

УДК 519.673

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ З КОМБІНОВАНИМИ РЕЖИМАМИ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ

Гуртовий М.Ю., Попов С.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

У даній статті розглянуті питання, що пов'язані із моделюванням електромобіля (ЕМ) з комбінованими режимами енергоживлення. Запропоновано математичну модель ЕМ, в основі якої лежить алгоритм розділення потужності між тяговою акумуляторною батареєю та блоком суперконденсаторів в системі енергоживлення ЕМ. Розроблено метод пошуку оптимальних значень швидкості руху електромобіля та ємності акумуляторної батареї за критерієм максимуму дальності пробігу. Приведені результати моделювання дальності пробігу, терміну служби тягової акумуляторної батареї та значення оптимальних параметрів швидкості руху та ємності тягової акумуляторної батареї. Результати можуть бути застосовані для розробки нових систем енергоживлення ЕМ.

Ключові слова: метод поділу споживаної потужності, математична модель, метод пошуку оптимальних значень, електромобіль з комбінованими режимами енергоживлення, суперконденсатор, дальність пробігу.

Постановка проблеми. У зв'язку з посиленням вимог до збереження природних ресурсів все більше уваги приділяється підвищенню ефективності і надійності систем розподілу енергії. Побудова систем енергоживлення в великій мірі визначається режимом споживання енергії (повторно-короткочасним або безперервним). Якщо тривалість включення навантаження становить від кількох секунд до кількох хвилин, то для згладжування пульсацій струму в періоди підвищеного споживання можна використовувати суперконденсатори.

Протягом багатьох років системи енергоживлення електромобілів (ЕМ) будувалися на основі акумуляторних батарей (АКБ), головним чином через їхню відносно дешевизну. Істотними недоліками АКБ залишаються: необхідність обслуговування, заміни та невисока надійність. Необхідність зміни даних властивостей привела до розвитку нових і використання, в тому числі, незаслужено забутих старих технологій, зокрема суперконденсаторів (СК). Останні, в свою чергу, взяли на себе (частково або повністю) функції, раніше властиві АКБ.

Моделювання електромобілів направлено на розуміння механізмів дії системи енергоживлення при різноманітних сценаріях водіння ЕМ та передбачуваний виграш в таких сферах і випадках, як збільшення пробігу, зниження маси основного накопичувача енергії, його об'єму, продовження його терміну служби або усунення потреби в холодному пуску для автомобілів.

На сучасному етапі розроблені методи керування доступною енергією і енергоживленням ЕМ, які застосовують апріорну інформацію щодо вимог по потужності транспортного засобу [1, с. 433; 2 с. 85; 3 с. 2681-2690; 4 с. 23-28; 5 с. 2147-2150]. Ці методи надають засоби для визначення максимального поліпшення в плані енергоефективності та продуктивності транспортного засобу. У прагненні використовувати дані, отримані з карт, маршрутів і GPS координат, знаходять застосування методи машинного навчання. Більшість сучасних методів вимагає громіздких обчислень, що не гарантує достатньо високу експлуатаційну надійність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. По результатам експлуатації ЕМ на базі легкових автомобілів, що представлені в роботі [2, с. 85-87], були

зроблені висновки щодо доцільності їх застосування в міських умовах. Результати робіт, що містять математичні моделі ЕМ, явно дають підстави для подальших досліджень у цій області, оскільки, незважаючи на значний внесок, не було зроблено спроби пройти весь процес реалізації системи у вигляді математичної моделі. В роботах [3, с. 2681-2690; 4, с. 23-28] струм АКБ було зменшено на 70% і 50% відповідно, що зберегло термін служби АКБ, але точне обчислення числа циклів було за межами досліджень цих та наступних робіт. Недоліком експерименту роботи [5, с. 2147-2150] є порівняно невелика дистанція для тестування, в рамках якої пробіг було збільшено на 28%.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У залежності від призначення і областей застосування електромобільного транспорту параметри ЕМ і вимоги до них істотно розрізняються. Також зазначається, що існують значні можливості удосконалення енергосистеми міського ЕМ, що дозволять зменшити її вагу та збільшити віддачу енергії. Тому задача аналізу та моделювання параметрів та характеристик ЕМ з комбінованими режимами енергоживлення залишається важливою і цікавою для автовиробників. Виходом у цій ситуації може стати застосування методу пошуку оптимальних значень швидкості руху ЕМ з комбінованими режимами енергоживлення і ємності АКБ за критерієм максимуму дальності пробігу.

Таким чином, на сьогоднішній день актуальною є задача розробки математичної моделі електромобіля з комбінованими режимами енергоживлення, яка включала б у себе алгоритм моделювання дальності пробігу ЕМ в стандартному циклі водіння і дозволила б досліджувати зміну дальності пробігу і терміну служби АКБ.

Мета статті. Метою роботи є розробка нової математичної моделі електромобіля з комбінованими режимами енергоживлення для дослідження можливості збільшення дальності пробігу ЕМ та визначення терміну служби АКБ, а також розробка методу пошуку оптимальних значень швидкості руху ЕМ та ємності АКБ за критерієм максимуму дальності пробігу.

Постановка задач. Досягнення поставленої мети здійснюється шляхом вирішення таких основних задач:

- аналіз існуючих моделей та методів проектування систем енергозабезпечення ЕМ;
- вдосконалення математичної моделі ЕМ з комбінованими режимами;
- створення методу пошуку оптимальних значень швидкості руху ЕМ та ємності АКБ за критерієм максимуму дальності пробігу.

Методи дослідження. Для вдосконалення математичної моделі будемо використовувати обчислювальний експеримент. Метод регресійного аналізу та теорію оптимізації застосуємо для створення методу пошуку оптимальних значень.

Основні результати. Для порівняльного аналізу різних конструктивних рішень на основі обчислювальних експериментів виникає потреба в ідентифікації математичної моделі тягової АКБ, придатної для дослідження впливу конструктивних особливостей на енергетичний баланс силової установки з урахуванням рекуперації кінетичної енергії гальмування.

Завдання порівняльного аналізу різних конструктивних рішень автомобільних силових установок, що включають в себе електродвигун (ЕД) і тягову АКБ, на основі обчислювального експерименту створює ряд особливостей при синтезі моделей. Наприклад, питання, пов'язані з точністю опису багатьох фізико-хімічних процесів, які супроводжують заряд і розряд, виявляються несуттєвими.

При моделюванні режимів роботи акумуляторної батареї електромобіля важливим є вплив струму розряду на ємність АКБ. При великих токах вельми застосовною є модель Пекерта.

Спочатку визначається ємність, яка називається ємністю Пекерта, згідно з рівнянням (1)

$$C_p = I^k \cdot T, \quad (1)$$

де k – експонента Пекерта, для свинцово-кислотної АКБ $k = 1,2$. Передбачається, що АКБ розряджається постійним струмом I протягом T годин. ємність Пекерта C_p еквівалентна ємності в А · год для розряду АКБ струмом в 1 А.

Співвідношення для визначення відданої та забезпечуваної енергії АКБ мають вигляд:

$$CR_{n+1} = CR_n - \frac{\delta t \cdot I^k}{3600}, \quad (2)$$

$$CS_{n+1} = CS_n + \frac{\delta t \cdot I}{3600}, \quad (3)$$

де CR_n – віддана ємність АКБ у навантаження, А · год; CS_n – забезпечувана ємність АКБ, А · год; δt – крок за часом, с; I – струм розряду, А [6, с. 59].

Як показано в роботі [6, с. 59], глибина розряду АКБ DoD_n є відношенням відданої ємності до ємності Пекерта C_p :

$$DoD_n = \frac{CR_n}{C_p} \quad (4)$$

Значення DoD використовується для того, щоб знайти напругу холостого ходу АКБ E , яка може привести до знаходження дійсної напруги на клеммах АКБ. На рис. 1 наведені результати моделювання відповідно до рівнянь (1-4). Отримані характеристики добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень АКБ Ford.

Таким чином математична модель дозволяє досліджувати взаємодію ЕД і АКБ і вплив конструктивних особливостей на енергетичний баланс силової установки електромобіля. Дані дослідження необхідні при проведенні аналізу

конструктивних рішень на підставі обчислювального експерименту, а саме визначення ефективності силової установки електромобіля по відношенню до дальності пробігу.

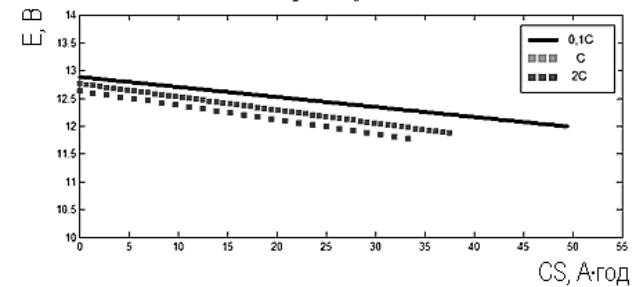


Рис. 1. Результат моделювання розрядної характеристики свинцово-кислотної АКБ номінальною ємністю 43 А · год при $m = 6$

Джерело: розроблено авторами за даними [6]

Узагальнена принципова схема спільної роботи акумуляторної батареї і суперконденсатора (СК) в спрощеному вигляді показана на рис. 2.

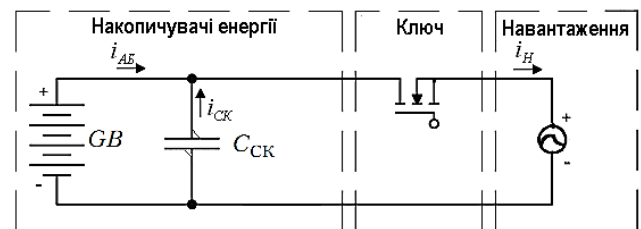


Рис. 2. Узагальнена принципова схема спільної роботи акумуляторної батареї і суперконденсатора

Джерело: [7]

Струм розряду АКБ та СК для схеми наведеної вище схеми записуються на основі законів Кірхгоффа:

$$i_{СК} + i_{АКБ} = i_{Н}, \quad (5)$$

$$v = v_{СК} + i_{СК} \cdot R_{СК} = v_{АКБ} - i_{АКБ} \cdot R_{АКБ}, \quad (6)$$

$$i_{СК} = -C_{СК} \cdot \frac{\partial v_{СК}}{\partial t}, \quad (7)$$

де $v_{СК}$ та $v_{АКБ}$ – напруга на СК і АКБ відповідно; $R_{СК}$ і $R_{АКБ}$ – внутрішній опір СК та АКБ (на рисунку не показані). Підставивши рівняння (5) і (7) в (6), отримаємо диференціальне рівняння для напруги на зажимах СК:

$$\frac{\partial v_{СК}}{\partial t} + \alpha \cdot v_{СК} = \alpha \cdot v_{АКБ} + \beta \cdot i_{Н}, \quad (8)$$

де

$$\alpha = \frac{1}{C_{СК} \cdot (R_{АКБ} + R_{СК})}, \quad \beta = -\frac{R_{АКБ}}{C_{СК} \cdot (R_{АКБ} + R_{СК})}. \quad (9)$$

Рішенням рівняння (9) є наступний вираз:

$$v_{СК} = Ke^{-\alpha t} + v_{АКБ} + \beta e^{-\alpha t} \int i_{Н} e^{\alpha t} dt, \quad (10)$$

де K – коефіцієнт, що визначається установкою початкового значення напруги $v_{СК}$ рівній напрузі $v_{АКБ}$ [7].

Кількісний аналіз струмів, що відбираються від АКБ і СК показав, що величина струму $i_{АКБ}$ завжди більше значення $i_{СК}$ (як в миттєвому, так і в середньому значеннях). Таким чином, очевидно, що безпосереднє з'єднання СК і АКБ практично не вирішує проблему зниження навантаження на АКБ в навантажених режимах роботи, а якщо знижує, то дуже незначно. Більш доцільно рознести в часі розряд СК і АКБ.

За основу для побудови математичної моделі електромобіля з комбінованими режимами енергозабезпечення була взята відома модель традиційного ЕМ виробництва компанії General Motors. Враховуючи, той факт, що в розрахункових режимах міських електромобілів має місце зміна рівнів потужності в режимі пуску ЕМ і при його русі з усталеною швидкістю, при моделюванні було прийнято, що комбінована енергоустановка працює таким чином:

1) при рівномірному русі електромобіля єдиним джерелом енергії є акумуляторні батареї;

2) при розгоні електромобіля потужність до коліс підводиться тільки від суперконденсатора; для внутрішньоміського ЕМ у разі повторного прискорення після набору постійної швидкості джерелом енергії є акумуляторні батареї, тому що це пов'язано з певним обмеженням, що накладається на відношення маси гібридної енергоустановки до маси самого ЕМ; у разі реалізації комбінованої енергоустановки для електробуса та вантажного ЕМ при повторному прискоренні після набору постійної швидкості єдиним джерелом енергії є блок СК;

3) при гальмуванні електромобіля кінетична енергія руху рекуперується в СК, акумулятор не бере участі в процесі рекуперації;

4) при зниженні запасу енергії СК до критичного рівня відбувається його повна зарядка постійною потужністю від акумуляторів.

Запропонована стратегія поділу потужності заснована на такому важливому параметрі управління, як споживана і видавана потужність ЕД P_{mot} , і описана в [8, с. 130].

У табл. 1 наведені усереднені за цикл водіння SFUDS (Simplified Federal Urban Schedule) результати моделювання ЕМ з комбінованими режимами енергоживлення для трьох методів поділу потужності.

У першому методі управління був застосований принцип частотної фільтрації. Управління здійснюється через миттєві значення напруги шини постійного струму, як зазначено в роботі [9, с. 144]. Електроенергія, що виробляється при гальмуванні, використовується для зарядки СК.

В результаті моделювання струм АКБ був згладжений фільтром ВЧ. Недоліком методу є наявність втрат на частотах, що нижче частоти відсічки фільтра. У зв'язку з цим, фільтр ВЧ буде мати надійні робочі характеристики у невеликій кількості випадків. Прикладом може бути фільтрація високочастотної складової струму АКБ, у якій є великий проміжок між високочастотною пульсацією і більш низькими частотними складовими.

У роботі [10, с. 806] було розглянуто регулювання напруги шини постійного струму. СК застосовується під час сплесків потужності або рекуперації енергії. Система управління (СУ) генерує сигнали для обох накопичувачів енергії. У свою чергу, СУ пов'язана з DC-DC перетворювачами напруги через ЦАП і АЦП інтерфейсної плати.

I-регулятор застосований як регулятор напруги на СК, що також забезпечує відсутність статичної помилки. III-регулятор напруги шини постійного струму генерує сигнал опорної потужності. Застосування алгоритму для регуляції напруги на СК має явну перевагу перед першим методом, яка зводиться до неможливості виходу напруги за межі.

Як видно із табл. 1, запропонований метод управління має перевагу перед іншими.

Таблиця 1

Порівняння методів поділу потужності

№	Метод	Потужність заряду СК, Вт	Усереднений піковий струм АКБ, А
1	Лінійний фільтр	0	105
2	III-регулятор	1600	66
3	Запропонований метод	0	51

Застосовуючи розроблений алгоритм стало можливим отримати підвищення терміну служби АКБ. Виходячи з того, що ЕМ проїжджає стандартний цикл SFUDS за один день, спочатку були отримані такі параметри, як число циклів заряду-розряду АКБ, що залишилися N_{cif} , а потім обчислено термін служби CC_{AKB} АКБ. Для прогнозування терміну служби АКБ підраховують відпрацьовані цикли розряду. В основному, виробники наводять дані про кількість циклів, які може витримати АКБ при розряді до певної глибини розряду DoD . Далі був визначений термін служби АКБ за допомогою метода «rainflow», як показано в роботі [11, с. 31-40]. Результати моделювання зведені в табл. 2.

Результати моделювання для циклу SFUDS (Simplified Federal Urban Schedule), NEDC (New European Driving Cycle), циклу з розгоном до швидкості 50 км/год і реального циклу водіння зведені в табл. 3. Ці цикли водіння розрізняються за манерою водіння (низькошвидкісне або агресивне водіння) і за кількістю «старт-стопів».

Як впливає з табл. 3, дальність пробігу в розробленій моделі зростає в циклі водіння SFUDS, циклі з розгоном до швидкості 50 км/год і реаль-

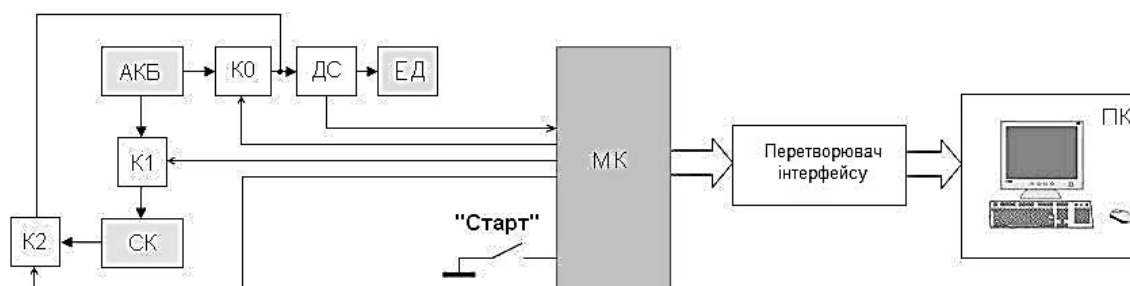


Рис. 3. Структурна схема стенда: МК – мікроконтролер; ПК – персональний комп'ютер; СК – суперконденсатор; АКБ – акумуляторна батарея; К0, К1, К2 – електронні комутатори; ДС – давач струму; ЕД – електродвигун

Джерело: розроблено авторами

ному циклі, що пов'язано з обмеженням максимального струму розряду АКБ. Незначне збільшення дальності пробігу в циклі NEDC пов'язано з недостатньою кількістю енергії, що зберігається в СК. Це, в свою чергу, пов'язано з обмеженнями, накладеними на масу гібридного накопичувача енергії.

Таблиця 2

Результати моделювання із застосуванням двох моделей

№	Модель ЕМ	Маса АКБ, кг	СС _{АКБ} , років	Об'єм АКБ, м ³	Дальність пробігу, км
1	Вихідна модель	594	1,6	0,19	180
2	Запропонована модель	504	2,5	0,16	194

Таблиця 3

Результат моделювання

№	Цикл водіння	Дальність пробігу, км	
		Вихідна модель	Запропонована модель
1	SFUDS	180	194
2	NEDC	11,02	11,79
3	Цикл з розгоном до швидкості 50 км/год	90	104,4
4	Реальний цикл	65,1	74,95

Далі проведемо імітаційне моделювання запропонованої моделі за допомогою стенда, що показаний на рис. 3. Розглянемо результати моделювання за такими параметрами: віддана енергія АКБ в навантаження CR , напруга на клеммах АКБ і струм АКБ. В цілому, форма і амплітуда струму АКБ повторюються для обох експериментів (рис. 4). Флуктуації напруги АКБ більш помітні в стенді, тому що струмове навантаження на АКБ більше, а її ємність трохи менше ємності в моделі ЕМ.

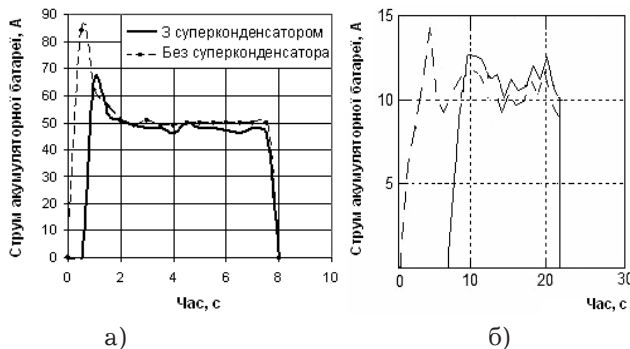


Рис. 4. Часові діаграми струму АКБ:
а) експериментальні данні;
б) результат моделювання

Джерело: розроблено авторами

Порівняльна оцінка відданої в навантаження енергії CR для всіх експериментів за один цикл водіння SFUDS показана на гистограмі (рис. 5). Як випливає з рис. 5, в обчислювальному експерименті досягається більше збереження заряду АКБ. Це пов'язано з ємністю СК, що моделюється, і масштабом самого випробувального стенду (його енергоємністю і струмовим навантаженням).

Для того, щоб знайти вплив параметрів ємності АКБ C і швидкості руху v на дальність про-

бігу ЕМ з гібридною системою живлення d , проводилися імітаційні експерименти з фіксованим СК і свинцево-кислотними акумуляторами різної ємності. Алгоритм моделювання та вихідні дані наведені в роботі [12, с. 100]. У ході експериментів був отриманий масив вихідних даних (МВД) для подальшої оптимізації.

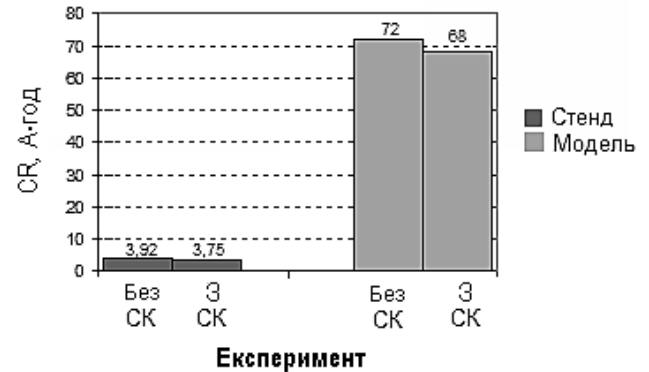


Рис. 5. Порівняльна оцінка відданої в навантаження енергії АКБ CR за один цикл водіння SFUDS

Джерело: розроблено авторами

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 28 & 32 & 35 & 43 & 45 & 55 \\ 10 & 32 & 36 & 40,5 & 50,5 & 52,5 & 63,4 \\ 20 & 47,8 & 56 & 60,1 & 75,6 & 79,3 & 95,5 \\ 30 & 51,7 & 60,1 & 65,1 & 79,3 & 84,3 & 100 \\ 40 & 44,8 & 49,4 & 54,4 & 69 & 72,4 & 84,3 \\ 50 & 44 & 49,8 & 54 & 64 & 67,8 & 80,2 \\ 70 & 36 & 47,8 & 47,8 & 56,3 & 59 & 74,4 \\ 90 & 28,7 & 32,2 & 36 & 46,7 & 46,7 & 57,4 \\ 100 & 23,7 & 28 & 32 & 40,5 & 40,5 & 52,2 \\ 129 & 15,5 & 15,5 & 20,6 & 20,6 & 20,6 & 36,2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Дослідження залежності $d = f(C, v)$ проводилося на основі рівняння регресії 6-го порядку (12):

$$\bar{d}_i = 4,626 - 1,41v + (4,54 \cdot 10^{-2})v^2 + (-4,98 \cdot 10^{-4})v^3 + (1,76 \cdot 10^{-6})v^4 + (1,42 \cdot 10^{-13})v^5 + (1,56 \cdot 10^{-1})C + (9,44 \cdot 10^{-2})vC + (-2,63 \cdot 10^{-3})v^2C + (2,3 \cdot 10^{-5})v^3C + (-8,84 \cdot 10^{-8})v^4C + (-9,87 \cdot 10^{-15})v^5C. \quad (12)$$

Довірковий інтервал по t-критерію Стьюдента для вищезазначеного рівняння склав 1,3%.

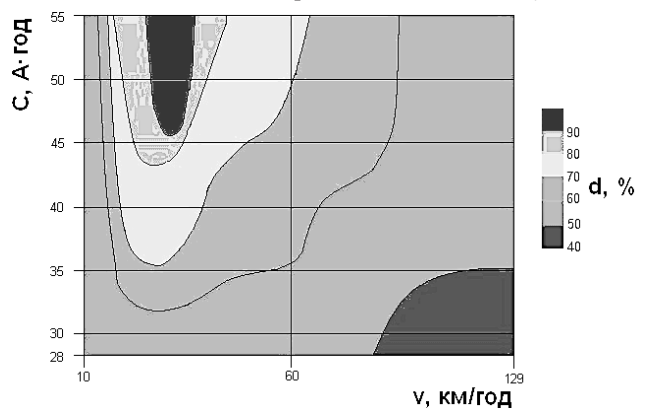


Рис. 6. Проекція цільової функції на площину $C-v$

Джерело: розроблено авторами

Далі була побудована проекція цільової функції на площину $C-v$, яка показана на рис. 6. Проекції траєкторії пошуку оптимальної точки на

площини $C-v$, $d-v$ і $d-C$ наведені на рис. 7. З наведених графіків випливає, що оптимальне значення параметрів C і v за критерієм максимуму параметра d складають $55 \text{ A} \cdot \text{год}$ і 30 км/ч .

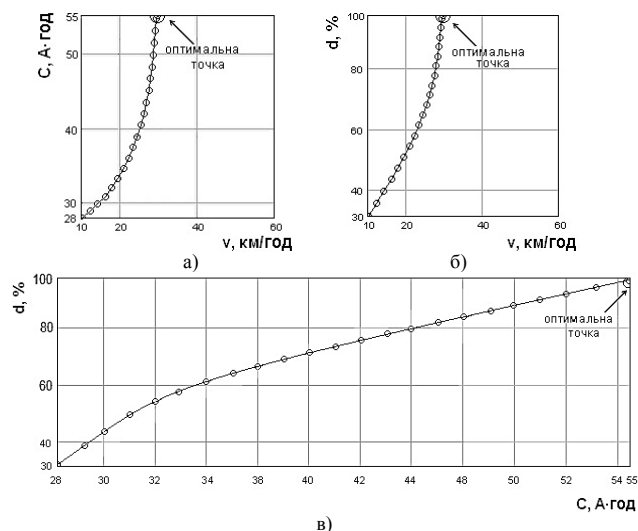


Рис. 7. Траєкторії пошуку оптимальної точки:
 а) залежність C від v ; б) залежність d від v ;
 в) залежність d від C

Джерело: розроблено авторами

Надмірне збільшення батареї зменшує вантажопідйомність ЕМ і збільшує вартість перевезення повного тонно-кілометра. Навпаки, надмірне зменшення батареї (отже, і пробігу) знижує вартість перевезення повного тонно-кілометра порівняно ненабагато. При цьому батарея під-

дається посиленому розряду, так як та ж сила струму (визначається умовами дороги і руху) дається тепер батареї меншої ємності. Звідси випливає, що надмірне зниження маси батареї також недоцільно.

Висновки. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. На сучасному етапі розроблені методи управління доступною енергією і енергоживленням, які застосовують апріорну інформацію щодо вимог по потужності транспортного засобу. Ці методи надають засоби для визначення максимального поліпшення в плані енергоефективності та продуктивності транспортного засобу.

2. Удосконалено математичну модель електромобіля з комбінованими режимами енергоживлення за рахунок запропонованого авторами метод поділу споживаної потужності електромобіля. Ця модель дозволяє ефективно визначати дальність пробігу, глибину розряду АКБ, ступінь зарядженості СК і ще ряд параметрів (прискорення, напруження на клеммах СК, крутний момент). На відміну від існуючих методів, застосування запропонованого методу дозволяє максимально згладити струм АКБ, підвищити дальність пробігу ЕМ до чергової підзарядки на 16% в стандартному циклі водіння і продовжити термін служби АКБ в системі енергоживлення ЕМ майже на один рік експлуатації.

3. Запропоновано метод пошуку оптимальних значень швидкості руху ЕМ і ємності АКБ за критерієм максимуму дальності пробігу. При цьому було застосовано метод регресійного аналізу з метою ефективного налаштування параметрів рівнянь, що зв'язують параметри швидкості руху ЕМ і ємності АКБ.

Список літератури:

- Zandi M. Energy management of a fuel cell/supercapacitor/battery power source for electric vehicular applications [Текст] / M. Zandi, A. Payman, J.-P. Martin, B. Davat, F. Meibody-Tabar // IEEE Trans. On Vehicular Technology. – 2011, vol. 60, № 2, pp. 433-443.
- Giessler M. Converted vehicle for battery electric drive: Aspects on the design of the software-driven vehicle control unit [Text]: Proceedings of the 2nd International Energy Efficient Vehicles Conference, Dresden, June 18-19, 2012, pp. 85-97.
- Payman A. Energy management in a fuel cell/supercapacitor multisource/multiload electrical hybrid system [Text] / A. Payman, S. Pierfederici, F. Meibody-Tabar // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2009. – Vol. 24, Issue 12. – P. 2681-2690.
- Xiong R. Study on ultracapacitor-battery hybrid power system for PHEV applications [Text] / R. Xiong, H. He, Y. Wang, X. Zhang // High Technology Lett. – 2010. – Vol. 16. – P. 23-28.
- Ortuzar M. Ultracapacitor-based auxiliary energy system for an electric vehicle: Implementation and evaluation [Текст] / M. Ortuzar, J. Moreno, J. Dixon // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2007. – Vol. 54, № 4, pp. 2147-2156.
- Larminie J. Electric vehicle technology explained [Text] / J. Larminie, J. Lowry. – John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2003. – 296 p.
- Effectiveness of battery-supercapacitor combination in electric vehicles [Електронний ресурс] / http://www.elkraft.ntnu.no/eno/Papers2009/EVS24_final_paper-giuseppe.pdf – 20.02.2016 г. – Заг. з екрану.
- Гуртовий М. Ю. Удосконалення математичної моделі електромобіля з комбінованими режимами енергоживлення [Текст] / М. Ю. Гуртовий, С. В. Попов // Матеріали 2-ої міжнародної науково-практичної конференції «Наука України: проблеми сьогодення та перспективи розвитку», Київ, 25-26 вер. 2015 р. – К., 2015. – С. 130.
- Awerbuch J. J., Sullivan C. R. Control of Ultracapacitor-Battery Hybrid Power Source for Vehicular Applications [Text] / J. J. Awerbuch, C. R. Sullivan // Proceedings of the IEEE Conference on Global Sustainable Energy Infrastructure: Energy 2030, Atlanta, 17-18 November, 2008, pp. 143-150.
- Thounthong P. Control strategy of fuel cell/supercapacitors hybrid power sources for electric vehicle [Text] / P. Thounthong, S. Rael, B. Davat // Journal of Power Sources. – 2006. – № 158. – Pp. 806-814.
- Downing S. D. Simple rainfall counting algorithms [Text] / S. D. Downing, D. F. Socie // International Journal of Fatigue. – 1982. – Vol. 4, Issue 1. – P. 31-40.
- Kuzemin O. Estimation of the Optimal Length of Run of Electromobile Taking Into Account its Main Parameters [Text] / O. Kuzemin, M. Slipchenko, V. Pismenetskiy, M. Gurtoviy // Proceedings of the 3rd International Conference on Energy Efficient Vehicles, «New concepts and solutions for energy efficient vehicles of tomorrow and their integration in the energetic infrastructure» (ICEEV 2014), Dresden, 24-25 June, 2014, pp. 100-108.

Гуртовой М.Ю., Попов С.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ С КОМБИНИРОВАННЫМИ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОПИТАНИЯ

Аннотация

В данной статье рассмотрены вопросы, связанные с моделированием электромобиля (ЭМ) с комбинированными режимами энергоснабжения. Предложена математическая модель ЭМ, в основе которой лежит алгоритм разделения мощности между тяговой аккумуляторной батареей и блоком суперконденсаторов в системе энергоснабжения ЭМ. Приведены результаты моделирования дальности пробега, срока службы тяговой аккумуляторной батареи и значения оптимальных параметров скорости движения и емкости тяговой аккумуляторной батареи. Разработан метод поиска оптимальных значений скорости движения электромобиля и емкости аккумуляторной батареи по критерию максимума дальности пробега.

Ключевые слова: метод разделения потребляемой мощности, математическая модель, метод поиска оптимальных значений, электромобиль с комбинированными режимами энергоснабжения, суперконденсатор, дальность пробега.

Gurtovyi M.Yu., Popov S.V.

Kharkiv National University of Radio Electronics

MODELLING AND OPTIMIZATION OF ELECTRIC VEHICLE'S PARAMETERS WITH COMBINED ENERGY SUPPLY MODES

Summary

This article describes issues related to the simulation of electric vehicle (EV) with combined mode power supply. The mathematical model of EV was developed, which is based on an algorithm of the separation of power between the traction battery and the power supply unit of supercapacitors in the EM system. The results of the simulation of the driving range, the length of life of the traction battery and the value of the optimal parameters of the speed and capacity of the traction battery are given. The method of finding the optimal values of the velocity and battery capacity of the EV with combined energy supply modes by the maximum driving range criterion was proposed.

Keywords: method of separation of power consumption, mathematical model, method of finding the optimal values, electric vehicle with the combined modes of power supply, supercapacitor, driving range.