

УДК 629.3+504

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ НА БАЗІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

О.П. Смирнов, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Розглянуто питання використання фотоелектричних перетворювачів на авто-транспортних засобах. Проведено аналіз системи електроживлення на фотоелементах. Розроблено методику розрахунку ефективності цієї системи.

Ключові слова: енергозберігаючі технології, гібридний автомобіль, електромобіль, фотоелектричний перетворювач, накопичувач енергії, система керування акумуляторними батареями.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

О.П. Смирнов, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Рассмотрен вопрос применения фотоэлектрических преобразователей на авто-транспортных средствах. Проведен анализ системы электроснабжения на фотоэлементах. Разработана методика расчета эффективности этой системы.

Ключевые слова: энергосберегающие технологии, гибридный автомобиль, электромобиль, фотоэлектрический преобразователь, накопитель энергии, система управления аккумуляторными батареями.

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES FOR TRANSPORTATION ON THE BASIS OF PHOTOELECTRIC CONVERTER

O. Smirnov, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. The question of photoelectric converters in vehicles is considered. The block diagrams of the electrical system on the photocells are analyzed. Methods for calculating of the system efficiency have been developed.

Key words: energy-saving technologies, hybrid car, electric drive, photoelectric converter, energy storage, battery management system.

Вступ

Сучасні та перспективні транспортні засоби використовують енергозберігаючі та екологічно чисті технології. Останні міжнародні автомобільні салони у Детройті, Женеві, Токію, Москві та інших містах проходять під трендом «зелений автомобіль», тому що на них демонструють новітні екологічно чисті автомобілі: електромобілі та гібридні автомобілі. Цьому сприяють як інтерес споживачів до економних засобів пересування, так і державні програми, що стимулюють зменшення шкідливих викидів в атмосферу.

Використання фотоелектричних перетворювачів (сонячних батарей) у системах живлення дорожніх транспортних засобів – це один з перспективних напрямів розвитку

екологічно чистого автобудування. Справа у тому, що екологічна чистота електромобілів є відносною, тому що тягові акумуляторні батареї заряджаються енергією атомних або електростанцій, які самі завдають шкоди навколишньому середовищу. А сонце – це джерело чистої енергії. Останні дослідження у галузі енергозберігаючих технологій демонструють доцільність використання сонячних систем живлення на транспорті.

Аналіз досліджень та публікацій

Першим серійним автомобілем, який використовує сонячну енергію, є гібридний автомобіль Toyota Prius корпорації Toyota Motor Corporation (Японія). В якості опції на останню модифікацію Toyota Prius можна

встановити сонячну батарею. Сонячна фотоелектрична панель загальною потужністю 250 Вт розташована на даху автомобіля та призначена для забезпечення енергією системи вентиляції та кондиціонування повітря у салоні. ККД фотоелектричного перетворювача автомобіля Toyota Prius Solar складає 16,5 %. До речі, ККД найбільш розповсюджених фотоелектричних перетворювачів складає 9 – 24 %. В окремих лабораторіях отримано сонячні елементи з ефективністю 43 %. У січні 2011 р. надійшли на ринок сонячні елементи з ККД 39 %. Завдяки втіленню екологічно чистих та енергозберігаючих технологій у автомобіля Toyota Prius Solar підвищується рівень комфорту та знижується витрата палива [1].

Мета і постановка задачі

Метою даного дослідження є підвищення екологічної чистоти та економічної ефективності автотранспортних засобів за рахунок втілення в базовий автотранспортний засіб енергозберігаючих технологій на базі фотоелектричних перетворювачів.

Завданнями дослідження є аналіз доцільності використання сонячних систем на автотранспортних засобах, розробка структурної схеми системи електроживлення на сонячних батареях для електромобіля або гібридного автомобіля, розробка методики розрахунку ефективності цієї системи та розрахунок відстані, яку може подолати автомобіль на сонячній енергії у кліматичній зоні Харкова.

Сонячна система електроживлення автомобіля

Стандартна сонячна система електроживлення споживачів постійного та змінного струму має структуру, зображену на рис. 1.

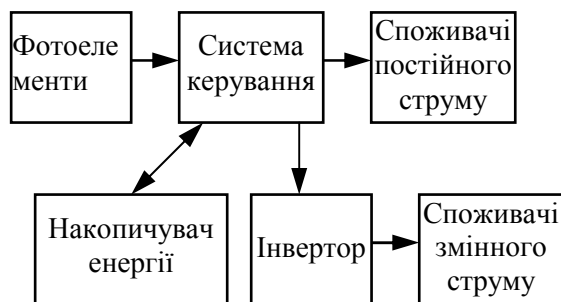


Рис. 1. Схема структурної системи електроживлення на фотоелементах

Розглянемо більш докладно кожен з елементів сонячної системи живлення автотранспортного засобу. Фотоелемент – електронний прилад, що перетворює енергію фотонів в електричну енергію. Найбільш ефективним пристроєм для перетворення сонячної енергії в електричну є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі.

Інвертор – електронний пристрій для перетворення постійного струму в змінний зі зміною величини напруги. Як правило, інвертори гібридних автомобілів або електромобілів підвищують постійну напругу високовольтних акумуляторних батарей. Наприклад, інвертор гібридного автомобіля Lexus GS450h перетворює напругу акумуляторної батареї 288 В постійного струму у змінну трифазну 650 В для ефективного живлення тягових електричних двигунів [2].

Як накопичувачі енергії в екологічно чистих транспортних засобах можна використовувати електрохімічні акумулятори енергії (акумуляторні батареї) або суперконденсатори (іоністори). Енергія, що зберігається у накопичувачі, дозволяє виконувати свої функції автотранспортному засобу навіть за нульового рівня опромінювання сонячної енергії. В сучасних електромобілях та гібридних автомобілях застосовуються, як правило, високовольтні енергоємні літій-іонні акумуляторні батареї, для яких розроблені спеціальні системи керування [3].

Система керування літій-іонними акумуляторними батареями BMS (Battery Management System) ставиться на кожен акумуляторний елемент у батареї для керування процесом заряд-розряд. Система керування BMS являє собою електронний прилад, який визначає:

- напругу на елементі;
- температуру: середню температуру, температуру охолоджувальної рідини на вході та виході, температуру елемента;
- поточний стан заряду (SOC) або глибину розряду (DOD), щоб вказати реальний рівень заряду батареї на даний час;
- загальний стан (SOH), який характеризує ступінь деградації елемента, вимірюється у % (під час виробництва SOH батареї складає 100 % і буде зменшуватися із плином часу і під впливом умов використання);
- кількість циклів заряд/розряд;

– оцінку ймовірності виходу з ладу акумуляторного елемента.

Система керування батареєю BMS обчислює такі величини:

- максимальний струм заряду (CCL);
- максимальний струм розряду (DCL);
- енергію, що поставляється у навантаження з останньої зарядки;
- сумарну енергію, що поставляється з першого використання;
- загальний час роботи з моменту першого використання.

Системи керування батареєю BMS можуть повідомляти про всі наведені вище дані на зовнішні контролювальні та діагностичні пристрої електромобілів та гібридних автомобілів, використовуючи такі канали зв'язку:

- прямий монтаж;
- послідовну передачу даних по CAN-шині, яка найбільш часто використовується в сучасних електричних системах та комплексах автотранспортних засобів;
- послідовний зв'язок по DC-шині потужності;
- бездротовий зв'язок.

Для визначення доцільності використання фотоелектричних перетворювачів на транспортних засобах, що експлуатуються у кліматичній зоні України, необхідно проаналізувати рівень опромінювання поверхні сонячною радіацією (інсоляцію) за регіонами країни. Середньомісячні дані денного рівня сонячної радіації у різних містах України наведено у табл. 1 (за даними NASA) [4].

Таблиця 1 Середній денний рівень сонячної радіації за місяцями у різних містах України

Регіони	Середній денний рівень сонячної радіації за місяцями, кВт·год/м ² /день												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	середній
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпропетровськ	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кіровоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

При проведенні розрахунку приймемо, що максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на земну поверхню складає 1000 Вт/м². Це означає, що на площу 1 м² за 1 год випромінюється сонячна енергія 1000 Вт·год. Для розрахунку доцільності використання фотоелектричних перетворювачів на автотранспортних засобах, які

експлуатуються, наприклад, у місті Харків, визначимо умовну кількість пікових годин на місяць у цьому регіоні, протягом яких електромагнітне випромінювання сонця має максимальну інтенсивність

$$n = \frac{E \cdot N_m \cdot 1000}{w_{\max}}, \quad (1)$$

де n – кількість пікових годин на місяць, год;
 E – середній денний рівень сонячної радіації за місяцями та регіонами (див. табл. 1), кВт·год/м²/день; N_m – кількість днів у відповідному місяці; $w_{\max}$ – максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на земну поверхню, Вт/м².

Наприклад, у Харкові у травні умовна кількість пікових годин складає 166,78 год, що є відносно задовільним показником сонячного випромінювання.

Проведемо розрахунок енергії, яку можна використовувати завдяки застосуванню системи електроживлення на фотоелементах гібридного автомобіля Toyota Prius Solar. Сонячний модуль протягом обраного періоду часу виробить електричну енергію

$$W = k \cdot n \cdot P_M, \quad (2)$$

де W – кількість енергії, що може накопичити система електроживлення на фотоелементах за рахунок сонячного випромінювання, Вт·год; k – поправочний коефіцієнт, що враховує зниження рівня опромінювання фотоелементів залежно від кута падіння сонячного випромінювання та падіння потужності фотоелементів у результаті нагрівання (влітку $k = 0,5$; взимку $k = 0,7$); P_M – потужність фотоелементів, Вт.

У Харкові у травні система електроживлення на фотоелементах гібридного автомобіля Toyota Prius Solar може виробити до 20,8 кВт·год.

За рік експлуатації автомобіля Toyota Prius Solar сонячний модуль може виробити електричної енергії

$$W = \sum_{i=1}^{12} k \cdot n \cdot P_M. \quad (3)$$

Для широт Харківської області це складає більше 132 кВт·год. Якщо цю енергію накопичувати у високовольтній акумуляторній батареї, то її вистачить для подолання на електричній тязі відстані S , км

$$S = \frac{W \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{д}}}{k_E \cdot m_{\text{авто}}}, \quad (4)$$

де $\eta_{\text{п}}$, $\eta_{\text{д}}$ – відповідно ККД перетворювача напруги та ККД тягового електричного двигуна, $\eta_{\text{п}} = 0,9$; $\eta_{\text{д}} = 0,96$; k_E – питоме споживання енергії, у міських умовах руху $k_E = 0,15 - 0,2$ Вт·год/кг·км; $m_{\text{авто}}$ – маса автомобіля, споряджена маса автомобіля Toyota Prius Solar $m_{\text{авто}} = 1380$ кг.

Відстань, яку здатен подолати автомобіль із системою електроживлення на фотоелементах потужністю 250 Вт при його експлуатації в міських умовах руху Харкова, за рахунок сонячної енергії може складати до 550 км на рік.

Висновки

Визначено доцільність використання системи живлення транспортних засобів на фотоелектричних перетворювачах. Розроблено методику розрахунку ефективності використання цієї системи. Для умов міста Харкова розраховано умовну кількість пікових годин (166,78 год), кількість енергії, що може накопичити система електроживлення на фотоелементах потужністю 250 Вт за рахунок сонячного випромінювання (більше 132 кВт·год на рік), відстань, яку здатен подолати автомобіль типу Toyota Prius на цій енергії (550 км/рік). Але сонячна система живлення автомобіля Toyota Prius Solar поки що не може заряджати високовольтних акумуляторних батарей, а лише забезпечує енергією систему вентиляції та кондиціонування повітря у салоні.

Література

1. <http://www.toyota.com>.
2. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі: моногр. / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков та ін. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 328 с.
3. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика: моногр. / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Дванденко. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
4. <http://energetics.com.ua>.

Рецензент: О.П. Алексієв, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 23 квітня 2012 р.