

Двадненко Володимир Якович, д.т.н., професор кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [dvadnenkovladimir@gmail.com](mailto:dvadnenkovladimir@gmail.com)

Пушкар Олег Борисович, аспірант, каф. автомобільної електроніки, [oleg.pushkar83@gmail.com](mailto:oleg.pushkar83@gmail.com)

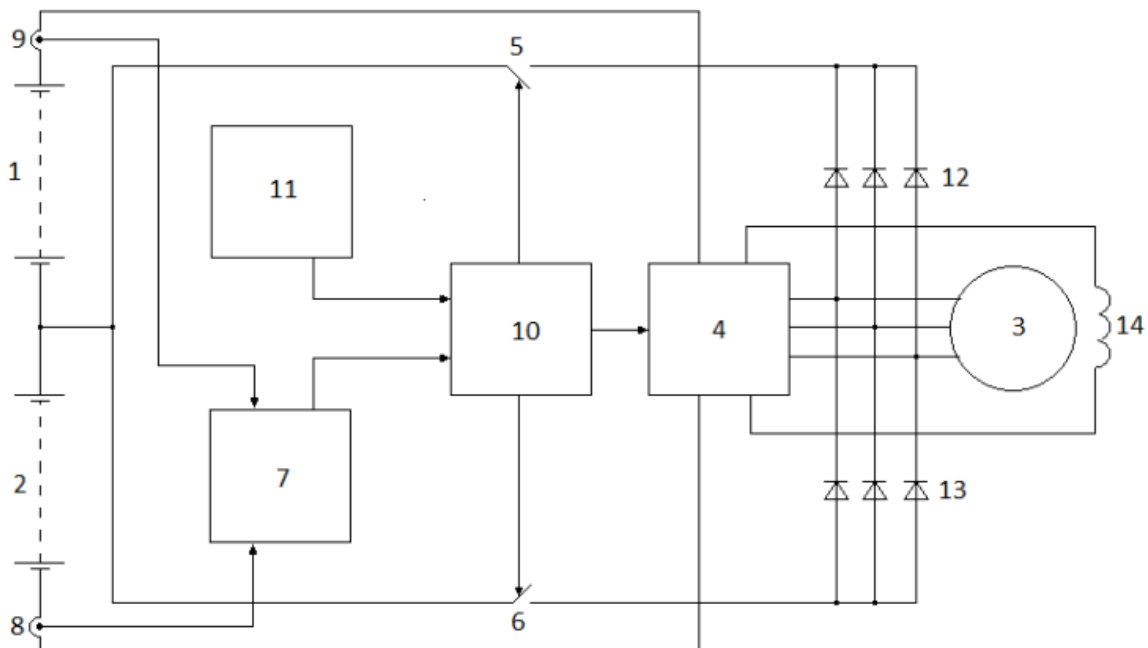
Абраменко Владислав Геннадьович, студент каф. Автомобільної електроніки, [vladabramenko99@gmail.com](mailto:vladabramenko99@gmail.com)

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ**

М'які гібридні автомобілі (МГА) мають основний двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) і допоміжний, дещо малопотужний тяговий електродвигун. Такі гібридні автомобілі для економії палива та зменшення шкідливих викидів містять систему «старт-стоп» і мають можливість рекуперативного гальмування, але зазвичай не мають можливості рухатися тільки на електроприводі з зупиненим ДВЗ [1]. Збільшення вартості і ваги цих автомобілів в порівнянні з автомобілями з ДВЗ незначне, так як на відміну від звичайних гібридних автомобілів, в МГА електродвигун і тягова акумуляторна батарея (ТАБ) дещо малопотужні і тому легкі, і недорогі. Рекуперація в таких автомобілях має низьку ефективність бо в русі ДВЗ не зупиняється і весь час споживає паливо. В роботі [2] показано, що в МГА для рівномірного руху зі швидкістю до 50-60 км/год в міському режимі можна використовувати електродвигун при зупиненому ДВЗ. При цьому з'являється можливість оперативно витратити накопичену при рекуперації електроенергію для руху автомобіля і тим самим підвищити ефективність рекуперації навіть з ТАБ невеликої ємності. Однак оптимізований на швидкість 60 км/год коефіцієнт передачі від електродвигуна до коліс забезпечує напругу, що виробляється електродвигуном при рекуперації нижче напруги ТАБ. Тому безпосередньо заряджати ТАБ не виходить, треба або підвищувати цю напругу, або заряджати частину ТАБ, що має більш низьку напругу. Для досягнення рекуперавної зарядки ТАБ яка складається з послідовно з'єднаних елементів, рекуперативна електрична енергія під час чергового гальмування направляється на зарядку половини елементів акумуляторної батареї, а при наступному гальмуванні направляється на зарядку іншої половини елементів акумуляторної батареї, і таке чергування триває до тих пір, поки електроенергія рекуперації, накопичена в тій половині ТАБ, яку в результаті чергування треба заряджати, не опиниться більше, ніж в тій половині ТАБ, яку заряджали перед цим, і в цьому випадку ця половина ТАБ заряджається повторно [3].

Працює система так: при спрацьовуванні датчика гальмування 11 (рис.1) блок управління рекуперативною зарядкою 10 включає один з ключів 5 або 6 і, одночасно блокує (вимикає) все керовані ключі трифазного моста в контролері вентильного електродвигуна-генератора 4. Припустимо включений ключ 5, тоді три діода із загальним катодом 12 утворюють позитивну групу діодів

трифазного моста, при цьому негативну групу діодів трифазного моста утворюють нижні некеровані ключі (діоди) контролера вентиляного електродвигуна-генератора 4. Такий трифазний міст заряджає нижню половину ТАБ 2. Напруга заряду і граничний струм заряду регулює блок управління рекуперативної зарядкою 10 шляхом зміни струму в обмотці збудження вентиляного електродвигуна-генератора 14 (через контролер вентиляного електродвигуна-генератора 4). При наступному гальмуванні блок керування рекуперативної зарядкою 10 включає ключ 6, тоді три діода з загальним анодом 13 утворюють негативну групу діодів трифазного моста, при цьому позитивну групу діодів трифазного моста утворюють верхні некеровані ключі (діоди) контролера вентиляного електродвигуна-генератора 4. Такий трифазний міст заряджає верхню половину ТАБ 1 також, як і в попередньому випадку. таке почергове включення ключів 5 і 6 супроводжується вимірюванням сумарного заряду, отриманого верхньої 1 і нижньої 2 половиною ТАБ за допомогою датчиків струму 8 і 9 та блоку обліку заряду верхньої і нижньої половин ТАБ 7.



1 - верхня половина ТАБ, 2 – нижня половина ТАБ, 3 - вентильний електродвигун-генератор, 4 – контролер вентиляного електродвигуна-генератора, 5 - верхній ключ, 6 – нижній ключ, 7 - блок обліку заряду верхньої і нижньої половин ТАБ, 8 - датчик струму негативного висновку ТАБ, 9 - датчик струму позитивного висновку ТАБ, 10 - блок керування рекуперативної зарядкою, 11 - датчик режиму гальмування, 12 - три діода із загальним катодом, 13 - три діода із загальним анодом, 14 - обмотка збудження вентиляного електродвигуна-генератора.

Рисунок 1 - Функціональна схема системи рекуперативного гальмування

Коли заряд, накопичений в тій половині ТАБ, яку в результаті чергування треба заряджати, виявиться більше, ніж в тій половині ТАБ, яку заряджали

перед цим, подається команда на блок керування рекуперативної зарядкою 10, який управляє ключами 5 і 6, і, в цьому випадку, половина ТАБ з меншим зарядом заряджається повторно при черговому гальмуванні. Ключі 5 і 6 можуть бути виконані або у вигляді електромеханічних реле, або на основі транзисторів MOSFET, але включення і виключення цих ключів проводиться блоком управління рекуперативної зарядкою 10 при вимкненому струмі зарядки акумулятора. Це дозволяє уникнути викидів напруги при комутації.

Таким чином, поставлена мета, а саме зниження вартості і підвищення ефективності системи рекуперації МГА досягається за рахунок використання повного напруги електродвигуна в режимі генератора для почергової зарядки тільки однієї з половин ТАБ. Це дозволяє в режимі рівномірного міського руху МГА використовувати накат, коли коробка передач в нейтральному положенні, відпущені і педаль акселератора, і педаль гальма; використовувати підтримку рівномірного руху або забезпечити невелике прискорення, коли натиснута педаль акселератора. Коли буде потрібно трохи знизити швидкість, слід відвести педаль акселератора від упору, так щоб тільки включився стоп-сигнал і разом з ним включилося рекуперативне гальмування електродвигуном. Для екстреного гальмування необхідно сильне натискання на педаль гальма. Таке технічне рішення виключає необхідність застосування DC-DC конверторів, уникнути втрат в конверторі, і зменшити вартість МГА.

## Література

1. A. Taoudi, M. S. Haque, C. Luo, A. Strzelec, and R. F. Follett, 'Design and Optimization of a Mild Hybrid Electric Vehicle with Energy-Efficient Longitudinal Control', SAE International Journal of Electrified Vehicles, vol. 10, no. 14-10-01–0005, 2021.
2. Двадненко В. Я., Пушкарь О. Б. Улучшение экономических и экологических характеристик микрогибридного автомобиля. /Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2019.– Вып. 45. – С.12–22
3. Патент України на винахід №109737. Спосіб рекуперативної зарядки тягової акумуляторної батареї транспортного засобу та система для його реалізації. Бажинов А.В., Двадненко В.Я., Дробінін О.М. 25.09.2015. Бюл. №18, 2015р.