

УДК 629.113

## ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ПОСЛІДОВНОГО ТИПУ НА МІСЬКИХ АВТОБУСАХ

**В.П. Сахно, проф., д.т.н., О.М. Тімков, доц., к.т.н., А.П. Луцик, асистент,  
Національний транспортний університет, м. Київ**

*Анотація.* Впровадження гібридної силової установки у міський транспорт може значно зменшити проблеми, викликані в міських районах, завдяки використанню інноваційних технологій і технологій транспортних засобів. Розроблення математичних моделей для проектування автомобілів з гібридними силовими установками приводить до скорочення часу та зменшення витрат.

*Ключові слова:* гібридна силова установка, послідовна схема, структурна схема, математична модель, мотор-генератор, гібридний автобус.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТИПА НА ГОРОДСКИХ АВТОБУСАХ

**В.П. Сахно, проф., д.т.н., О.Н. Тимков, доц., к.т.н., А.П. Луцик, ассистент,  
Национальный транспортный университет, г. Киев**

*Аннотация.* Внедрение гибридной силовой установки в городской транспорт может значительно уменьшить проблемы, вызванные в городских районах, благодаря использованию инновационных технологий и технологий транспортных средств. Разработка математических моделей для проектирования автомобилей с гибридными силовыми установками приводит к сокращению времени и уменьшению затрат.

*Ключевые слова:* гибридная силовая установка, последовательная схема, структурная схема, математическая модель, мотор-генератор, гибридный автобус.

## USE OF HYBRID PROPULSION UNIT OF SERIAL TYPE IN CITY BUSES

**V. Sakhno, Prof., D. Sc. (Eng.), O. Timkov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),  
A. Lutsyk, T. Asst., National Transport University, Kyiv**

*Abstract.* Introduction of hybrid propulsion into urban transport can significantly reduce the problems caused in urban areas through the use of both innovative and vehicle technology. Development of mathematical models for designing vehicles with hybrid propulsion reduces both the time and the costs.

*Key words:* hybrid propulsion, sequential diagram, structural diagram, mathematical model, motor-generator, hybrid bus.

### Вступ

Екологічні проблеми й обмежені запаси вичерпаного палива підвищили інтерес до альтернативних рухомих установок транспортних засобів. З іншого боку, виробники транспортних засобів все частіше стикаються з вимогами щодо скорочення викидів шкідливих

газів транспортними засобами відповідно до посиленних вимог законодавства.

Автобуси як засіб громадського транспорту можуть значно зменшити проблеми, викликані в міських районах, завдяки використанню інноваційних технологій і технологій транспортних засобів.

Розвиток інноваційних технологій більшою мірою орієнтований на електрифікацію транспортного засобу, результатом чого має бути: зниження рівня шкідливих викидів, збільшення ефективності транспортних засобів, поліпшення тягово-швидкісних характеристик, зниження витрати палива, зменшення шуму і потенційне зниження витрат на технічне обслуговування. Технологія електроприводу має на увазі технологію з використанням щонайменше одного пристрою під назвою «електродвигун».

Впровадження гібридних технологій для автобусів значно зросло за останні кілька років. Ці технології досягли великих проривів в Північній Америці й Європі, стали дуже ши-

роко застосовуватися протягом останніх кількох років.

### Аналіз публікацій

Використання гібридних технологій на автомобільному транспорті стало популярним в останні роки. Гібридні рішення є принципово доступними для всіх основних типів рухомого складу, тому є доцільним застосування технологій електричного приводу в міських автобусах.

У табл. 1 показано деякі типові гібридні електричні автобусні рішення головних виробників автобусів із двигуном та силовим електромотором [1].

Таблиця 1 Типові гібридні електричні автобуси

|  |   |
|--|---|
| «Orion VII» hybrid electric bus  | «New Flyer» hybrid-electric bus   |
| BAE Systems HybriDrive™<br>послідовна силова установка   | ISE ThunderVolt® TB40-HD<br>послідовна силова установка   |
| Cummins ISB, ULSD, 194 кВт,<br>з генератором 120 кВт   |   |
| Асинхронний двигун АС, номінальна потужність – 175 кВт (224 кВт максимальна)                               | Два асинхронних двигуни, номінальна потужність – 170 кВт, максимальна потужність – 300 кВт                  |
| Lithium-ion батарея<br>(вміст енергії: 0,5 кВт, Maxwell, 5x 125 В, вага – 410 кг)                          | Ultra конденсатори<br>(вміст енергії: 32 кВт, вага – 364 кг, 6 років розрахунковий строк служби)            |
| Покращує економію палива на 30 % і зменшує викиди на: 90 % РМ, 40 % NO <sub>x</sub> , 30 % CO <sub>2</sub> | Зменшує викиди на: 25 % РМ, 32 % NO <sub>x</sub> , також зменшує споживання палива і викиди CO <sub>2</sub> |

Розробкою гібридних автобусів займаються такі виробники: Gillig, ISE Corporation (Північна Америка); Scania, Iveco Irisbus, Van Hool, VDL Bus & Coach, Hess AG (Європа); Tata Motors, Тойота-Ніно, Hyundai Motor Company, Mitsubishi Fuso (Азія).

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є розробка структурної схеми та створення математичної моделі гібридної силової установки автобуса повною масою більше 5 т.

### Математична модель міського автобуса з гібридною силовою установкою

На базі поданих вище гібридних автобусів розроблено структурну схему автобуса з гібридною силовою установкою (ГСУ) послідовного типу. На схемі (рис. 1) зазначено осно-

вні функціональні елементи та вхідні/вихідні сигнали кожного з них.

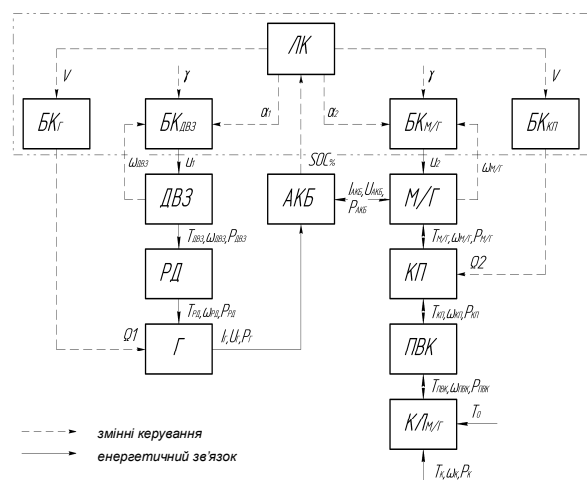


Рис. 1. Структурна схема автомобіля з ГСУ послідовного типу

Основними функціональними елементами є: АКБ, ПМК заднього моста, ДВЗ, М/Г, корб-

ка передач (КП), задні ведучі колеса КЛ, блок керування КП (БК<sub>КП</sub>) та система автоматичного керування (САК). Остання об'єднує в собі логіку керування (ЛК) та контури регулювання ДВЗ та електродвигуна, які складаються з блока керування ДВЗ – БК<sub>ДВЗ</sub> і блока керування електродвигуна – БК<sub>МГ</sub>.

Логіка керування формує сигнали керування  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , що надходять до БК<sub>ДВЗ</sub> і БК<sub>МГ</sub>; вихідними сигналами останніх є  $u_1$  і  $u_2$ , що являють собою керуючу дію на ДВЗ та МГ.

Потужність АКБ –  $P_{АКБ}$ , яка пропорційна напрузі  $U_{АКБ}$  і струму  $I_{АКБ}$ , забезпечує роботу МГ в тяговому режимі. МГ, працюючи в тяговому режимі, створює механічну потужність  $P_{МГ}$ , пропорційну крутному моменту  $T_{МГ}$  та кутовій швидкості  $\omega_{МГ}$ , і передається на ПВК. Потужність на ведучих колесах  $P_{К}$  визначається потужністю  $P_{ПВК}$ , яка, у свою чергу, залежить від поточного значення крутного моменту  $T_{ПВД}$ , кутової швидкості  $\omega_{ПВД}$  та моменту сил опору  $T_o$ . У гальмівному режимі МГ перетворює механічну енергію від ПВК в електричну та відбувається зарядження батареї акумуляторів.

ДВЗ використовується виключно для підзарядки акумуляторів. ДВЗ, працюючи, створює механічну потужність  $P_{ДВЗ}$ , пропорційну крутному моменту  $T_{ДВЗ}$  та кутовій швидкості  $\omega_{ДВЗ}$ , і передається на Г. Потужність на генераторі визначається потужністю  $P_{РД}$ , яка, у свою чергу, залежить від поточного значення крутного моменту  $T_{РД}$ , кутової швидкості  $\omega_{РД}$  та моменту сил опору  $T_o$ . Вироблена енергія від генератора подається до АКБ.

Для моделювання автомобіля із ГСУ паралельного типу, з урахуванням алгоритму керування, використовувалось середовище розробки MatLab Simulink. Відповідно до структурної схеми автомобіля з ГСУ послідовного типу, наведеної на рис. 1, було реалізовано математичну модель, зображену на рис. 2.

Були використані бібліотеки: Simulink – для імітації та аналізу динамічних систем, включаючи дискретні, неперервні та гібридні, нелінійні та розривні системи; дає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і вдосконалювати проекти;

Simscape – надає середовище для моделювання і симуляції фізичних систем, що містять компоненти з різних інженерних сфер діяльності – механічних, електричних, гідравлічних та інших; SimPowerSystem – розширює Simulink інструментами для моделювання електросилових систем генерації, передачі, розподілу і споживання електроенергії; Stateflow – це середовище для моделювання і симуляції комбінаторної та послідовної логіки ухвалення рішень, що базуються на машинах станів і блок-схемах. При побудові математичної моделі використовувались рекомендації [2–5].

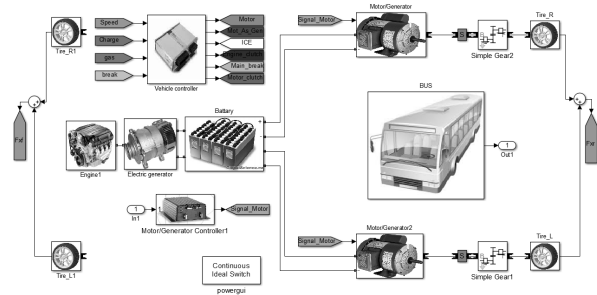


Рис. 2. Simulink модель міського автобуса з ГСУ послідовного типу

Математична модель міського автобуса з ГСУ послідовного типу складається з таких основних блоків:

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Engine                       | – модель дизельного двигуна;                           |
| MG                           | – модель електродвигуна/генератора;                    |
| Battery                      | – модель акумуляторної батареї;                        |
| FrontTransmission            | – модель передньої балки;                              |
| RearTransmission             | – модель заднього моста;                               |
| Longitudinal VehicleDynamics | – модель поздовжньої динаміки руху автомобіля;         |
| Wheel                        | – чотири блоки, які моделюють колеса автомобіля;       |
| Vehicle controller           | – модель системи керування режимами роботи автомобіля; |
| Engine Controller            | – модель блока керування дизельним двигуном            |
| MG Controller                | – модель блока керування електродвигуном-генератором   |

Для дослідження режимів руху, які важко реалізувати на реальній моделі, і визначення параметрів, які характеризують роботу ГСУ та важко піддаються прямому або непрямому вимірюванню, було проведено моделювання руху міського автобуса в їздовому циклі за математичною моделлю.

На рис. 3, а і б зображено розрахункову зміну струму і напруги тягової акумуляторної батареї (ТАБ) протягом руху в їздовому циклі відповідно.

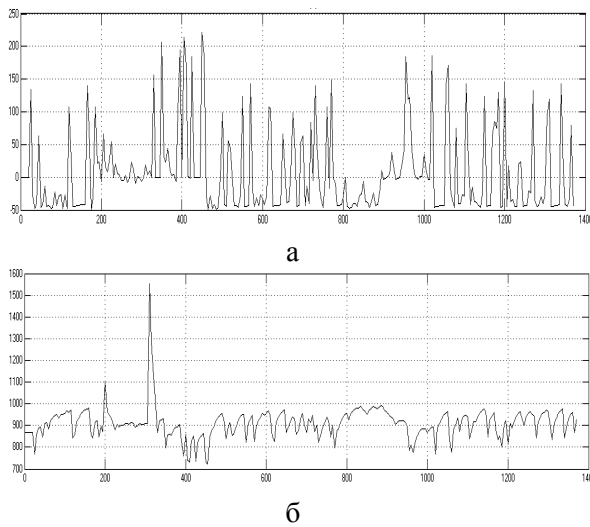


Рис. 3. Розрахункова зміна струму та напруги ТАБ у математичній моделі ГСУ в їздовому циклі: а – зміна струму; б – зміна напруги

Як їздовий цикл у математичній моделі закладено можливість використання як стандартних їздових циклів, визначених нормативними документами, так і їздових циклів, заданих користувачем самостійно, наприклад, циклів, отриманих на основі обробки експериментальних даних розподілу швидкості автобуса на маршруті у вигляді залежності швидкості від часу з дискретністю 1 с.

## Висновки

Отримано математичну модель міського автобуса з гібридною силовою установкою послідовного типу, яку реалізовано в середовищі MatLab Simulink. Модель дозволяє проводити імітацію руху автобуса у стандартних їздових циклах або за довільним маршрутом, заданим користувачем. У результаті математичного експерименту отримано дані про енергетичні й тягово-швидкісні показники руху міських автобусів із ГСУ послідовного типу. Надалі планується проведення експериментальних досліджень на автобусі для перевірки адекватності розробленої математичної моделі.

## Література

1. Živanović Z. Additional information is available at the end of the chapter / Živanović Z., Nikolić Z. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.5772/51770>.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystem, Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс; С.Пб.: Питер, 2008. – 288 с.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – Издательство: Горячая Линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; перевод с английского. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832с.
5. Данилов А. Компьютерный практикум по курсу «Теория управления». Simulink-моделирование в среде Matlab / А. Данилов. – М.: МГУИЭ, 2002. – 128 с.

Рецензент: А.В. Гнатов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 3 червня 2016 р.