

УДК 62-83

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОНДЕНСАТОРНОЇ БАТАРЕЇ АВТОНОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

В. А. Войтенко, В. А. Водічев

Одеський національний політехнічний університет

просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна. E-mail: radist_89@bk.ru, emsku@ukr.net

Розглядається спрощена функціональна схема тягового електроприводу електротранспортного засобу, що складається з автономного бортового джерела живлення, перетворювача напруги і мотор-колеса. Досліджується автономне джерело живлення і конденсаторна батарея великої ємності, в якій накопичується електрична енергія, що генерується мотор-колесами при гальмуванні електромобіля. Отримано формулу, яка дозволяє визначити кількість конденсаторів, що входять до складу конденсаторної батареї. Пропонується методика визначення параметрів конденсаторної батареї та оптимізації її маси, об'єму й вартості.

Ключові слова: енергія, ємність, конденсатори, бортове джерело.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕИ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

В. А. Войтенко, В. А. Водичев

Одесский национальный политехнический университет

просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина. E-mail: radist_89@bk.ru, emsku@ukr.net

Рассматривается упрощенная функциональная схема тягового электропривода электротранспортного средства, состоящего из автономного источника питания, преобразователя напряжения и мотор-колеса. Исследуется автономный источник питания и конденсаторная батарея большой емкости, в которой накапливается электрическая энергия, генерируемая мотор-колесами при торможении електромобіля. Получена формула, позволяющая определить количество конденсаторов, которые входят в состав конденсаторной батареи. Предлагается методика определения параметров конденсаторной батареи и оптимизации ее массы, объема и стоимости.

Ключевые слова: энергия, ёмкость, конденсаторы, бортовой источник.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Однією з переваг електротранспортного засобу (ЕТЗ) є можливість перетворення кінетичної енергії його руху в електричну енергію й накопичення її в бортовому джерелі живлення (БДЖ) з метою подальшого використання під час руху ЕТЗ. Оскільки струм, що надходить у БДЖ при гальмуванні ЕТЗ, може досягати сотень ампер, а рекомендований струм заряду акумуляторних батарей (АБ), як правило, не перевищує десятків ампер, то використання лише АБ для накопичування електричної енергії при гальмуванні ЕТЗ призведе до значного скорочення терміну її експлуатації. Тому для накопичення електричної енергії бажано застосовувати додаткову конденсаторну батарею (КБ), що складається з іоністорів (конденсаторів великої ємності) [1], які характеризуються достатньо великим струмом заряду й розряду. Наявність КБ у складі БДЖ дозволить збільшити як термін служби АБ, так і пробіг ЕТЗ на одному заряді АБ [2].

Метою роботи є розробка методики визначення основних параметрів КБ з урахуванням необхідної кількості накопичувальної енергії, при яких досягається зменшення ваги, об'єму й вартості КБ.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. На рис. 1 показано спрощену функціональну схему тягового електроприводу ЕТЗ, що складається з БДЖ, перетворювача напруги (ПР-МК) і мотор-колеса (МК). Реально в ЕТЗ застосовується один БДЖ і чотири ПР-МК і МК. Кожне МК контролюється своїм ПР-МК. Указані напрями струмів заряду АБ і КБ відповідають режиму гальмування ЕТЗ, в якому МК генерують електричну енергію, що поступає через ПР-МК в БДЖ, а саме в АБ і на вхід перетворювача напруги конденсаторної батареї (ПР-КБ). При цьому в АБ електрична енергія повинна надходити відповідно до технічних вимог її заряду, а саме струм заряду АБ (I_{AB}) і напруга на її

затискачах (U_{AB}) не повинні перевищувати припустимих значень. Оскільки значення гальмівного струму (I_{BDG}), що надходить від ПР-МК в БДЖ, може істотно перевищувати припустиме значення струму заряду АБ, то надлишок гальмівного струму (I_{PR-KB}) повинен через ПР-КБ надходити в КБ. Більш детально режим роботи схеми описано в [3].

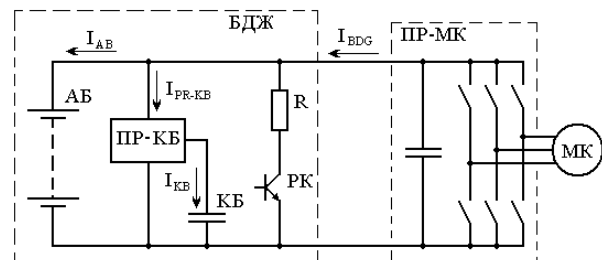


Рисунок 1 – Спрощена функціональна схема тягового електроприводу ЕТЗ

Для забезпечення нормального режиму заряду АБ і збереження максимальної кількості енергії, яку генерує МК при гальмуванні ЕТЗ, необхідно, щоб значення ємності КБ і параметри перетворювача ПР-КБ відповідали запасу кінетичної енергії ЕТЗ і потужності, з якою ця енергія надходить у БДЖ. Необхідне значення ємності КБ будемо визначати за умовою повного перетворення максимальної кількості кінетичної енергії A_k в електричну енергію заряду КБ при гальмуванні ЕТЗ на горизонтальній дорозі [1]. Якщо втрати кінетичної енергії ЕТЗ при перетворенні поступальної ходи ЕТЗ в обертальний рух МК врахувати за допомогою ККД $\eta_m \approx 0,97$, прийняти ККД двигуна $\eta_{dv} \approx 0,85$, ККД перетворювачів ПР-МК і ПР-КБ $\eta_{prmk} \approx 0,95$ і $\eta_{prkb} \approx 0,96$, то кількість

електричної енергії, що надходить у БДЖ при гальмуванні ЕТЗ, може бути оцінена за виразом

$$A_{elbdj} = A_k \eta_m \eta_{dv} \eta_{prmk} \quad (1)$$

З урахуванням значень η_m , η_{dv} і η_{prmk} одержимо

$$A_{elbdj} = A_k \eta_{\Sigma} = 0,78 A_k \quad (2)$$

де η_{Σ} – сумарний ККД, що відповідає рекуперації кінетичної енергії ЕТЗ у БДЖ.

Кількість електричної енергії, що надходить у КБ, з урахуванням значення η_{prkb}

$$A_{kb} = A_k \eta_{prkb} = 0,75 A_k \quad (3)$$

Цікаво оцінити вплив гранично-припустимого значення напруги КБ на кількість конденсаторів, з яких вона має складатися, а також на вагу, об'єм і вартість КБ при незмінній ємності КБ. Для цього розглянемо дві конденсаторні батареї однакової ємності КБ1 і КБ2, які відрізняються гранично-припустимими значеннями напруги. Кожна батарея складається з декількох однакових паралельних гілок послідовно включених конденсаторів. Ємність КБ1 і КБ2 може бути визначена за формулами

$$C_{kb1} = \frac{n_{par1} C_k}{n_{pos1}}; \quad (4)$$

$$C_{kb2} = \frac{n_{par2} C_k}{n_{pos2}} \quad (5)$$

де C_k – ємність кожного конденсатора, Ф; n_{pos1} , n_{pos2} – кількість послідовно включених конденсаторів у гілках КБ1, КБ2; n_{par1} , n_{par2} – кількість паралельних гілок у КБ1, КБ2.

Якщо прийняти, що $C_{kb1} = C_{kb2}$, і прирівнюючи праві частини (4) і (5), одержимо

$$n_{par2} = \frac{n_{pos2}}{n_{pos1}} n_{par1} \quad (6)$$

Кількість конденсаторів, включених послідовно, може бути визначена за формулами

$$n_{pos1} = \frac{U_{kb1max}}{U_{kmax}}; \quad (7)$$

$$n_{pos2} = \frac{U_{kb2max}}{U_{kmax}} \quad (8)$$

де U_{kb1max} , U_{kb2max} – максимальна напруга на клеммах КБ1 і КБ2, В; U_{kmax} – гранично-припустима напруга на клеммах одного конденсатора, В.

Поділивши (8) на (7), одержимо

$$n_{pos2} = \frac{U_{kb2max}}{U_{kb1max}} n_{pos1} \quad (9)$$

Після підстановки у вираз (6) правої частини (9) одержимо

$$n_{par2} = \frac{U_{kb2max}}{U_{kb1max}} n_{par1} \quad (10)$$

Перемноживши рівняння (9) і (10), одержимо співвідношення між кількістю конденсаторів, що входять до складу КБ1 і КБ2:

$$n_{\Sigma 2} = \frac{U_{kb2max}^2}{U_{kb1max}^2} n_{\Sigma 1} \quad (11)$$

де $n_{\Sigma i} = n_{pari} \cdot n_{posi}$ – сумарна кількість однакових конденсаторів, що входять до складу КБ; i – номер КБ.

Таким чином, при незмінній ємності конденсаторної батареї кількість однакових конденсаторів, що мають входити до її складу, буде збільшуватись

пропорційно квадрату гранично-припустимого значення напруги КБ. Аналогічно буде збільшуватись вага, об'єм і вартість КБ. Тому збільшення гранично-припустимого значення напруги КБ при незмінній ємності не завжди є виправданим. У зв'язку з цим цікаво розглянути можливість зменшення ємності КБ при збільшенні гранично-припустимої напруги КБ і при незмінній кількості накопичуваної електричної енергії. Кількість електричної енергії, яка накопичується в КБ при зміні напруги на її клеммах від U_{kbmin} до U_{kbmax} , визначимо за формулою [2], де виключені застосовані вище номери КБ:

$$A_{kb} = \frac{C_{kb}(U_{kbmax}^2 - U_{kbmin}^2)}{2} \quad (12)$$

З урахуванням виразів (4), (5) рівняння (12) можна переписати у вигляді

$$A_{kb} = \frac{C_k n_{par} (U_{kbmax}^2 - U_{kbmin}^2)}{2 n_{pos}} \quad (13)$$

Розв'язуючи рівняння (13) щодо n_{par} , з урахуванням формул (7) або (8), одержимо

$$n_{par} = \frac{2 A_{kb}}{C_k U_{kbmax} U_{kmax} \left(1 - \frac{U_{kbmin}^2}{U_{kbmax}^2} \right)} \quad (14)$$

Помножимо рівняння (14) на рівняння, аналогічне рівнянню (7) або (8):

$$n_{\Sigma} = \frac{2 A_{kb}}{C_k U_{kmax}^2 \left(1 - \frac{U_{kbmin}^2}{U_{kbmax}^2} \right)} \quad (15)$$

З формули (15) випливає, що кількість конденсаторів, які входять до складу КБ, є пропорційною кількості електричної енергії, що має накопичуватися в КБ, і обернено пропорційною до ємності й квадрата гранично-припустимої напруги конденсаторів, використаних для побудови КБ. Крім того, кількість конденсаторів залежить від кратності зміни напруги на клеммах КБ. Зокрема, якщо напруга на клеммах КБ змінюватиметься від U_{kbmax} до нуля ($U_{kbmin}=0$), то відповідно до (15) кількість конденсаторів, які входять до складу КБ, буде мінімальною

$$n_{\Sigma min} = \frac{2 A_{kb}}{C_k U_{kmax}^2} = \frac{A_{kb}}{A_{kmax}} \quad (16)$$

де A_{kmax} – максимальна кількість електричної енергії, яка може бути накопичена в одному конденсаторі.

З формули (16) випливає, що $n_{\Sigma min}$ є кількістю конденсаторів, потрібних для накопичення електричної енергії, що генерується МК при гальмуванні ЕТЗ, які використовуються на 100 % за енергією.

Поділивши (15) на (16), одержимо рівняння зв'язку відносної кількості конденсаторів, що входять до складу КБ, від кратності зміни напруги на клеммах КБ:

$$n_{\Sigma*} = \frac{n_{\Sigma}}{n_{\Sigma min}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{U_{kbmin}^2}{U_{kbmax}^2} \right)} \quad (17)$$

Графік залежності (17) наведено на рис. 2.

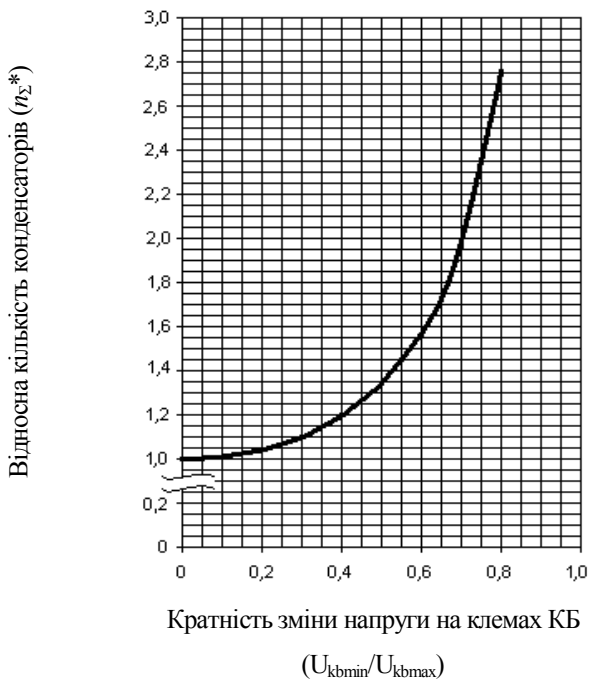


Рисунок 2 – Графік залежності відносної кількості конденсаторів, що входять до складу КБ, від кратності зміни напруги на клеммах КБ

ВИСНОВКИ. 1. При проектуванні КБ автономного джерела живлення необхідно, перш за все, враховувати технічні можливості ПР–КБ з реалізації діапазону регулювання напруги (U_{kbmax}/U_{kbmin}). Збі-

льшення діапазону регулювання напруги призводить до більш повного використання енергії кожного конденсатора, що входить до складу КБ і, отже, до зменшення їх кількості. У результаті зменшується вага, об'єм і вартість КБ.

2. При визначенні необхідної кількості конденсаторів за виразом (15) треба знати їх ємність і максимальну напругу. З паспортних даних конденсаторів можна визначити їх масу і розміри, а з прайс-листів – їх вартість. Це дозволить визначити масу, об'єм і вартість КБ. Розглядаючи декілька типів конденсаторів з різними параметрами і визначаючи їх кількість, можна оптимізувати КБ за масою, об'ємом і вартістю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вершинин Д.В., Водичев В.А., Войтенко В.А., Смотров Е.А. Особенности выбора параметров бортового источника питания электротранспортного средства // *Електромашинобудування та електрообладнання*. – К.: Техніка, 2008. – Вип. 71. – С. 5–11.
2. Вершинин Д.В., Войтенко В.А., Смотров Е.А. Визначення параметрів основних вузлів електричної схеми електробуса // *Електромашинобудування та електрообладнання*. – К.: Техніка, 2009. – Вип. 74. – С. 10–17.
3. Войтенко В.А. К вопросу оптимизации параметров конденсаторной батареи автономного источника питания. // *Електромашинобудування та електрообладнання*. – К.: Техніка, 2010. – Вип. 76. – С. 87–93.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF AUTONOMOUS SOURCE CONDENSER BATTERY FOR THE ELECTRO MOBILE ELECTRIC DRIVE

V. Voytenko, V. Vodichev

Odessa National Polytechnic University

prosp. Shevchenka, 1, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: radist_89@bk.ru, emsku@ukr.net

The simplified functional diagram of hauling electric drive of electro mobile, which consists of autonomous side source of energy, voltage converter and motor-wheel, is considered. The autonomous source of energy and condenser battery of large capacity, which accumulate the electric energy generated by motor-wheels at braking of electro mobile, is investigated. A formula, which allow to define the amount of condensers, which enter in the complement of condenser battery, is got. The method of optimization of parameters of condenser battery on mass, volume and cost is offered.

Key words: energy, capacity, condensers, side source.

REFERENCES

1. Vershinin D.V., Vodichev V.A., Voytenko V.A., Smotrov E.A. Features of choice of parameters of onboard feed source of electro mobile // *Electrical machine-building and Electrical equipment*. – K.: Technica, 2008. – № 71. – PP. 5–11. [in Russian]
2. Vershinin D.V., Voytenko V.A., Smotrov E.A. Determination of parameters of basic knots of electric to the chart for electrobus // *Electrical machine-building and Electrical equipment*. – K.: Technica, 2009. – № 74. – PP. 10–17. [in Ukrainian]
3. Voytenko V.A. Some aspects for choice parameters of condenser battery for autonomous source of energy // *Electrical machine-building and Electrical equipment*. – K.: Technica, 2010. – № 76. – PP. 87–93. [in Russian]

Стаття надійшла 3.07.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.