УДК 621.313: 621.316

ДЖЕРЕЛО БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ

Теряєв В. І.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Запропоновано нове застосування електричної машини постійного струму в якості електромеханічного накопичувача енергії для джерела безперебійного живлення, що дозволяє підвищити якість енергопостачання автономних об'єктів споживання в умовах обмеженості ресурсів.

Постановка проблеми. Автономні енергоустановки на даний час все ширше використовуються в індивідуальних господарствах, на транспортних засобах, віддалених об'єктах господарської діяльності. Однією з проблем автономних систем енергопостачання є нестабільність та переривчатість вироблення електричної енергій внаслідок зміни погодних умов (вітро- та фотоелектростанції), раптового збільшення навантаження, виникнення аварійних режимів і т. п. Нестабільність електроживлення негативно впливає на роботу комп'ютерів, електронних приладів, засобів автоматики, побутової та медицинської техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, проведені в [1], вказують на те, що при певних схемах включення та умовах керування електрична машина постійного струму з незалежним збудженням може виконувати функцію конденсатора значної ємності. Такий електродинамічний конденсатор (динамічна ємність) застосовується в системах управління електроприводами для уповільнення протікання процесів керування.

Мета статті. Пропонується використати динамічну ємність в якості додаткового джерела енергії, яке може забезпечити короткочасне живлення споживачів - освітлення, електронної техніки та інших малопотужних приладів в умовах припинення або зниження параметрів енергопостачання.

У статті розглянута теоретична можливість створення, алгоритми керування та принципи технічної реалізації джерела безперервного живлення на основі використання електричної машини постійного струму в якості динамічної ємності.

Основні матеріали дослідження. Доведемо існування динамічної ємності, виходячи з положень теоретичної механіки та теоретичних основ електротехніки і отримаємо її математичний вираз.

Для доказу скористаємося теоремою живих сил, згідно з якою приріст кінетичної енергії тіла за будь-який проміжок часу дорівнює повній роботі за цей час зовнішніх сил, що діють на дане тіло. В теоретичній механіці це положення формулюється у такий спосіб: похідна за часом від кінетичної енергії тіла дорівнює потужності діючих на це тіло зовнішніх сил. У математичній формі для тіла обертання це запишеться так:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(J\frac{\omega^2}{2}) = J\omega\frac{d\omega}{dt}. \qquad (1)$$

Отриманий результат можна записати у наступному вигляді, що відбиває взаємозв'язок споживаної потужності і прискорення електричної машини постійного струму:

$$EI = J\omega\frac{d\omega}{dt}, \qquad (2)$$

де E, I – ЕРС і струм якоря; J – сумарний момент інерції ротора і зв'язаних з ним мас.

Враховуючі, що для машини постійного струму

$$E = c\Phi\omega, \qquad (3)$$

виразимо прискорення через похідну від ЕРС

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{c\Phi}\frac{dE}{dt}. \qquad (4)$$

Замінивши у виразі (2) ЕРС згідно формули (3) і прискорення у відповідності з (4), отримуємо рівняння для струму в наступному виді:

$$I = \frac{J}{(c\Phi)^2}\frac{dE}{dt}, \qquad (5)$$

де $c\Phi$ – стала електродвигуна; ω - кутова швидкість.

Отримана залежність подібна виразу для струму, що протікає через конденсатор

$$I_C = C\cdot\frac{dE_C}{dt} \qquad (6)$$

Отже, коефіцієнт в рівнянні (5) представляє величину динамічної ємності, яку в подальшому будемо позначати через

$$C_j = \frac{J}{(c\Phi)^2},\ \Phi\cdot \qquad (7)$$

З виразу (7) видно, що величина динамічної ємності прямо пропорційна моменту інерції і зворотно пропорційна квадрату потоку. Звідси випливають два шляхи збільшення величини динамічної ємності: перший – збільшення моменту інерції на валу електричної машини шляхом встановлення маховика і другий – ослаблення магнітного потоку збудження. При цьому другий

шлях є більш ефективним і обмежується лише механічною міцністю машини.

Кількість енергії, яка запасається динамічною ємністю, залежить від швидкості обертання та моменту інерції ротора і зв'язаних з ним мас. Так, для величини сумарного моменту інерції J=0,2 кг·м^2 і сталої двигуна $c\Phi$=2 запас енергії накопичувача, в залежності від швидкості, складе (див. табл. 1):

Таблиця 1 – Запас енергії накопичувача

ω, рад/с	100	200	300	400	500
W, Вт·год	0,28	1,11	2,5	4,45	6,95

Для порівняння, запас енергії типового джерела безперебійного живлення з вбудованим акумулятором при потужності 100 Вт на протязі 3 хв, співвимірний і дорівнює 5 Вт·год. Докладні порівняльні розрахунки накопичувачів енергії наведені в [2].

Розглянемо використання динамічної ємності в якості джерела безперебійного живлення споживачів електричної енергії. Основною вимогою до такого джерела є підтримання стабільності вихідної напруги в умовах зміни швидкості електричної машини та електричного навантаження.

Схема електричної машини постійного струму при двозонному керуванні представлена на рис. 1. Якірне коло машини представлено ЕРС E, опором $r_я$ та індуктивністю якірної обмотки $L_я$. Живлення обмотки збудження здійснюється від керованого джерела постійної напруги UZ.

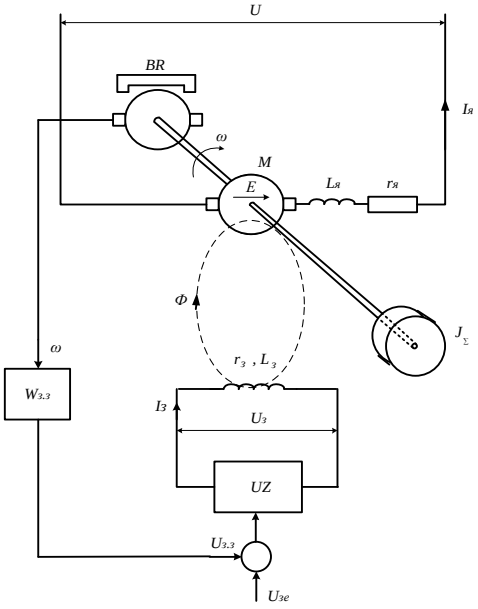

Рисунок 1 – Схема електричної машини постійного струму при двозонному керуванні

Вихідна напруга машини U в автономному генераторному режимі визначається рівнянням:

$$U = E - I \cdot r_я \,, \qquad (8)$$

де $r_я$ – опір якірного кола.

Таким чином основним фактором стабілізації вихідної напруги є регулювання величини ЕРС. З формули (3) випливає, що ЕРС Е залежить від двох факторів – швидкості ω і потоку збудження Ф.

Скористаємось двозонною моделлю машини постійного струму для реалізації системи автоматичної стабілізації вихідної напруги автономного генератора. Структурна схема такої системи представлена на рисунку 2. На рисунку позначені: $W_П$, $W_{з.з}$ – передаточні функції перетворювача напруги і зворотного зв'язку за швидкістю; $k_з$ – коефіцієнт пропорційності між струмом збудження і потоком (визначається по характеристиці намагнічування); $T_з$, $T_я$, $r_з$, $r_я$ – сталі часу та опори кіл збудження та якоря, відповідно.

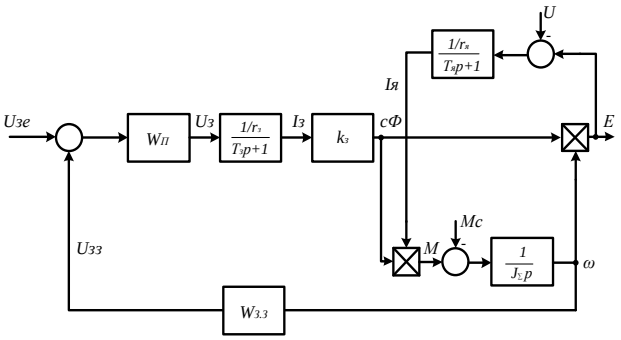

Рисунок 2 – Структурна схема електричної машини постійного струму при двозонному керуванні

В процесі відбору енергії від електричної машини в режимі автономного генератора, що фактично відповідає режиму динамічного гальмування, її швидкість буде зменшуватись. Тому для стабілізації ЕРС згідно із залежністю $E=c\Phi\omega$ необхідне пропорційне збільшення магнітного потоку збудження. З цією метою розглянемо реалізацію контуру регулювання потоку збудження в залежності від швидкості ω. Такий контур включає тахогенератор BR та коло зворотного зв'язку за швидкістю $W_{з.з}$ і дозволяє побічно здійснювати стабілізацію ЕРС через регулювання магнітного потоку при зменшенні швидкості. Виходячи з усталеного номінального режиму визначимо функціональну залежність, яка повинна бути закладена у передаточну функцію кола зворотного зв'язку $W_{з.з}$:

$$E_н = c\Phi\omega = \omega^2 W_{з.з} k_П k_з / r_з \qquad (9)$$

де $E_н$ – номінальна ЕРС генератора; $k_П$ – коефіцієнт передачі перетворювача напруги.

Звідси передаточна функція зворотного зв'язку дорівнюватиме

$$W_{з.з} = E_н r_з / \omega^2 k_П k_з \qquad (10)$$

Тобто, для стабілізації ЕРС під час зниження швидкості машини постійного струму потік збудження потрібно збільшувати у квадратичній зворотно-пропорційній залежності. Але для

звичайного режиму роботи машини збільшення магнітного потоку обмежується насіченням магнітопроводу.

В той же час для використання машини в якості динамічної ємності доцільно, як це було показано вище, зменшувати потік збудження.

Для поєднання цих протилежних вимог пропонується використати наступний алгоритм роботи електричної машини в режимі накопичувача енергії. Запуск машини здійснюється у двигунному режимі від зовнішнього джерела напруги при номінальній величині потоку збудження. Після досягнення усталеної швидкості починається процес ослаблення потоку збудження з відповідним збільшенням швидкості і накопиченням кінетичної енергії. Рівень ослаблення потоку обмежується лише механічною міцністю машини. Після розгону до максимальної швидкості машина продовжує обертається в режимі холостого ходу. При початку відбору енергії від накопичувача зовнішня напруга відключається, а якір підключається до споживачів. Розглянутий вище компенсуючий зворотний зв'язок за швидкістю забезпечує підтримання стабільного значення ЕРС за рахунок збільшення потоку збудження до тих пір, поки магнітна система машини не увійде у насичення.

Представлені на рис. 3 результати моделювання процесу зміни ЕРС при відпрацюванні вказаного вище алгоритму підтверджують ефективність запропонованого компенсуючого зворотного зв'язку по швидкості та працездатність стабілізованого джерела живлення на основі електричної машини постійного струму.

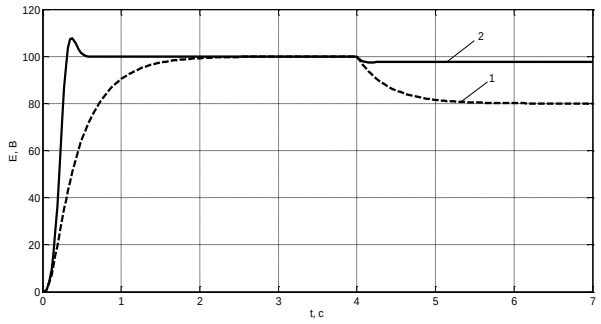

Рисунок 3 – Результати моделювання: 1 – без зворотного зв'язку; 2 – з використанням зворотного зв'язку по швидкості

Для повного усунення статичної похибки по вихідній напрузі в умовах зміни швидкості та електричного навантаження доцільно, згідно із принципом комбінованого керування, використати додатковий прямий зв'язок за збуренням, який побічно може бути реалізований у вигляді позитивного зворотного зв'язку за струмом навантаження.

Подальші теоретичні дослідження спрямовані на вивчення впливу насичення магнітної системи електричної машини на діапазон швидкостей, в якому буде забезпечуватися стабілізація вихідної напруги, а також на розробку методики оптимального вибору маховика для динамічної ємності.

Для промислового застосування динамічної ємності потрібно спроектувати спеціальну машину постійного струму з ненасиченою магнітною системою, пристосовану для роботи з підвищеними швидкостями. Перспективним є використання безколекторних електричних машин постійного струму з електронним комутатором. З метою збільшення запасу кінетичної енергії та величини динамічної ємності, на валу електричної машини доцільно установити маховик.

Висновки. Теоретично доведена можливість створення стабілізованого джерела живлення на основі використання електричної машини постійного струму в режимі динамічної ємності. Розроблено алгоритм керування та принципи технічної реалізації джерела безперебійного живлення на основі нелінійного зворотного зв'язку по швидкості у колі збудження. Показано, що для практичного впровадження джерела на основі динамічної ємності потрібна розробка електричної машини спеціальної конструкції.

Список використаних джерел

1. Радченко Л. А. Управление автоматизированным электроприводом: пособие по лабораторным работам. Ч.1 / Л. А. Радченко. – К.: Гостехиздат УССР, 1963. – 340 с.

2. Фисенко О. Б. Обзор накопителей (аккумуляторов) энергии URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-nakopiteley-akkumulyatorov-energii (дата звернення: 11.10.2018).

Аннотация

ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Теряев В. И.

Предложено новое применение электрической машины постоянного тока в качестве электромеханического накопителя энергии для источника бесперебойного питания, что позволяет повысить качество энергоснабжения автономных объектов потребления в условиях ограниченности ресурсов.

Abstract

THE UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY USING ELECTROMECHANICAL ENERGY STORAGE

V. Teriaiev

A new application of a DC electric machine as an electromechanical energy storage device of an uninterruptible power supply is proposed, which allows improving the quality of power supply of autonomous objects of consumption in conditions of limited resources.