

БЕЗКОНТАКТНІ АСИНХРОНІЗОВАНІ МАШИНИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Проведено аналіз результатів досліджень математичних і фізичних моделей електромашинно-вентильних перетворювачів безконтактних асинхронізованих машин із циклічними алгоритмами керування обертовими вентилями.

Вступ

Електромеханіки приділяють багато уваги розробці асинхронізованих машин (АСМ) — генераторів (АСГ), двигунів (АСД), компенсаторів (АСК), стартер-генераторів (АСГ) та ін. установок. На гідроакмулюючих станціях 35 країн світу працюють АСМ потужністю до 500 МВт в режимах генератора і двигуна [11]. В енергосистемах Росії та України введені в експлуатацію асинхронізовані турбогенератори (АСТГ) потужністю 110—320 МВт [9]. У всіх АСМ роторні обмотки підключені до перетворювача частоти (ПЧ) через контактні кільця. В той же час синхронні машини в основному виконуються в безконтактному виконанні, що обумовлено необхідністю підвищення надійності їх роботи. Актуальними завданнями є розробка і широке впровадження безконтактних АСМ (БАСМ). Вирішенню вказаних завдань приділяють багато уваги вчені кафедри електромеханіки НТУУ «КПІ». Запропоновані нові схеми електромашинно-вентильних перетворювачів (ЕМВП) БАСМ і способи керування ними [1, 2, 4—6, 12], розробляються і досліджуються математичні і фізичні моделі ЕМВП БАСМ [8, 10, 12—14], а також безконтактних пускових пристроїв БАСМ [7]. До ЕМВП пред'являються найвищі вимоги щодо якості форми вихідної напруги, простоти пристроїв передачі сигналів керування на обертову частину, зменшення комутаційних перенапруг ПЧ, коефіцієнта використання електромашинних збудників.

Метою роботи є аналіз нових розробок і результатів досліджень математичних і фізичних моделей ЕМВП БАСМ, розробка рекомендацій щодо їх вдосконалення.

Результати дослідження

Структурна схема БАСМ показана на рис. 1а: 1 — основна електрична машина; 2 — електромашинний збудник; 3 — обертовий перетворювач; 4 — автоматичний регулятор збудження; 5 — обертова частина. ЕМВП розробляються (в основному) на базі:

- одномашинних збудників і безпосередніх ПЧ з природною комутацією (БПЧП);
- каскадних збудників і БПЧП з модульованою напругою (БПЧПМ).

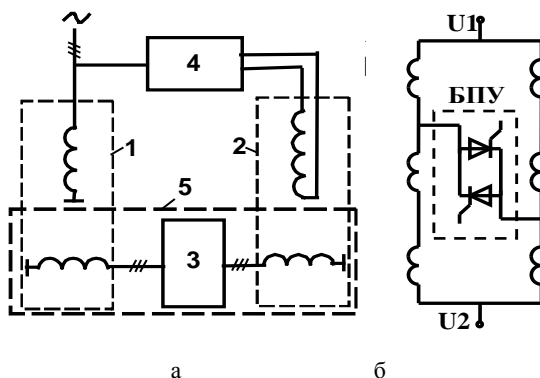


Рис. 1: а — структурна схема; б — пусковий пристрій БАСМ

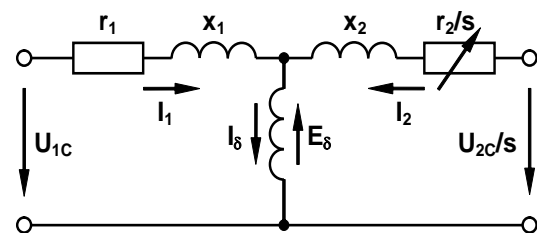


Рис. 2. Схема заміщення основної електричної машини БАСМ

У ЕМВП застосовується комбіноване потенційне розділення обмоток джерела [1], комбінований закон керування зустрічно включеними тиристорами [2]. У ЕМВП з мостовими схемами перетворення застосовується потенціальне розділення обмоток навантаження [12].

Безконтактний пусковий пристрій (БПП) основної електричної машини БАСМ (АМ) може складатися з окремих фазних БПП. Одна із схем фазного БПП показана на рис. 1б. Перевага БПП: схема пристрою не залежить від схеми з'єднання обмотки ротора АМ.

Схема заміщення АМ показана на рис. 2. Параметри ротора зведені до статора.

Векторна діаграма напруги ротора АМ в режимі генератора (АГ) показана на рис. 3. Кінець вектора напруги U_{2C} переміщається по лінії напруги AF , яка проведена через кінець вектора $\dot{I}_2 r_2$ (точка В) паралельно вектору $\dot{E}_{2P} = \dot{E}_\delta - jI_2 x_2$.

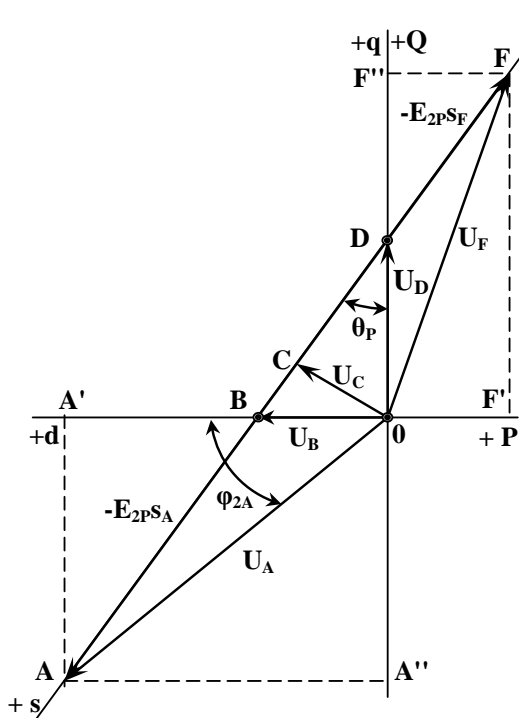


Рис. 3. Векторна діаграма напруг ротора АГ

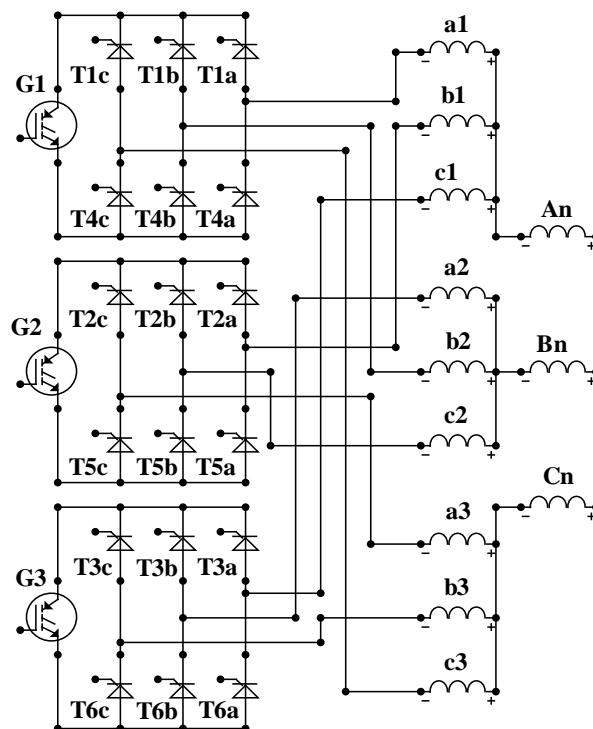


Рис. 4. Схема тиристорно-транзисторного ПЧ

В роботах [13, 14] показано: з циклічним алгоритмом керування БПЧП і БПЧПМ працюєдатні при передачі активної потужності від ПЧ в ротор АГ, з ковзаннями $s > s_D$ (s_D — ковзання в точці D на рис. 3). В роботі [3] запропоновано застосовувати в безконтактному АСТГ трифазно-трифазний діодно-транзисторний перетворювач — перетворювач з штучною комутацією (БПЧШ) та обмеженою кількістю повністю керованих ключів. Перевага БПЧШ — працюєдатність при двосторонній передачі активної потужності. У роботі [8] показано: застосування діодно-транзисторного БПЧШ в БАСМ неприйнятне через низький коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворювача, зумовлений високими комутаційними перенапругами.

Тиристорно-транзисторний БПЧШ (рис. 4) розроблений на базі діодно-транзисторного БПЧШ у разі заміни діодів на тиристри. При шунтуванні транзисторів отримуємо схему БПЧП.

Дослідимо моделі БПЧП і БПЧШ в системі моделювання схемотехніки Місго-Сар при інфранизькій частоті навантаження. Застосовуємо комбінований закон керування, за яким спільне керування зустрічно включеними тиристорами здійснюється при струмах навантаження менших струму уставки, а роздільне — в інших випадках.

Параметри моделей

Джерело: амплітуда ЕРС $A_i = 80$ В; частота $f_i = 148,5$ Гц; повний опір $z_i = 3$ Ом; відносна величина активного опору $k_r = r_i/z_i = 0,25$.

Застосовані транзистори IRG4PH50S_IR, тиристри B25RIA120. Частота керування $f_{uT} = f_{uG} = 148$ Гц. Тривалість сигналів керування $T_{suT} = T_{suG} = 120^\circ$. В БПЧП уставка за струмом

навантаження $i_{nu} = 0,1$ А, в БПЧШ $i_{nu} = 0,5$ А.

Тиристри захищені $R_f C_f$ -фільтрами. В БПЧП: $C_f = 4,8 \cdot 10^{-9}$ Ф; $R_f = 1050$ Ом. В БПЧШ: $C_f = 4,8 \cdot 10^{-8}$ Ф; $R_f = 168$ Ом. Параметри захисних кіл БПЧШ визначалися за умови, що комутаційні перенапруги повинні бути меншими допустимих повторюваних перенапруг.

Навантаження: $f_n = 148,5$ Гц; $z_n = 12,5$ Ом; $\cos \varphi_n = 0,906$.

На рис. 5 показані діаграми струмів навантаження трифазно-трифазних БПЧП (а) і БПЧШ (б). На рисунку: i_A, i_B, i_C — фазні струми навантаження; su_1, su_2 — сигнали керування тиристорами прямого і зворотного блоків тиристорних перемикачів (ТП) фази А. При розрахунках визначалися струми, напруги, потужності ПЧ. ККД перетворювачів: у БПЧП $\eta_{П} = 0,929$; у БПЧШ $\eta_{Ш} = 0,819$.

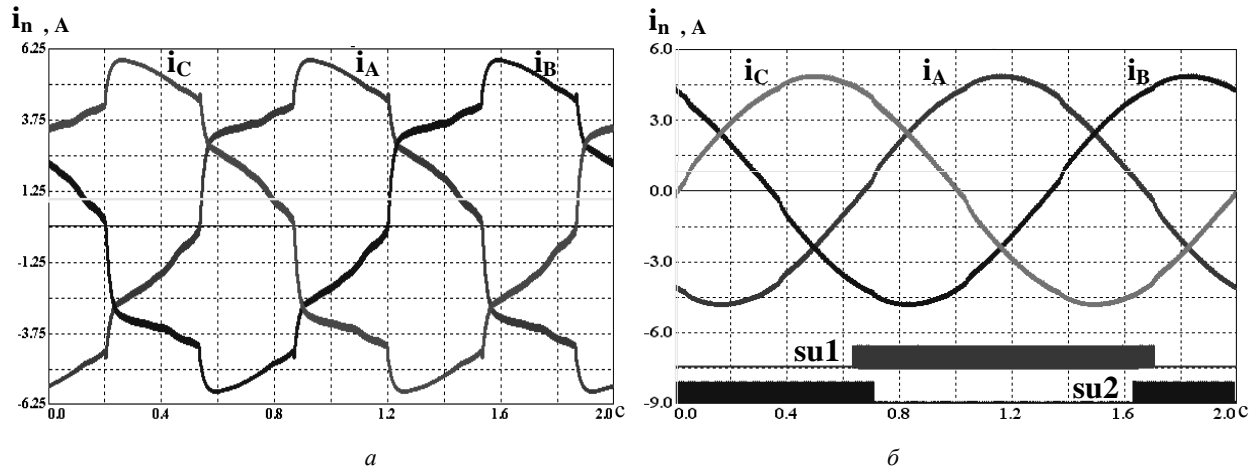


Рис. 5. Діаграми струмів навантаження трифазно-трифазних: а — БПЧП; б — БПЧШ

Аналіз результатів досліджень ПЧ з циклічним алгоритмом керування показує:

— тиристорно-транзисторні БПЧШ не можуть застосовуватися в БАСМ через низький ККД;

— ЕМВП на базі одномашинних збуджувачів і БПЧП не можуть застосовуватися в БАСМ з інфранизкими частотами збудження через низьку якість форми вихідної напруги.

У зв'язку з вищесказаним актуальним є вдосконалення каскадних ЕМВП.

Принципова електрична схема каскадного ЕМВП з трифазно-трифазним БПЧПМ показана на рис. 6: 1, 2 — збуджувачі; 3 — ТП з нульовими схемами перетворення; 4 — АМ; 5 — обертова частина. Співвідношення чисел пар полюсів електричних машин БАСМ з різноіменнополюсним каскадним збуджувачем: $p_2 - p_1 = 2p$, де p_2, p_1, p — числа пар полюсів двох збудників і АМ. На статори обмотки збуджувачів подається напруга частоти мережі, напрямки обертання полів протилежні. Число пар полюсів машини синхронного типу $p_u = (p_2 + p_1)/2$. На вхід трифазних ТП подаються три трифазні системи модульованої напруги. Частота биття дорівнює частоті ковзання, частота заповнення дорівнює частоті ЕРС якорних обмоток керуючої машини. Застосовується комбінований закон керування тиристорами, що обертаються [2].

Макет поєднаного каскадного збуджувача побудований на базі асинхронної машини з фазним ротором МТР 311-8 потужністю 7 кВт, $z_1 = 48$, $z_2 = 36$ [5]. Обмотки збудження збуджувача розташовані на роторі, поєднана якорна обмотка розташована на статорі. Співвідношення чисел пар полюсів збуджувачів: $p_2: p_1: p = 8: 4: 2$. Застосовані фазні ТП з мостовими схемами перетворення. ТП навантажувалися на два незалежних трифазних навантаження — обмотки збудження двох АГ. На рис. 7 показані діаграми фазної напруги навантаження u_n , струму навантаження i_n , струму збудження АГ, якщо $U_n = 65$ В, $I_n = 6,5$ А, $\cos \varphi_n = 1$, $f_n = 50$ Гц.

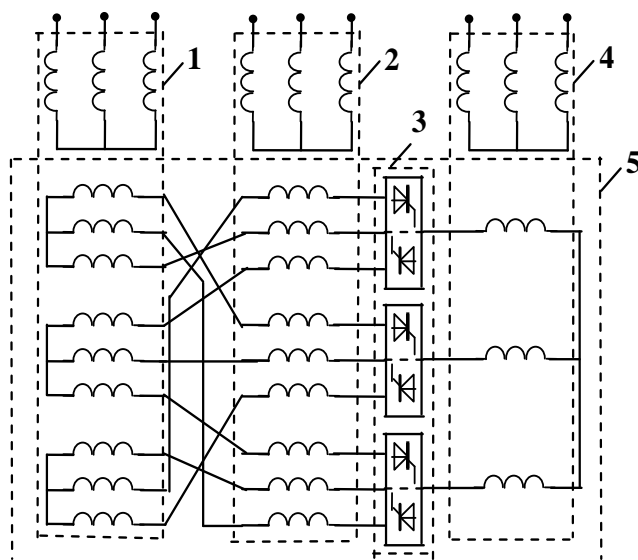


Рис. 6. Принципова електрична схема каскадного ЕМВП

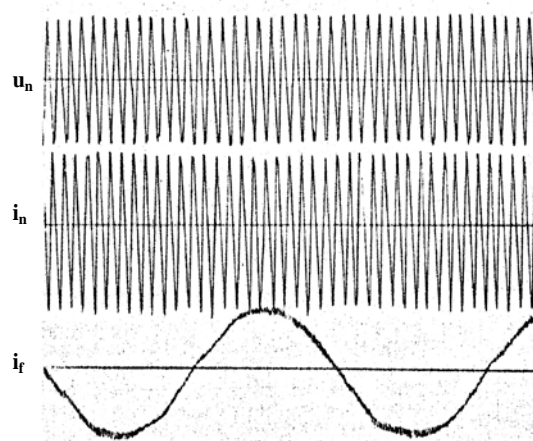


Рис. 7. Діаграми напруг і струмів експериментальної моделі ЕМВП з поєднаним збуджувачем

В роботах [4—6, 10, 12—14] показано: ЕМВП з каскадними модульованими збуджувачами забезпечують високу якість вихідної напруги при інфранизьких частотах, проте якість вихідної напруги істотно знижується, якщо $\cos\varphi_n < 0,7$. Тому доцільним є вдосконалення ЕМВП з поєднаним збуджувачем у напрямку забезпечення роботи перетворювача в режимі БПЧПМ для низьких частот і в режимі БПЧП в інших випадках.

Висновки

1. Розроблена нова схема безконтактного пускового пристрою АСМ.
2. Тиристорно-транзисторні БПЧШ не можуть застосовуватися в БАСМ через низький ККД.
3. ЕМВП на базі одномашинних збуджувачів і БПЧП не можуть застосовуватися в БАСМ з інфранизькою частотою ковзання через низьку якість форми струму збудження.
4. Експериментальні дослідження моделей ЕМВП з поєднаним каскадним збуджувачем показали високу якість форми струму збудження БАСМ з інфранизькою частотою ковзання.
5. Доцільно розробити каскадний ЕМВП БАСМ, що поєднував би позитивні властивості збуджувачів з БПЧП і БПЧП з модульованою вхідною напругою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. с. СССР № 1206922. Преобразователь частоты / А. М. Галиновский, Е. М. Дубчак ; опубл. 1986, Бюл. № 3.
2. А. с. СССР № 1339821. Способ комбинированного управления тиристорным преобразователем частоты / А. М. Галиновский, Е. М. Дубчак ; опубл. 1987, Бюл. № 35.
3. А. с. SU 1534744 5H02P 9/14 Устройство для возбуждения асинхронизированной синхронной машины / Ю. Е. Савельев и др. ; опубл. 08.01.90, Бюл. №1.
4. Галиновский А. М. Совмещенный асинхронный возбудительный преобразователь бесконтактной асинхронизированной синхронной машины / А. М. Галиновский // Регулируемые асинхронные двигатели : сб. науч. тр. — К. : Ин-т электродинамики НАН Украины, 1992. — С. 134—146.
5. Антоненко А. И. Каскадный совмещенный возбудитель / А. И. Антоненко, А. М. Галиновский // Регулируемые асинхронные двигатели : сб. науч. тр. — К. : Ин-т электродинамики НАН Украины, 1992, С. 32—38.
6. А. с. N1823089 СССР, МКИ Н 02 К 17/44. Генераторная установка / А. И. Антоненко, Е. А. Галиновская, А. М. Галиновский ; опубл. 1993 г., Бюл. № 23.
7. Патент України: 80882, H02K 3/28, H02K 17/14, H02P 27/04. Обмотка з перемиканням ефективного числа витків фаз електричної машини змінного струму / О. М. Галіновський, О. О. Ленська. № а 2005 11174; Заявл. 25.11.2005; Опубл. 12,11,2007. Бюл. № 18.
8. Галиновский А. М. Исследование моделей электромашинно-вентильных преобразователей с ограниченным числом полностью управляемых вентилей / А. М. Галиновский, Е. А. Ленская, Эрхард Айхофер // Електротехніка і електро-механіка. — 2006. — № 5. — С. 22—29.
9. Лабунец И. А. Асинхронизированные турбогенераторы. Новости электротехники. [Электронный ресурс] // Информ. спр. изд. Журнал № 1(43) 2007. — Режим доступа : <http://www.news.elteh.ru/about.php>.

10. Галиновский А. М. Электромашинно-вентильные преобразователи бесконтактных асинхронизированных машин с синхронными возбудителями / А. М. Галиновский, Е. В. Кузьминский, Е. А. Ленская // Вісник Кременчуцького держ. університету ім. Михайла Остроградського. — 2008. — Вип. 3, ч. 2. — С. 46—50.
11. Абубакиров Ш. И. Опыт и перспективы использования асинхронизированных гидрогенераторов в проектах ОАО «Институт Гидропроект» / Ш. И. Абубакиров // Гидротехника. — 2010. — № 2 (19). — С. 6—11.
12. Сенько В. И. Многофазно-трехфазные мостовые преобразователи частоты бесконтактных асинхронизированных машин / В. И. Сенько, А. М. Галиновский, Е. А. Ленская // Вісник Кременчуцького держ. університету ім. Михайла Остроградського. — 2011. — № 4 (63), ч. 3. — С. 69—73.
13. Галиновский А. М. Электромашинно-вентильные преобразователи машин двойного питания (часть 1) / А. М. Галиновский, Е. М. Дубчак, Е. А. Ленская // Гірничя електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб., 2010. — № 84. — С. 218—227.
14. Галиновский А. М. Электромашинно-вентильные преобразователи машин двойного питания (часть 2) / А. М. Галиновский, Е. М. Дубчак, Е. А. Ленская // Гірничя електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. — 2010. — № 85. — С. 159—169.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Стаття надійшла до редакції 20.10.11

Рекомендована до друку 25.11.11

Галіновський Олександр Михайлович — доцент кафедри електромеханіки.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ