УДК 629.113.001

О.І. Гула
Національний університет "Львівська політехніка"

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ГІБРИДНОГО СИЛОВОГО ПРИВОДУ МІСЬКОГО АВТОБУСА

На базі типових режимів руху міських автобусів (типового їздового тесту) представлена методика параметричної оптимізації гібридного рекуперативного приводу послідовної схеми, що дозволяє визначити найбільш раціональні, з умов паливної економічності і забезпечення тягово-швидкісних характеристик руху значення потужності системи "двигун-генератор" та ємність накопичувачів енергії для різних за масо-габаритними класами автобусів.

Ключові слова: *гібридний автобус, послідовна схема, накопичувачі енергії, типовий їздовий тест.*

О.И.Гула
Национальный университет «Львовская политехника»

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО СИЛОВОГО ПРИВОДА ГОРОДСКОГО АВТОБУСА

На базе типовых режимов движения городских автобусов (типичного ездового теста) представлена методика параметрической оптимизации гибридного рекуперативного привода последовательной схемы, позволяющей определить наиболее рациональные, исходя из условий топливной экономичности и обеспечения тягово-скоростных характеристик движения значения мощности системы "двигатель-генератор" и емкость накопителей энергии для различных по массо-габаритными классами автобусов.

Ключевые слова: *гибридный автобус, последовательная схема, накопители энергии, типичный ездовой тест.*

O. Hula
National University "Lviv Polytechnic"

O. HULA. PARAMETRIC OPTIMIZATION OF HYBRID CITY BUS DRIVETRAIN

Based on typical modes of motion bus (typical driving test) introduced the technique of parametric optimization of hybrid serial regenerative drivetrain to determine the most rational, in terms of fuel economy and providing traction and speed characteristics of movement power value of "motor-generator" and the capacity of energy storage for different classes of buses.

Keywords: *hybrid bus, a series hzbrid, energy storage, typical driving test*

Постановка проблеми. З огляду на постійне зростання вимог щодо викиду шкідливих речовин в атмосферу потреба ринку в екологічно чистих автобусах постійно зростатиме. На даний момент більш екологічно чистою альтернативою традиційним дизельним чи газовим автобусам є автобуси з гібридною силовою установкою [1].

Гібридні автобуси за компонувальною схемою поділяються на автобуси з послідовною схемою приводу та паралельною [2]. В даному дослідженні була обрана послідовна схема силового приводу. Перевагою даної схеми є простіша конструкція трансмісії (відсутність коробки передач, планетарного редуктора паралельної схем), значно ширші можливості компоновки, оскільки при даній схемі відсутній жорсткий зв'язок між двигуном внутрішнього згоряння та ведучим мостом, а також суттєве зменшення викидів відпрацьованих газів у зв'язку з тим, що двигун працює в стаціонарному режимі.

Головною проблемою при формуванні гібридного силового приводу є вибір потужності двигуна внутрішнього згоряння, тягового електродвигуна та ємності накопичувачів енергії [2]. На даний момент відсутня методика вибору оптимальних параметрів цих компонентів силового приводу, вони обираються виходячи з досвіду проектування класичних дизельних автобусів.

У зв'язку з цим **метою роботи** є визначення найбільш раціональних, з умов паливної економічності і забезпечення тягово-швидкісних характеристик руху значення потужності системи "двигун-генератор" та ємність накопичувачів енергії для різних за масо-габаритними характеристиками класів автобусів.

Результати досліджень. Вибір оптимальних значень вищезгаданих параметрів компонентів силового приводу здійснюється шляхом комп'ютерного моделювання руху автобуса з гібридним рекуперативним приводом [3] у типовому їздовому тесті [4].

Шляхом компютерного моделювання було визначено енергії для різних класів автобусів при русі згідно типового тесту [4]. На рис.1 представлено затрати енергії для автобуса повною массою

© О.І. Гула

24 т. Виходячи із сумарних затрат енергії для виконання даного тесту визначається потужність, яку має забезпечити дизельний двигун-генератор для поповнення зараду накопичувачів енергії за час проходження усіх циклів їздового тесту (враховуючи сумарний ккд приводу приймаємо потужність двигуна із запасом 20%). Сумарні затрати енергії в циклі визначаємо з врахуванням рекуперації енергії при гальмуванні. При визначенні сумарних затрат енергії враховувалась кількость повторень типових циклів у складі повного циклу (рис.1). Досвід експлуатації українських тролейбусів на міському маршруті свідчить, що реальний показник ефективності рекуперації становить 25-30%. Реальна потужність двигуна обирається з врахуванням затрат енергії на привід додаткового обладнання, а також роботи двигуна у зоні мінімальної витрати палива. Враховуючи швидкісну характеристику дизеля згідно даних провідних виробників (Deutz, Mercedes-Benz, Cummins, Iveco) дана зона в межах частоти обертання 1300-1700 хв$^{-1}$ в залежності від двигуна і 65-80% від максимальної паливоподачі.

Вибір потужності тягового електродвигуна здійснюється виходячи із необхідності забезпечення розгону автобуса з типовою інтенсивністю пришвидшення під час руху в міських умовах. При розрахунку приймаємо, що ККД тягового двигуна становить 90-95%. Щодо розгону автобуса з максимальною динамічністю, то згідно результатів розрахунку необхідна номінальна потужність тягового електродвигуна є на 25-30% меншою, ніж потужність дизеля для автобуса аналогічного класу, проте завдяки кращій характеристиці крутного моменту електродвигуна, максимальне значення якого досягається одразу при рушанні з місця, та відсутності втрат розриву силового потоку при перемиканні передач суттєвого впливу на час розгону гібридного автобуса це не має.

В якості накопичувачів енергії для гібридного автобуса за послідовною схемою пріорітет надано суперконденсаторам. Даний вибір ґрунтується на тому, що для гібридного автобуса необхідна ємність накопичувачів не є надто великою, і блок суперконденсаторів цілком може забезпечити дану ємність, а експлуатаційні показники суперконденсаторів (кількість циклів заряд-розряд, швидкість накопичення та віддачі енергії) є кращими, ніж у найбільш вживаних на даний момент Li-ion батарей. Необхідний запас ємності визначається з умови необхідної кількості енергії для розгону повністю завантаженого автобуса до 60 км/год відповідно до найбільш енергозатратного циклу їздового тесту. Другим критерієм при розрахунку необхідного запасу енергії накопичувачів є різниця енергії, яку споживає тяговий електродвигун та енергії, яку поставляє ДВЗ за час циклу. З врахуванням даної різниці енергій та тривалості циклу визначається кількість енергії, яку може споживати тяговий електродвигун додатково з накопичувачів енергії. При використанні суперконденсаторів в якості накопичувачів енергії при розрахунку приймаємо, що максимальний розряд суперконденсатора не повинен перевищувати 80% від максимального заряду (з врахуванням збереження повного запасу заряду і для граничних умов – розгону з максимальною інтенсивністю повністю завантаженого автобуса і падінні ємності накопичувачів при низькій температурі).

У таблиці 1 наведено отримані значення параметрів основних компонентів гібридного силового приводу згідно результатів комп’ютерного моделювання.

Одержані результати розрахунків оптимальних значень параметрів компонентів гібридного силового приводу досить добре корелюються з розрахунковими даними для інших типових характерних циклів руху для міського автобуса у країнах ЄС та КНР [5,6], а також з даними провідних світових автобусних виробників. Так, до прикладу, енергія накопичувачів знаходиться в приблизно однакових межах з результатами нашого розрахунку. В той же час потужність двигуна на більшості серійних гібридних автобусів є дещо вищою, що обумовлює, наприклад, для автобуса повною масою 18,5 т встановлення 6-циліндрового дизеля, коли є можливість встановлення меншого за об’ємом 4-циліндрового двигуна.

© О.І. Гула

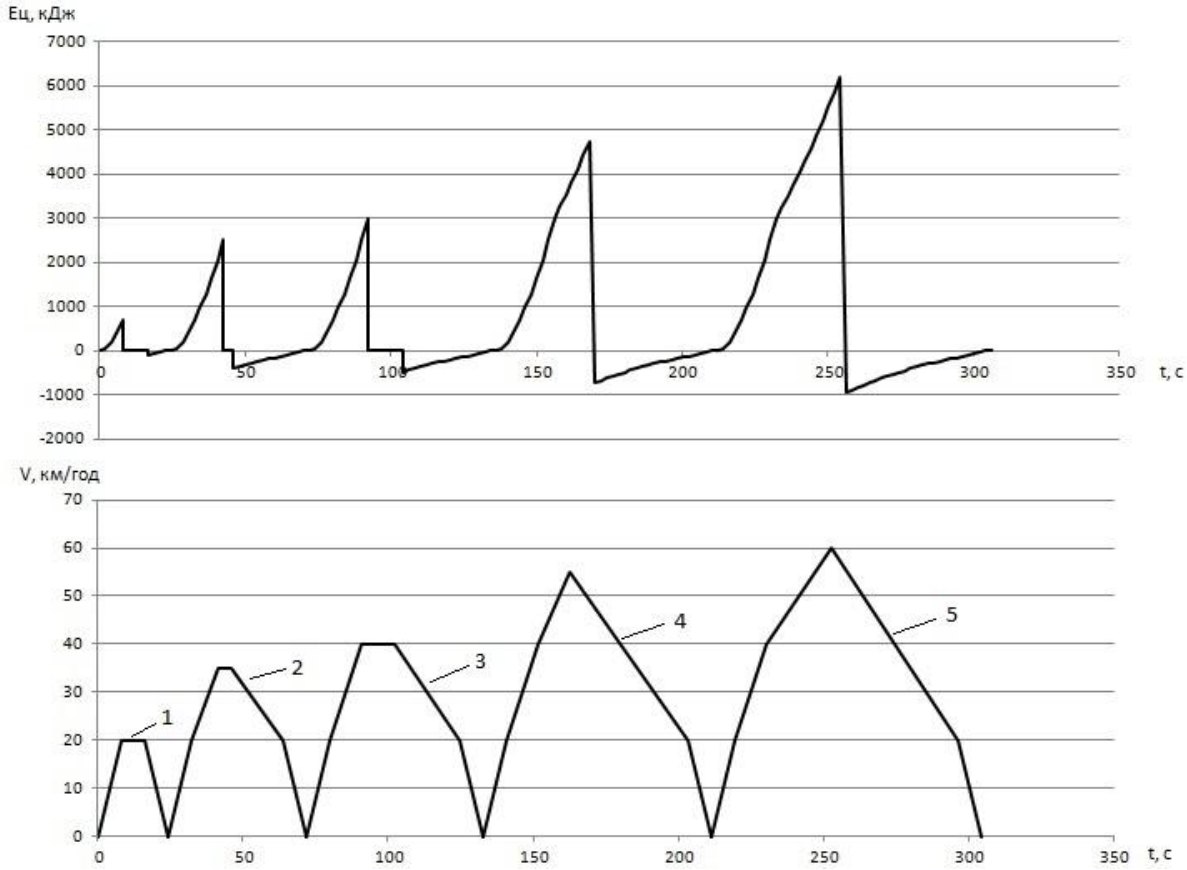

Рис.1. **Типові цикли їздового тесту та відповідні затрати енергії в них для автобуса повною масою 29 т**
1, 2, 3, 4, 5 – типові цикли руху за [4], кратність циклів: 1,5 – по 1 повтору, 2,4 – по 2 повтори, 3 – 4 повтори

Таблиця 1

Раціональні значення параметрів основних компонентів гібридного силового приводу

	5,5 т	8,5 т	10,5 т	18,5 т	29 т
Потужність ДВЗ, кВт	26,6	41,1	50,8	89,4	116
Потужність електромотора, кВт	40,3	62,4	77,8	136	176
Енергія накопичувачів, кВт·год	2,36	3,65	4,51	7,95	12,47

Висновки. Визначено оптимальні, з умов функціонально-вартісного аналізу різних масо-габаритних класів автобусів, значення потужності дизельного двигуна-генератора, тягового електродвигуна, а також необхідна ємність (запас енергії) накопичувачів для міських гібридних автобусів за послідовною схемою приводу для типових умов міського руху в Україні.

Література

1.Rob De Jong. Hybrid electric vehicles. An overview of current technology and its application in developing and transitional countries/Max Ahman, Rogier Jacobs, Elisa Dumitrescu//Printed by the United Nation Environment Programme, Nairobi, Kenya, 2009.- 55 p.

© О.І. Гула

2. Mehrdad Ehsani. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design / Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi // CRC Press LLC, 2005. — 395 p.

3. Крайник Ю. Л. Моделювання динаміки та енергетики циклічного руху міського автобуса з різними типами приводу/ Гула О. І.// Динаміка, міцність та проектування машин і приладів: Вісник НУ “ЛП”. - Львів: 2015. - Випуск 4. - С.177-180.

4. Крайник Ю. Л. Типовість експлуатаційних режимів міських автобусів і формування їздового циклу//Автотехніка.Автобуси, вантажівки.-2007.-№1.-С.50-52.

5. Yajuan Yang. Drive Train Design and Modeling of a Parallel Diesel Hybrid Electric Bus Based on AVL/Cruise/ Han Zhao, Hao Jiang // World Electric Vehicle Journal Vol. 4 - ISSN 2032-6653 - 2010 WEVA.-P.75.

6. Thierry Coosemans. Optimization of Propulsion Systems for Series-Hybrid City Busses through Experimental Analysis/ RicardoBarrero, Jean-Marc Timmermans, Joeri Van Mierlo// World Electric Vehicle Journal Vol. 4 - ISSN 2032-6653 - 2010 WEVA.-P.184.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2016

© О.І. Гула