

ПОЗИЦІЙНИЙ (СЛІДКУВАЛЬНИЙ) ЕЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА З БУФЕРОМ ЕНЕРГІЇ

Ткачук В.І., д.т.н., проф., Біляковський І.С., к.т.н., доц., Копчак Б.Л., к.т.н., доц.
 Національний університет "Львівська політехніка"
 Україна, 79013, Львів, вул. С.Бандери, 12, Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра "Електричні машини і апарати",
 тел. (032) 258-21-60, e-mail: tkachuk@polynet.lviv.ua

Наведено конструктивні схеми і принципову електричну схему чотирисекційного керованого вентильного реактивного двигуна з послідовним буфером енергії. Описано математичні моделі і комп'ютерні програми для дослідження електромеханічних процесів. Представлено результати розрахунку перехідного та квазіусталеного режимів роботи електроприводу на базі цього вентильного двигуна.

Приведены конструктивные схемы и принципиальная электрическая схема четырехсекционного управляемого вентиального реактивного двигателя с последовательным буфером энергии. Описаны математические модели и компьютерные программы для исследования электромеханических процессов. Представлены результаты расчета переходного и квазистационарного режимов работы электропривода на базе этого вентиального двигателя.

ВСТУП

Вентильний реактивний двигун (ВРД), завдяки своїм позитивним якостям, серед яких найважливішими є: прості будова й виробництво; мала вартість виготовлення; висока надійність; добрі умови охолодження; можливість роботи в агресивних середовищах; малий початковий момент опору ротора; можливість точного регулювання частоти обертання, яке досягається малим коштом з застосуванням безконтактної техніки все частіше застосовують в регульованих електроприводах.

Під терміном "вентильний реактивний двигун" розумітимемо електротехнічний комплекс в складі електромеханічного перетворювача (ЕМП), давача положення ротора (ДПР), електронного комутатора (ЕК) та блоку керування (БК).

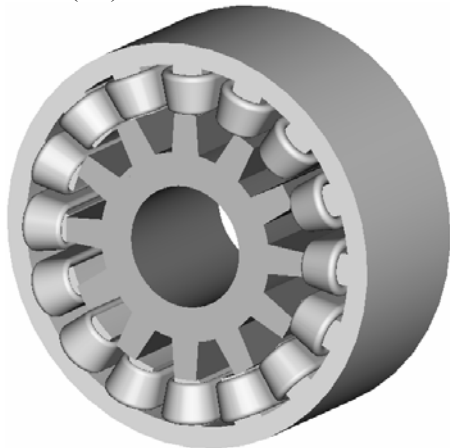


Рис. 1. Конструктивна схема ЕМП 4-секційного ВРД

Як ЕМП доцільно використовувати структуру, яка складається з явнопольного статора з зосередженими котушками його обмотки і пасивного ротора. Найбільш доцільні конструктивні схеми ЕМП запропоновані в [1], одна із яких – "класичного" виконання, наведена на рис. 1, а псевдо-U-подібного – на рис. 2.

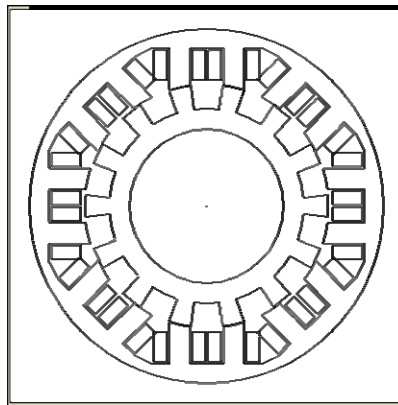


Рис. 2. Поперечний перетин ЕМП ВРД псевдо-U-подібної конструкції

Широке використання ВРД в електроприводах стримується з причини низьких енергетичних показників, внаслідок того, що енергія, яка накопичується в магнітному полі обмотки статора, на кожному періоді комутації розсіюється на елементах захисту силових ключів ЕК і не приймає участі в електромеханічному перетворенні.

В [2] запропоновано схеми ЕК з буферами енергії, застосуванням яких вирішуються три задачі: по-перше, утилізується енергія запасена в електромагнітному полі ЕМП; по-друге, обмежується наростання напруги на силовому ключі комутатора до рівня допустимого; по-третє, за рахунок майже миттєвого перехоплення струму вимикання ключа колом заряду конденсатора значно зменшуються динамічні втрати на його перемикання. Застосування схем з буферами енергії у ВРД покращують його коефіцієнт віддачі в 1.3 - 1.4 рази, що впритул наближує техніко-економічні показники ВРД з буфером енергії до показників колекторних двигунів постійного струму.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Наявність повністю керованих силових електронних елементів в колі статорних обмоток ВРД дозво-

ляє використати їх і для створення керованого слідкувального й позиційного електроприводів. Для цього вони повинні забезпечувати високу динаміку під час розгону, ефективно гальмування та достатньо точне позиціонування в стопорному режимі.

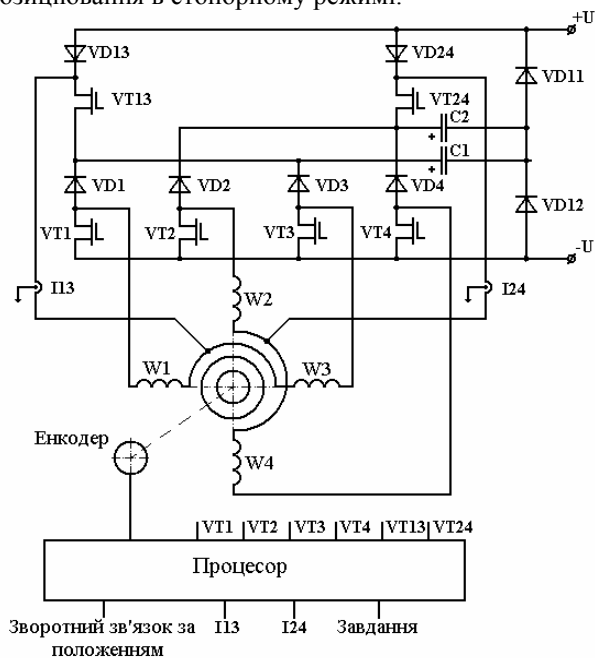


Рис. 3. Принципова електрична схема комутатора 4-секційного ВРД

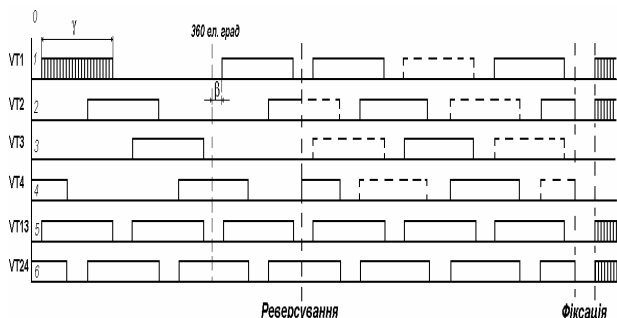


Рис. 4. Діаграма імпульсів керування

На рис. 3 наведено принципову електричну схему керованого 4-секційного ВРД з послідовним буфером енергії, а на рис. 4 – діаграму імпульсів керування, які реалізують обмеження максимального значення струму на заданому рівні, широтно-імпульсне регулювання частоти обертання, гальмування за допомогою реверсування та позиціонування шляхом збудження однієї або двох секцій нормованим струмом.

При застосуванні енкодера типу HEDS як первинного давача положення ротора алгоритм організації сигналів може бути наступним.

При $Z_R = 12$ повний оборот ротора складає $360 \times 12 = 4320$ ел. град., а значить одна дискрета давача відповідає $4320 : 2048 = 2,109$ ел. град.

Прийнявши за нульове положення - положення ротора ВРД, за якого вісь паза ротора співпадає з віссю зубця статора, для першого каналу 11-ий імпульс. вмикає транзистор VT1, 76-ий – вимикає, 181-ий – вмикає, 246-ий вимикає і т.д., що буде відповідати 21,1 ел. град. початкового кута вмикання і 137,1 ел.

град. – тривалість включення секції.

Для другого каналу 53-ий імпульс. вмикає транзистор VT2, 118-ий – вимикає, 223-ий – вмикає і т.д., що відповідає зміщенню комутації другої секції відносно першої секції приблизно на 90 ел. град.

Для третього каналу 97-ий імпульс вмикає транзистор VT3, 162-ий – вимикає, 268-ий вмикає і т.д., що також відповідає зміщенню комутації третьої секції відносно другої приблизно на 90 ел. градусів.

Для четвертого каналу при нульовому положенні ротора транзистор VT4 увімкнений і вимикається 35-тим імпульсом, 140-ий імпульс. – вмикає, 206 імпульс. – вимикає і т.д.

На діаграмі імпульсів керування показано режим роботи під час руху в умовно прийнятому додатному напрямку, реверсування для режиму гальмування і руху в протилежному напрямку та фіксації положення шляхом збудження двох секцій (режим електричного дроблення кроку), звідки видно, що реверсування здійснюється без зміни структури схеми, а тільки шляхом подачі імпульсів керування від давача положення ротора першого каналу на третій і навпаки, а другого каналу на четвертий і навпаки.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Для побудови математичної моделі досліджуваного вентильного двигуна прийнято допущення, які не надто спотворюючи реальні фізичні процеси дозволили отримати прості математичні залежності, що адекватно відображають електромеханічне перетворення в ньому енергії: інвертор сполучений з джерелом напруги, внутрішній опір якого дорівнює нулю; магнітні зв'язки між секціями відсутні; силові ключі комутатора - безінерційні електронні ключі; діоди представлено математичною моделлю; магнітна характеристика магнітопроводу магнітоізованої секції представлена аналогічним виразом; параметри обмотки статора зосереджені, втрати в сталі представлені струмами Фуко [3].

Правомірність цих допущень для некерованого ВРД багатократно доведена співставленням результатів експериментальних і математичних досліджень ВРД в діапазоні потужностей від 30 Вт і до 5 кВт.

Згідно з прийнятими допущеннями, кожен із секцій m -секційного ВД можемо в електричному відношенні розглядати окремо, а зв'язувати їх тільки через створюваний ними електромагнітний момент, який діє на ротор.

Для математичного моделювання широтно-імпульсної модуляції струмів секцій прийемо допущення, що транзисторний ключ відповідної секції завжди вмикається сигналом ДПР і буде знаходитись в цьому стані протягом часу, який визначається щільністю імпульсу ШІМ (відношення тривалості імпульсу ШІМ до його періоду). Подальший алгоритм роботи ключів визначається логічним добутком сигналів ДПР і сигналів ШІМ і вимкнення відповідного ключа може бути здійснено або сигналом ШІМ, або сигналом ДПР.

Описана математична модель послужила основою для створення автоматизованої системи дослідження керованих електроприводів на базі явнополюсних вентильних реактивних двигунів з послідовними ємнісними буферами енергії [4], яка дозволяє здійснювати комплексні дослідження характеристик та поведінки ВРД в складі електромехатронних систем за різноманітних режимів роботи.

Система містить й надає користувачу в інтерактивному режимі необхідний довідниковий матеріал, створює відповідні файли результатів розрахунку, що дозволяє використовувати відповідні програмні пакети для візуалізації графічних залежностей з метою полегшення аналізу.

Система дозволяє досліджувати і регулювальні властивості електроприводу, розраховуючи за цього миттєві значення всіх важливих координат.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ

За допомогою математичної моделі та комп'ютерного симулювання електромеханічних процесів у керованому ВРД з буфером енергії проведені комплексні дослідження позиційного електроприводу з наступними параметрами: діаметр статора – 72 мм; зовнішній діаметр статора – 115 мм; аксіальна довжина статора – 48.5 мм; ширина зубців статора – 7.1 мм; висота зубців статора 16,5 мм; кількість зубців статора – 16; діаметр ротора – 71.5 мм; кількість зубців ротора – 12; кількість витків на одному зубці – 150; марка проводу – ПЕТВ; діаметр провідника – 0.5 мм; діаметр провідника з ізоляцією – 0.545 мм; площа поперечного перетину – 0.1963 мм²; опір фази при $t=20^\circ$ – 1.55 Ом; опір фази при $t=75^\circ$ – 1.88 Ом; напруга – 150 В; ємність буфера – $C=50$ мкФ; момент інерції $J=0.001$ кгм²; установка струмообмеження – 6 А.

На рис. 5 наведено результати розрахунку перехідного процесу пуску ВРД з широтно-імпульсним регулятором за щільності імпульсів ШІМ $d=0,95$ (I_1, I_2, I_3, I_4 – струми 1,2,3,4 секцій відповідно; M – електромагнітний момент; n – швидкість обертання ротора; I – струми Фуко в магнітопроводі), які демонструють можливості автоматизованої системи дослідження для синтезу і аналізу слідкувального електроприводу на базі керованого ВРД з буферами енергії. Аналіз перехідного процесу свідчить про те, що даний електропривод забезпечує високу динаміку під час розгону ($d\omega/dt \approx 33 \cdot 10^3$ с⁻²).

На рис. 6 наведено результати математичного дослідження режиму гальмування з квазіусталеного стану, які свідчать про ефективне гальмування шляхом противмикання навіть за обмеження максимального значення струму на рівні 4 А. Система дослідження дозволяє аналізувати поведінку електроприводу на рівні миттєвих значень всіх фізичних величин.

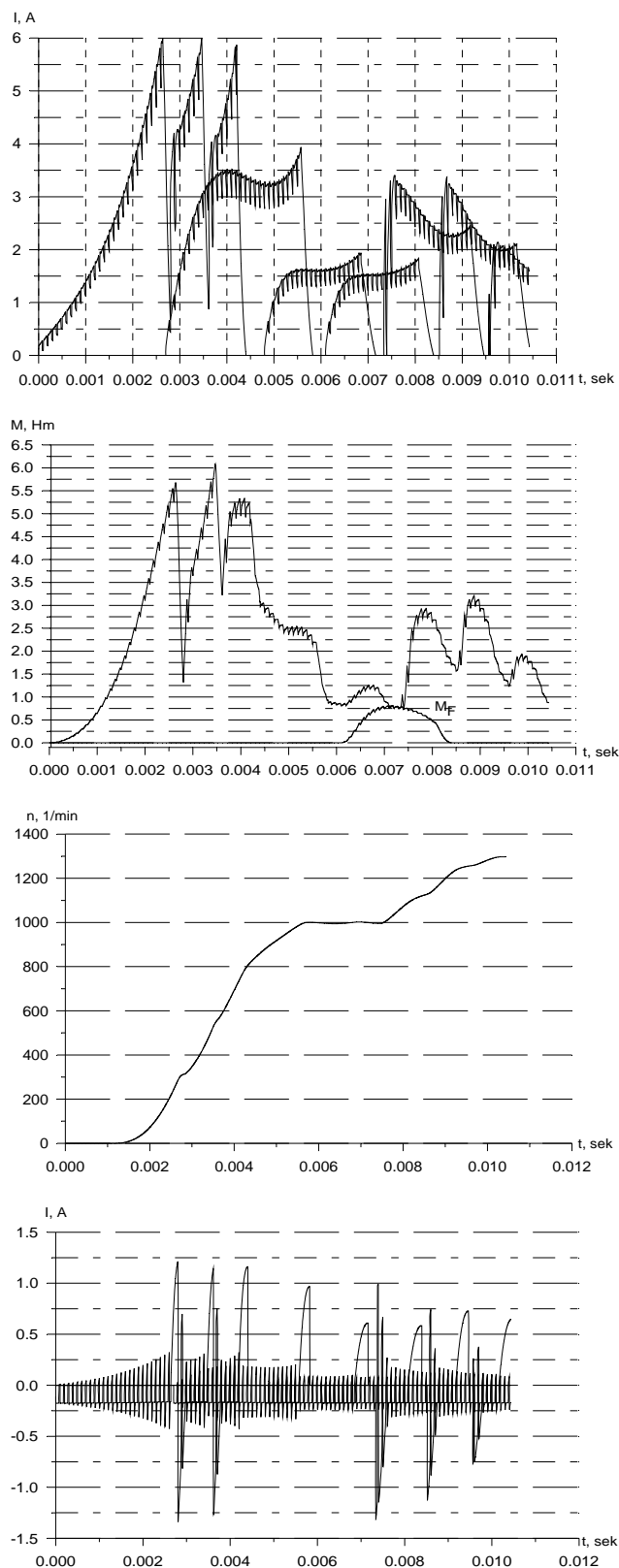


Рис. 5. Результати розрахунку процесу пуску за щільності імпульсів ШІМ $d=0,95$

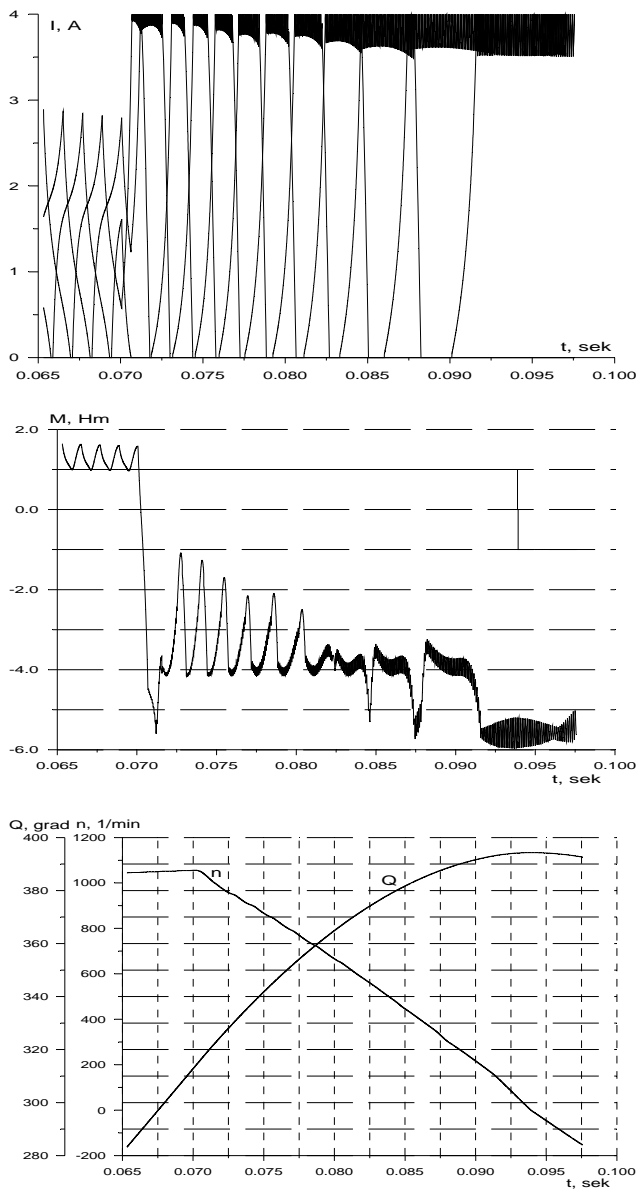


Рис. 6. Результати розрахунку режиму реверсування

Позиціонування електроприводу можна забезпечити збудженням однієї або двох секцій. У випадку збудження секцій однакоvim струмом для даного двигуна отримаємо дискрету взаємного положення ротора і статора на рівні 2.8 градуса. Якщо ж збуджувати секції різним нормованим струмом, то можемо значно зменшити цю дискрету.

Так на рис. 7 наведено результати розрахунку електромагнітного моменту в стопорному режимі при збудженні першої і другої секції (чи будь-яких інших сусідніх) різними значеннями струмів. Дані залежності дають можливість визначати значення нормованих струмів для забезпечення заданого позиціонування за наступним алгоритмом: 1-е положення – збуджена секція 1 струмом 3 А (залежить від величини збуджувального зусилля); 2-е положення – збуджені секції 1 струмом 4 А та 2 струмом 1.25 А; 3-е положення – збуджені секції 1 струмом 2.6 А та 2 струмом 1.4 А; 4-е положення – збуджені секції 1 струмом 2.6 А та 2 струмом 2 А; 5-е положення – збуджені обидві секції однакоvim струмом; 6-е положення – збуджені секції

1 струмом 2 А та 2 струмом 2.6 А; 7-е положення – збуджені секції 1 струмом 1.4 А та 2 струмом 2.6 А; 8-е положення – збуджені секції 1 струмом 1.25 А та 2 струмом 4 А.

Наведена організація позиціонування забезпечує дискрету взаємного положення структур ротора і статора – 0.7 градуса.

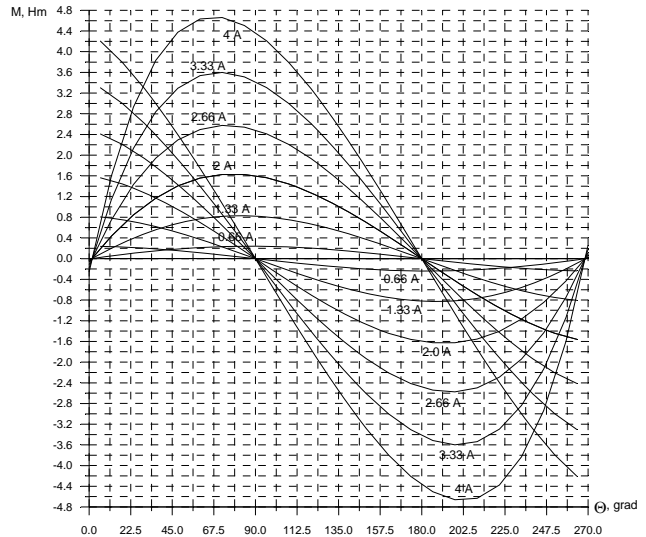


Рис. 7. Залежність електромагнітного моменту від кута положення ротора при збудженні двох сусідніх секцій

ВИСНОВКИ

Застосування вентильного реактивного двигуна з послідовним ємнісним буфером енергії в керованому слідкувальному й позиційному електроприводі забезпечує високу динаміку під час розгону, ефективне гальмування та достатньо точне позиціонування в стопорному режимі.

Розроблена математична модель електроприводів на базі явнополюсних вентильних реактивних двигунів з послідовними ємнісними буферами енергії має високу ступінь адекватності і дозволяє здійснювати комплексні дослідження характеристик та поведінки ВРД у складі електромеханотронних систем за різноманітних режимів роботи.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Ткачук В.І. Електромеханотроніка: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2001. – 404 с.
- [2] Ткачук В.І. Ємнісний накопичувач енергії у вентильно-реактивному двигуні // Електроенергетичні та електромеханічні системи. Вісник ДУ "Львівська політехніка". - 1997. - № 334. - С. 125-131.
- [3] Ткачук В.І. Вентильний реактивний двигун та його математична модель // Теоретична електротехніка. - 1998. - № 54. - С. 121-127.
- [4] Ткачук В. Підсистема автоматизованого дослідження вентильних реактивних двигунів // Технічна електродинаміка. - 1998. - С. 180-187.

Надійшла 5.09.2006