452 А, а при гальмуванні – (-325 А). На підставі цього було розраховано максимальне значення напруги у 320 В, яке має бути подане на МК, щоб забезпечити їх обертання з максимальною швидкістю при максимальному значенні рушійного моменту. Таким чином, були визначені вихідні енергетичні параметри БР, які входять до складу багатокоординатного електроприводу електробуса.

Для формування вимог до енергетичних параметрів БДЖ електробуса розрахована діаграма сумарної потужності електричної енергії, що споживається від БДЖ або генерується в БДЖ всіма БР і МК електробуса. З цієї діаграми визначено, що при розгоні електробуса по горизонтальній дорозі найбільше значення сумарної електричної потужності, що споживається від БДЖ, досягає майже 87 кВт, а при гальмуванні електробуса найбільше значення електричної потужності, що генерується в БДЖ багатокоординатним електроприводом, досягає майже - 38,5 кВт. Враховуючи те, що напруга на виході БДЖ залишається практично постійною і дорівнює напрузі на АБ ( $U_{AB}=350$  В), була побудована діаграма струму, який споживається всіма БР від БДЖ. З цієї діаграми визначено, що в режимі розгону з БЖД споживається струм майже в 250 А, а при гальмуванні МК максимальне значення струму, що надходить в БДЖ, досягає 110 А. Еквівалентне значення струму БДЖ за час стандартної циклограми руху дорівнює 79 А. Ці параметри можна використовувати при проектуванні силової частини електронних пристроїв, що входять до складу БДЖ.

Струм, що надходить в БДЖ при гальмуванні електробуса, протікає короткочасно. Через повільне протікання хімічних процесів заряду акумуляторів це утрудняє накопичення енергії гальмування в АБ. Тому для накопичення енергії гальмування до складу БДЖ було включено КБ. Кількість електричної енергії, яка надходить від БДЖ до МК за час стандартного міського циклу досягає  $4,407 \cdot 10^6$  Дж. Якщо розділити цю енергію на напругу  $U_{AB}=350$  В, то набудемо значення заряду акумуляторної батареї  $Q=12591$  А·с (або 3,498 А·год.), яке витрачається на один стандартний міський цикл руху електробуса. Кількість енергії, яка генерується МК при гальмуванні електробуса і надходить від МК в БДЖ за час стандартного міського циклу дорівнює  $1,109 \cdot 10^6$  Дж. З врахуванням втрат енергії в БЖД при її накопиченні в КБ і повторній передачі її з КБ до МК економія електричної енергії дорівнює  $0,8979 \cdot 10^6$  Дж, що складає 20,37% від необхідної кількості електричної енергії, що споживається електробусом при стандартному міському циклі руху.

Якщо врахувати, що при стандартному міському циклі руху електробус проходить відстань 1920 м, то за відсутності режиму рекуперації електричної енергії для того, щоб електробус на одному заряді АБ пройшов 200 км необхідно, щоб ємність АБ дорівнювала 364,6 А·год. Якщо в БДЖ використовується режим рекуперації електричної енергії, то ємність АБ може бути зменшена на 20,37% і буде дорівнювати 290,3 А·год. Ці параметри можна використовувати при проектуванні АБ, що входять до складу БДЖ.

Необхідне значення ємності КБ залежить від запасу кінетичної енергії електробуса, яка генерується МК при кожному гальмуванні і потім повторно використовується. Чим більше початкова швидкість при гальмуванні, тим більше енергії буде надходити до БДЖ, і тим більше має бути ємність КБ. При стандартному міському циклі руху максимальне значення початкової швидкості при гальмуванні дорівнює 9,722 м/с. Гальмування до повної зупинки з прискоренням  $1$  м/с<sup>2</sup> супроводжується подачею в КБ електричної енергії  $0,1179 \cdot 10^6$  Дж. Враховуючи те, що мінімальне значення напруги заряду КБ дорівнює 100 В, а максимальне – 350 В можна за формулою [4] визначити, що необхідна ємність КБ буде дорівнювати 2,096 Ф.

**Висновки.** Таким чином, були визначені необхідні енергетичні параметри мотор-коліс, блоків регулювання, акумуляторної і конденсаторної батареї, які входять до складу багатокоординатного електроприводу електробуса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 20306-90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. УДК 629.11.07.001.4:006.354 ОКП 45 1000, 45 2000.
2. Методика расчёта тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля на стадии проектирования. Учебное пособие. / Вохминов Д.Е., Коновалов В.В., Московкин В.В., Селифонов В.В., Серебряков В.В. – М.: МГТУ «МАМИ», 2000. – 43 с.
3. <http://inkar.mccinet.ru>
4. Вершинин Д.В., Водичев В.А., Войтенко В.А., Смотров Е.А. Особенности выбора параметров бортового источника питания электротранспортного средства // Электромашиностроение та електрообладнання. – Київ: «Техніка». – 2008. – Вип. 71. – С. 5 – 11.