

ДЖЕРЕЛО БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАКОПИЧУВАЧЕМ ЕНЕРГІЇ. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННОЇ МАШИНИ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Молдавський А.В., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Переваги сучасних електромеханічних накопичувачів (ЕМН), а саме екологічність та довговічність, простота технічного обслуговування, висока питома потужність дозволяють розглядати їх в якості альтернативи хімічним акумуляторам енергії. Проте, особливості роботи маховикових накопичувачів потребують додаткових досліджень питань стабілізації вихідних параметрів та взаємодії з навантаженням.

В ЕМН електрична машина використовується взаємооборотно, як в прямому, двигунному режимі в процесі накопичення енергії, так і у зворотному, генераторному режимі в процесі перетворення кінетичної енергії в електричну. Як правило, така електрична машина оснащується маховиком, задачею якого є збільшення можливого запасу кінетичної енергії.

Мета роботи. В статті розглядається можливість створення джерела безперебійного живлення на основі використання в ЕМН синхронної машини (СМ) з електромагнітним збудженням. Пропонуються принципи технічної реалізації та алгоритми керування таким накопичувачем.

Матеріали і результати досліджень. Кількість енергії, яка запасється ЕМН, залежить від квадрату швидкості обертання та моменту інерції маховика і зв'язаних з ним мас. Так, для величини моменту інерції маховика $J = 0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ масою 10 кг запас енергії накопичувача, в залежності від швидкості, складає (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Запас енергії електромеханічного накопичувача

Кутова швидкість маховика, рад/с	100	200	300	400	500	1000
Запас енергії, Вт·год	0,28	1,11	2,5	4,45	6,95	27,8
Питомий запас енергії накопичувача, Вт·год/кг	0,028	0,111	0,25	0,445	0,695	2,78

Для порівняння, запас енергії типового джерела безперебійного живлення з вбудованим акумулятором потужністю 300 Вт, який забезпечує автономну роботу споживачів на протязі 2,5 хв, співвимірний і дорівнює 12,5 Вт·год. При цьому питомий запас енергії такого накопичувача складає 3,1 Вт·год/кг. Більш докладні порівняльні характеристики накопичувачів енергії наведені в [1].

При використанні ЕМН в якості джерела безперебійного живлення споживачів електричної енергії, основним завданням системи керування є підтримання стабільності вихідних електричних параметрів в умовах зміни швидкості електричної машини та електричного навантаження.

Стабілізація вихідної напруги при зміні навантаження може бути здійснена класичним шляхом за рахунок введення позитивного зворотного зв'язку, який збільшує напругу джерела при збільшенні навантаження і навпаки.

Для компенсації впливу зміни швидкості на вихідну напругу ЕМН скористаємось принципом залежного регулювання координат [2]. В режимі відбору енергії швидкість кінетичного накопичувача буде зменшуватись з інтенсивністю, яка залежить від величини навантаження, яке створюється споживачами електричної енергії, а також від власних механічних втрат накопичувача. Задача керування полягає в підтриманні незмінними параметрів електричної енергії на виході ЕМН.

Для випадку використання в якості двигуна-генератора колекторної машини постійного струму задача була вирішена шляхом введення нелінійного зворотного зв'язку за швидкістю маховика [1]. Перевагою такого рішення є простота технічної реалізації, недоліком – наявність ненадійного щітково-колекторного вузла.

Розглянемо можливість побудови ЕМН на базі СМ з електромагнітним збудженням. Наявність обмотки збудження створює додатковий канал впливу на вихідну напругу СМ в генераторному режимі, що буде використано для компенсації впливу зміни швидкості. Перевагою СМ є більша надійність внаслідок відсутності колекторного вузла.

Схема ЕМН, побудована на основі використання СМ з електромагнітним збудженням, представлена на рис. 1.

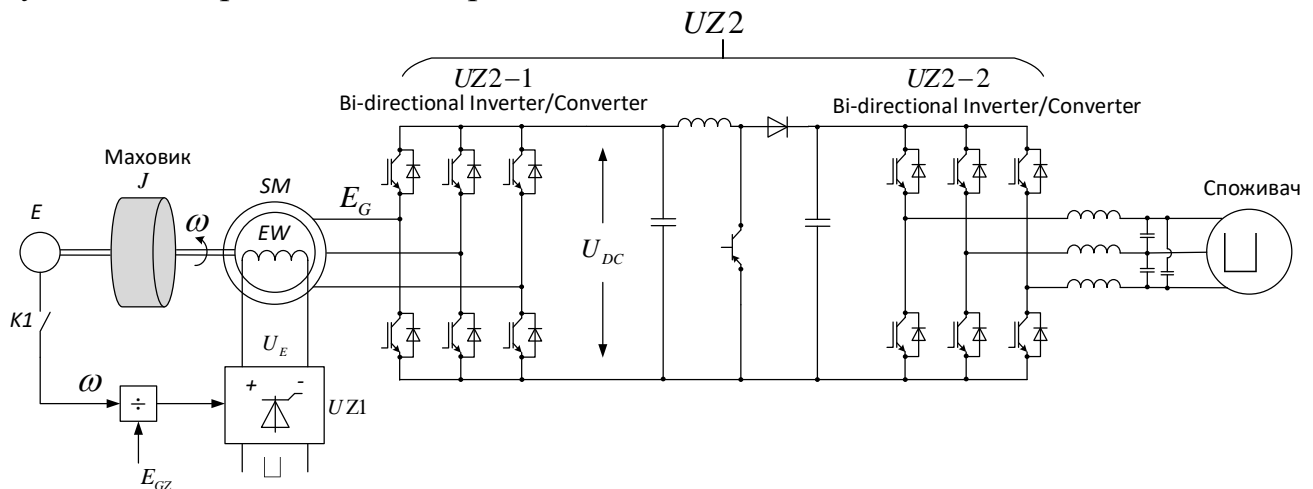


Рисунок 1 – Функціональна схема ЕМН з використанням СМ

На рисунку позначені: ω , U_E , E_G – кутова швидкість, напруга збудження, ЕРС синхронної машини, відповідно; U_{DC} – напруга проміжної ланки постійного струму перетворювача $UZ2$; $UZ1$ – перетворювач кола збудження; $UZ2$ – двоспрямований інвертор-конвертор; SM – синхронний двигун-генератор; EW – обмотка збудження СМ; $K1$ – вимикач кола зворотного зв'язку за швидкістю.

В автономному генераторному режимі СМ з електромагнітним збудженням ЕРС вихідної напруги E_G є функцією кутової швидкості ротора ω і магнітного потоку збудження Φ_E , створюваного обмоткою збудження і визначається рівнянням:

$$E_G = k_{SM} \Phi_E \omega, \quad (1)$$

де k_{SM} – конструктивний коефіцієнт машини.

Основним фактором стабілізації вихідної напруги ЕМН є підтримання незмінним значення вихідної ЕРС. З формули (1) випливає, що ЕРС залежить від двох змінних – швидкості ω і потоку збудження Φ_E . При цьому, змінна ω є незалежною (нерегульованою).

Структурна схема підсистеми залежного від швидкості регулювання потоку СМ представлена на рисунку 2.

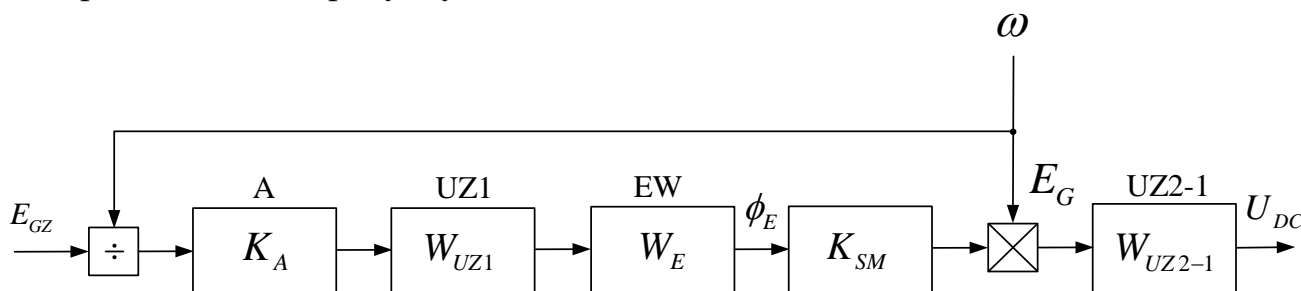


Рисунок 2 – Структурна схема електричної машини постійного струму при двозонному керуванні

На рисунку позначені: E_{GZ} – завдання ЕРС генератора; k_A – коефіцієнт передачі підсилювача A ; W_{UZ1} , W_E – передаточні функції перетворювача $UZ1$ і обмотки збудження EW ; W_{UZ2-1} – передаточна функція першого інвертора-конвертора $UZ2-1$.

В процесі відбору енергії від електричної машини в режимі автономного генератора її швидкість буде зменшуватись. Тому для стабілізації ЕРС E_G згідно із залежністю (1) необхідне пропорційне збільшення магнітного потоку збудження СМ.

Скористаємось принципом залежного регулювання координат [2] для синтезу контуру регулювання потоку збудження в функції швидкості. Такий контур включає датчик швидкості E та коло прямого зв'язку за швидкістю і дозволяє побічно здійснювати стабілізацію ЕРС через регулювання магнітного потоку при зміні швидкості. Функціональна залежність, яка повинна бути закладена у коло прямого зв'язку за швидкістю, має вигляд:

$$k_A k_{UZ1} k_E k_{SM} = 1, \quad (2)$$

де k_A , k_{UZ1} , k_E , k_{SM} – коефіцієнти передачі відповідних ланок.

Звідси коефіцієнт передачі підсилювача дорівнюватиме:

$$k_A = 1 / k_{UZ1} k_E k_{SM}. \quad (3)$$

Тобто, для стабілізації ЕРС під час зниження швидкості СМ і, зв'язаного з нею маховика, потік збудження потрібно збільшувати у зворотно-пропорційній

залежності. Але для звичайної СМ збільшення магнітного потоку обмежується насиченням магнітопроводу. Крім того, наявність прямого зв'язку за швидкістю може призводити до надмірного збільшення потоку збудження СМ на початковому етапі запуску внаслідок наявності блоку ділення. Для уникнення даного явища прямий зв'язок за швидкістю повинен виконуватися затриманим і з гістерезисом: тобто починає діяти після переходу СМ в режим генерації при номінальній швидкості, а відключається при швидкості, близькій до нульової. Наявність такого зв'язку відносить дану систему автоматичного керування до суттєво нелінійних систем зі змінною структурою.

З урахуванням цієї особливості пропонується використати наступний алгоритм роботи електричної машини в режимі накопичувача енергії. Запуск машини здійснюється у звичайному двигунному режимі при живленні від зовнішнього джерела енергії і мінімальній величині потоку збудження. Після розгону до номінальної швидкості машина продовжує обертається разом з маховиком в режимі холостого ходу, зберігає запас кінетичної енергії. На початку відбору енергії від накопичувача розглянутий вище компенсуючий зворотний зв'язок за швидкістю підключається і забезпечує підтримання стабільного значення ЕРС за рахунок збільшення потоку збудження до тих пір, поки магнітна система машини не увійде у насичення.

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 навантаженням, який побічно може бути реалізований у вигляді позитивного зворотного зв'язку за струмом перетворювача $UZ2$.

Для промислового застосування ЕМН потрібно буде спроектувати спеціальну СМ з ненасиченою магнітною системою, пристосовану для роботи з підвищеними швидкостями.

Подальші 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 ЕМН.

Висновки. Показана можливість створення джерела живлення на основі СМ з електромагнітним збудженням. Розроблені принципи технічної реалізації стабілізованого джерела живлення з використанням нелінійного зв'язку за швидкістю у колі збудження. Установлено, що для практичної реалізації ЕМН потрібна розробка спеціальної конструкції електричної машини, а також використання алгоритму керування з нелінійним затриманим прямим зв'язком за швидкістю.

Перелік посилань

1. Теряєв В.І. Джерело безперебійного живлення з використанням електромеханічного накопичувача енергії. Вісник Харківського технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип. 195 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСТ, 2018. С. 116-118.

2. Спосіб регулювання координат генератора та двигуна в режимі електричного гальмування: пат. 126104 Україна, № u201712078; заявл. 08.12.2017; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.