

СТАБІЛІЗОВАНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ЄМНОСТІ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Колісник Р.В., Лабенський В.В., магістранти
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Електрична машина постійного струму з незалежним збудженням при певних схемах включення може діяти як конденсатор значної ємності [1]. Такий електродинамічний конденсатор (динамічна ємність) застосовується в системах управління електроприводами для уповільнення протікання процесів керування.

Мета роботи. Розглянути теоретичну можливість створення та принципи технічної реалізації стабілізованого джерела живлення на основі використання електричної машини постійного струму в якості динамічної ємності.

Матеріали і результати досліджень. 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:

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

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

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

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

Враховуючі, що для машини постійного струму ЕРС дорівнює:

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

виразимо прискорення через похідну від ЕРС

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

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

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

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

Отримана залежність подібна виразу для струму, що протікає через конденсатор

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

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

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

З виразу (7) видно, що величина динамічної ємності прямо пропорційно залежить від моменту інерції і зворотно пропорційно від квадрату потоку. Звідси впливають 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.

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

Схема електричної машини постійного струму представлена на рис. 1.

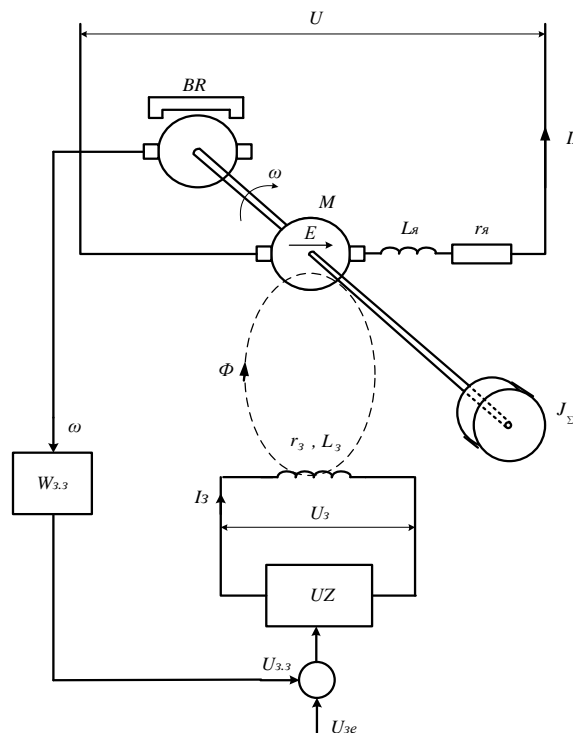


Рисунок 1 – Схема електричної машини постійного струму при двозонному керуванні

Вихідна напруга машини U в автономному генераторному режимі визначається рівнянням:

$$U = E - I \cdot r_a, \quad (8)$$

де r_a – опір якірного кола.

Таким чином основним фактором стабілізації вихідної напруги є підтримання незмінним значення ЕРС. З формули (3) випливає, що ЕРС E залежить від двох факторів – швидкості ω і потоку збудження Φ .

Скористаємось двозонною моделлю машини постійного струму для реалізації системи автоматичної стабілізації вихідної напруги автономного генератора [2]. Структурна схема такої системи представлена на рисунку 2. На рисунку позначені: W_{Π} , $W_{3.3}$ – передаточні функції перетворювача напруги і зворотного зв'язку за швидкістю; k_3 – коефіцієнт пропорційності між струмом збудження і потоком (визначається по характеристиці намагнічування); T_3 , T_a , r_3 , r_a – сталі часу та опори кіл збудження та якоря, відповідно.

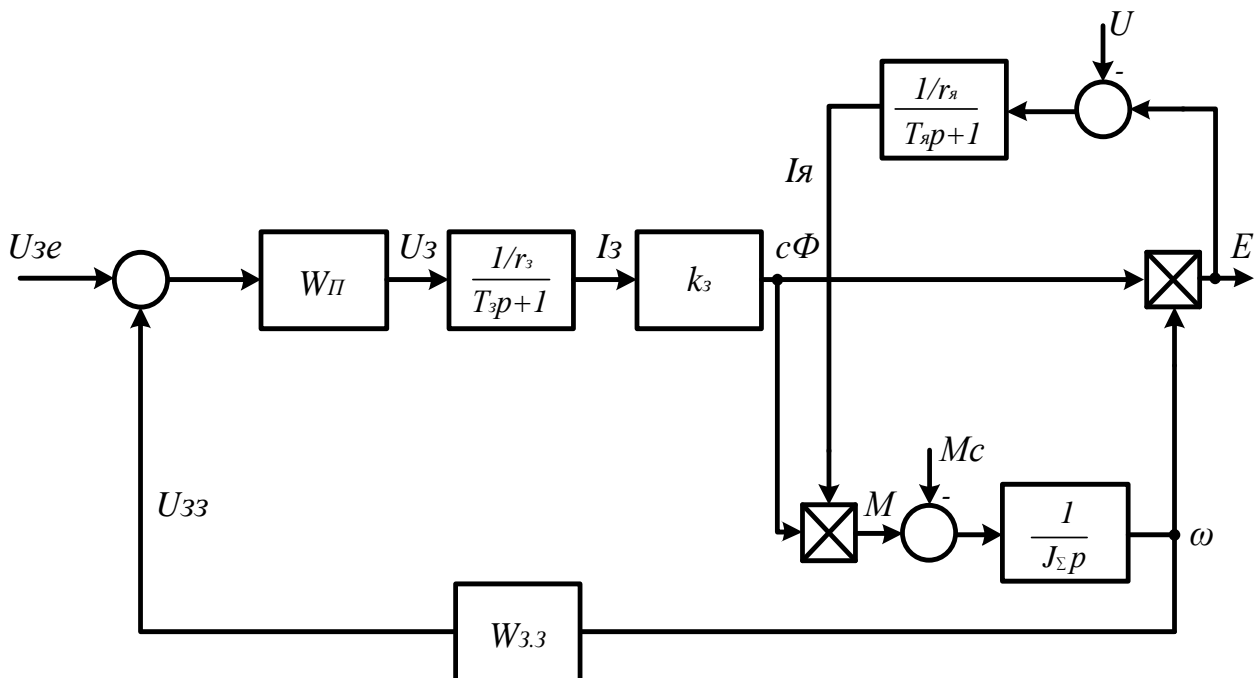


Рисунок 2 – Структурна схема електричної машини постійного струму при двозонному керуванні

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 $W_{3.3}$ 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 $W_{3.3}$:

$$E_n = c\Phi\omega = \omega^2 W_{3.3} k_{\Pi} k_3 / r_3 \quad (9)$$

де E_n – номінальна ЕРС генератора; k_{Π} – коефіцієнт передачі перетворювача напруги.

Звідси передаточна функція зворотного зв'язку дорівнюватиме

$$W_{3.3} = E_n r_3 / \omega^2 k_{\Pi} k_3 \quad (10)$$

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 насиченням 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 обертатися 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.

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 повинні бути 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.

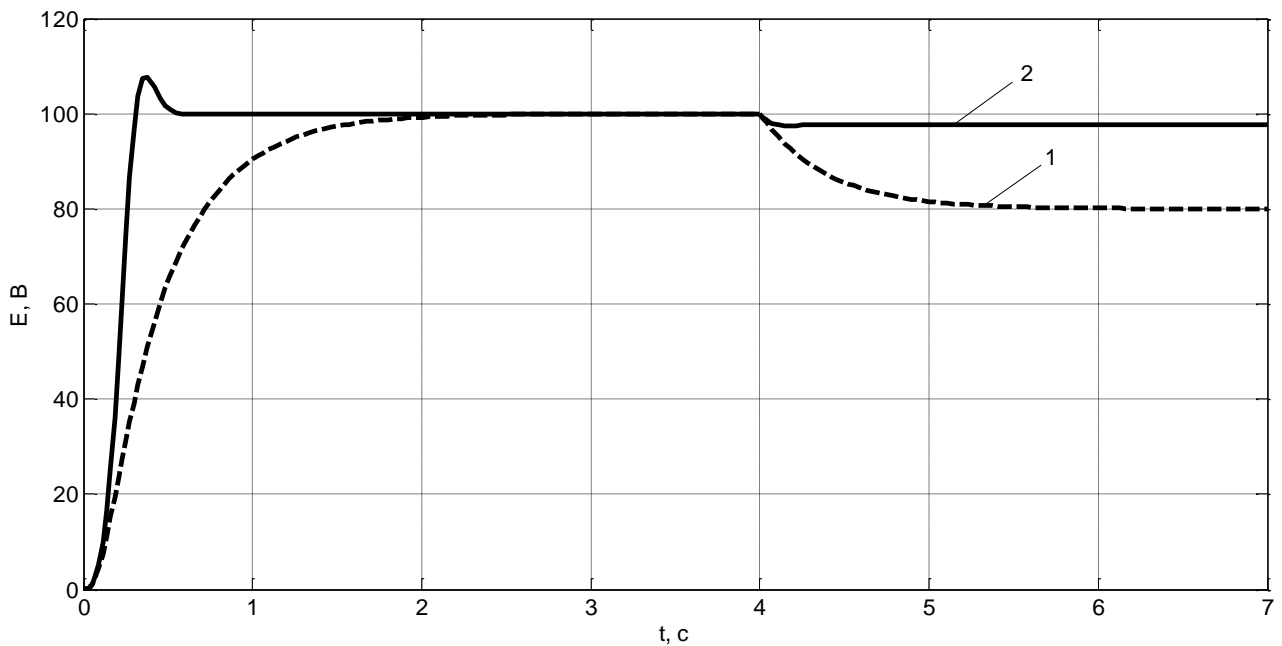


Рисунок 3 – Результати моделювання: 1 – без зворотного зв’язку;
2 – з використанням зворотного зв’язку по швидкості.

Для промислового застосування динамічної ємності потрібно буде 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 джерела живлення на основі використання електричної машини постійного струму в режимі динамічної ємності. Розроблені принципи технічної реалізації стабілізованого джерела живлення на основі нелінійного зворотного зв’язку по швидкості у колі збудження. Показано, що для практичної реалізації джерела на основі динамічної ємності потрібна розробка алгоритму керування та спеціальної конструкції електричної машини.

Перелік посилань

1. Радченко Л.А. Управление автоматизированным электроприводом: пособие по лабораторным работам. Ч.1 / Л.А. Радченко. – К. : Гостехиздат УССР, 1963. – 340 с.
2. Теряев В.І. Конспект лекцій по дисципліні «Автоматизація електромеханічних систем-1» для студентів напряму підготовки 6.050702. - Свідоцтво про надання грифу НМУ №Е11/12-254 від 24.05.2012 р.- Київ: НТУУ “КПІ”, 2012 р. - 340 с.