

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ З ІДЕНТИФІКАТОРОМ ПОТОКУ СТАТОРА НА ОСНОВІ РЕКУРЕНТНОЇ ДВОШАРОВОЇ НЕЙРОМЕРЕЖІ

Коцегуб П.Х., Коротков А.В., Божко В.В.

Донецький національний технічний університет

korotkov_av@elf.dgtu.donetsk.ua

У 1986 році було запропоновано принципово новий спосіб керування асинхронним двигуном (АД) з інвертором напруги, в якому діючий стан інвертора робиться таким, щоб зменшити помилку величини, що регулюється, при цьому вибір стану залежить тільки від знака помилки, а не від її значення [1]. Для керування АД використовуються величини, що регулюються: потокозчеплення статора ψ_s , яке тримається на постійному рівні ψ_{ref} , та момент двигуна M_d , що встановлюється рівним заданому значенню M_{ref} . Стан інвертора, залежить від знаків помилок $dM = M_{ref} - M_d$ та $d\psi_s = \psi_{ref} - \psi_s$, а також від положення вектора ψ_s . Для чого увесь простір станів інвертора розбивається на 6 секторів, по 60° градусів кожний, при цьому середина першого сектора знаходиться у напрямку вічовій вісі (рис. 1).

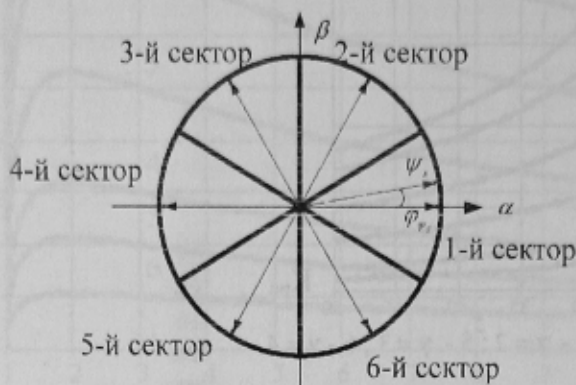


Рисунок 1 - Вектор ψ_s у системі простору векторів напруги інвертора

му рівні з точністю $\pm\delta$. Перемикання управляючих дій (напруг) необхідне тільки в тому випадку, якщо поточні значення моменту або потоку статора відрізняються від заданих на величину перевищуючу допустиму погрішність δ . Таким чином реалізується релейне керування.

Момент можна уявити як векторний добуток:

$$m = C|\psi_s \times \psi_r| = C\psi_s\psi_r \sin \vartheta, \quad (2)$$

де ψ_s , ψ_r – потік статора і ротора, C – постійний коефіцієнт, ϑ – кут між векторами потоків статора і ротора.

Звідси видно, що на величину моменту можна впливати зміною модулів магнітних потоків або кута між ними. Оскільки потоки прагнуть зберегтися незмінними, на величину моменту впливають регулюючи кут ϑ . Це можливо за рахунок вибору відповідного вектора напруги статора.

Пряме керування моментом в даний час відноситься до найбільш перспективних і якісних способів частотного керування асинхронним двигуном завдяки високій швидкодії. Підвищені вимоги до якості ідентифікації регульованих координат і до швидкодії мікропроцесорної техніки обмежують широке розповсюдження даного принципу керування. Методи отримання інформації про поточний стан двигуна запатентовані і не публікуються в літературі. Як правило, дається лише загальна інформація про дану систему.

Спрощена функціональна схема системи керування показана на рис. 2. Ядром системи є релейні регулятори моменту (РМ) і модуля потоку статора (РП), які порівнюють задані значення змінних з обчисленими і видають логічні сигнали на блок вибору вектора напруги (БВВН).

Розділення каналів регулювання моменту і магнітного потоку досягається за рахунок того, що завжди можна вибрати такий вектор напруги, тобто такий стан інвертора, який викличе зміну як моменту, так і потоку в необхідному напрямі. Широтно-імпульсний модулятор, як такий, в даній системі відсутній. Завдання частоти обертання ротора подається на вхід задавача інтенсивності (ЗІ), який забезпечує розгін з постійним прискоренням. ПІ-регулятор швидкості (РШ) порівнює задані значення з оцінкою частоти обертання ротора і формує задання на момент. Ланка обмеження (ЛО) введена для того, щоб не допустити високих значень заданого моменту.

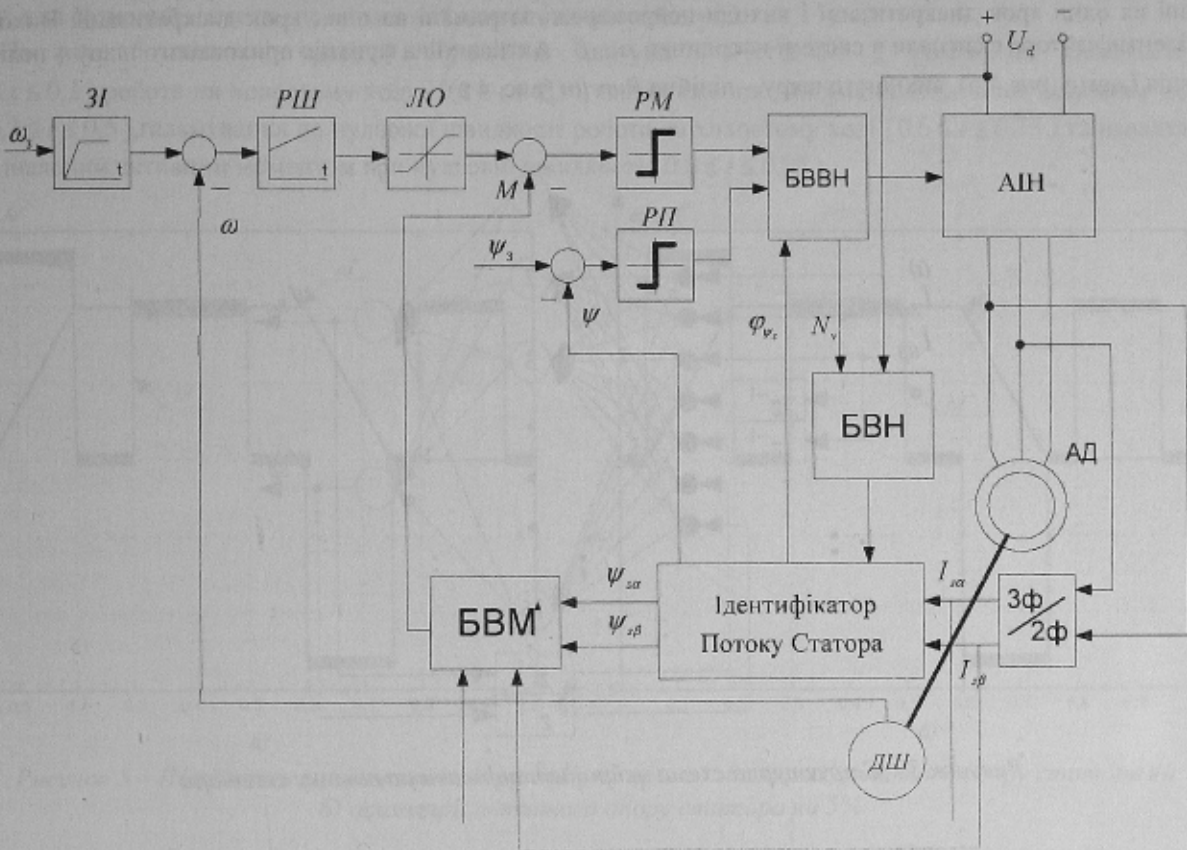


Рисунок 2 – Спрощена функціональна схема системи прямого керування моментом

Для отримання зворотних зв'язків використовується ідентифікатор моменту і потоку статора. Напряги статора визначаються блоком визначення напруги (БВН) через напругу ланки постійного струму U_d і поточний номер вектора напруги N_v . Спостерігач потоку є найбільш важливою частиною системи, оскільки задача обчислення потоку у всьому діапазоні частот обертання не має в даний час загального рішення.

Ідентифікатор моменту побудований за допомогою рівняння:

$$M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot (I_{S\beta} \cdot \psi_{S\alpha} - I_{S\alpha} \cdot \psi_{S\beta}), \quad (3)$$

де Z_p - число пар полюсів асинхронного двигуна, $I_{S\alpha}$, $I_{S\beta}$ - проекції струму статора в ортогональній нерухомій системі координат, $\psi_{S\alpha}$, $\psi_{S\beta}$ - проекції потоку статора в ортогональній нерухомій системі координат.

Основною задачею від рішення якої залежить працездатність системи є ідентифікація потоку статора, який надалі використовується у всіх обчисленнях в системі ПКМ. Традиційно вона визначається інтеграцією (1), яка приводить до накопичення помилки. В даному випадку джерелом появи помилки є неточність визначення активного опору статора R_S і його зміна під впливом нагріву в процесі роботи двигуна. Процес нагріву може бути довготривалим, коли зміна теплового стану та активних опорів обмоток двигуна відбувається за декілька годин, а може бути і локальний нагрів обмоток під час намагнічування, пуску, навантаження. При наявності таких збурень необхідно точно отримувати інформацію про модуль і положення вектору потоку статора та обчислювати інші координати електропривода. Як вказується в літературі [2] - помилка визначення R_S більш ніж 10% приводить до втрати працездатності системи. Опір ротора R_r також змінюється, але чутливість системи ПКМ до помилки його ідентифікації невелика і позначається тільки на точності оцінки частоти обертання в приводі без датчика швидкості.

Останнім часом проявляється значний інтерес к системам з нейронними мережами. В електроприводі вони знайшли використання в якості швидкодіючих адаптивних ідентифікаторів змінних двигуна та регуляторів координат [3 - 5].

Дослідження системи ПКМ відбувалося шляхом математичного моделювання в додатках Simulink та Neural Network Toolbox пакету Matlab. В додатку Simulink було розроблено математичну модель системи ПКМ асинхронного двигуна потужністю 2,2 кВт. В результаті багатьох розглянутих варіантів нейромереж, ідентифікатор потоку статора був обраний у формі двошарової штучної нейронної мережі, яка має два зворотних зв'язки затримані на один крок дискретизації (рис. 3). Кількість нейронів у прихованому шарі прийнято рівною

15. Вхідними сигналами обрані: швидкість (ω), струм статора в системі координат $\alpha - \beta$ ($I_{s\alpha}, I_{s\beta}$), вони же затримані на один крок дискретизації і виходи нейромережі затримані на один крок дискретизації. Виходом даного ідентифікатора є сигнали в системі координат $\alpha - \beta$. Активаційна функція прихованого шару – нелінійна функція *Logsig* (рис 4 б), вихідного шару – лінійна *Purelin* (рис. 4 а).

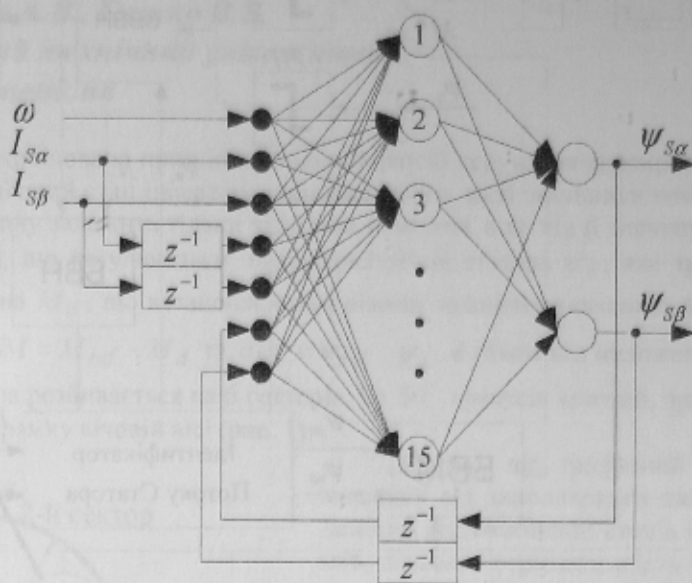


Рисунок 3 – Структурна схема нейроідентифікатора потоку статора

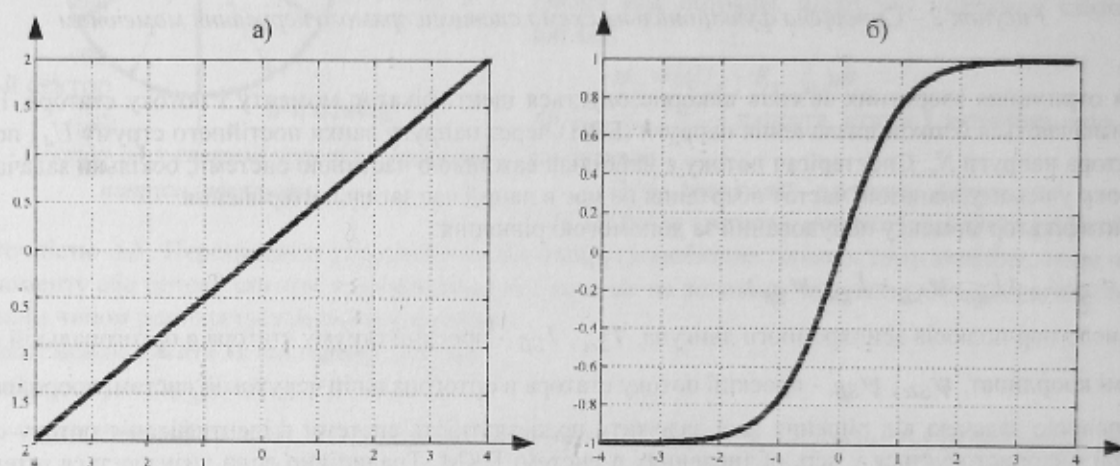


Рисунок 4 Активаційні функції:

а) *Purelin*, б) *Logsig*

Для тренування нейроідентифікатора були обрані дані, отримані в процесі моделювання роботи системи ПКМ із датчиком поточкозчеплення статора на основі рівняння (1). Для тренування нейромережі було обрано 400 тренувальних пар. Тренування здійснювалось за методом Левенберга–Макварта, який є квазіньютонівським алгоритмом оптимізації вагових коефіцієнтів нейромережі та заснований на непряму обчисленні другої похідної за помилкою.

Відзначимо, що отримана структура нейромережевого ідентифікатора – 5(2)-15-2 (рис. 3) дозволяє визначати одночасно модуль і кут поточкозчеплення статора, тобто не потрібно застосовувати дві окремих мережі, як пропонується в [3]. Однак у якості одного із вхідних сигналів отриманий нейроідентифікатор використовує кутову швидкість ротора двигуна.

Перехідні процеси, отримані в результаті моделювання в пакеті Matlab з нейроідентифікатором потоку статора, наведені на рис. 5. Де представлені перехідні процеси кутової швидкості ω^* та моменту на валу двигуна-

на M^* у долях базисних одиниць. За базисну кутову швидкість прийнята кутова швидкість ідеального холостого ходу, а за базисний момент – номінальний момент на валу двигуна.

На рис. 5 показані процеси: збудження двигуна ($0 \leq t \leq 0,05$), розгін до швидкості ω_0 ($0,05 \leq t \leq 0,2$), робота на холостому ході ($0,2 \leq t \leq 0,3$), навантаження двигуна номінальним активним моментом ($0,3 \leq t \leq 0,5$), гальмування до нульової швидкості робота на холостому ході ($0,6 \leq t \leq 0,75$) та навантаження номінальним активним моментом при нульовій швидкості ($0,8 \leq t \leq 0,95$).

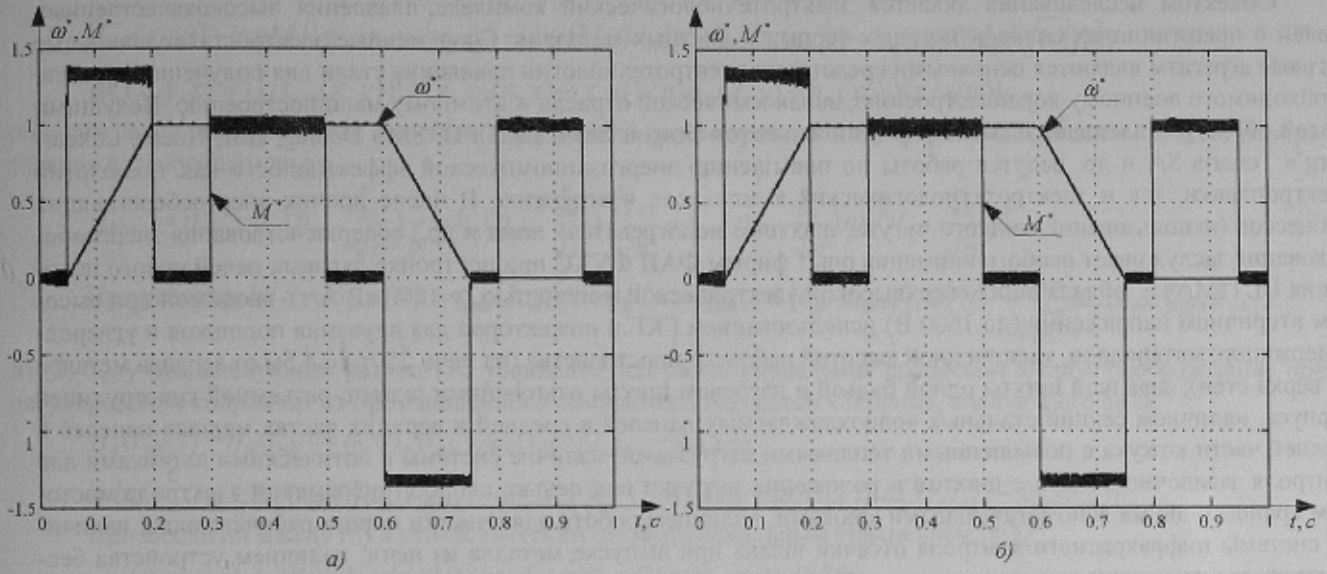


Рисунок 5 – Швидкість та момент на валу двигуна при: а) збільшенні активного опору статора на 10%, б) асиметрії активного опору статора на 5%

Можна побачити, що система прямого керування моментом з нейроідентифікатором потоку статора при зміні активного опору статора залишається працездатною та забезпечує високоякісні динамічні і статичні характеристики.

Висновки:

1. Система прямого керування моментом асинхронного двигуна є працездатною з нейромережовим ідентифікатором потоку статора.
2. Ідентифікатор потоку статора можна реалізувати тільки на основі рекурентної нейромережі.
3. Використання нейроідентифікатора потоку статора дозволяє знизити чутливість системи до зміни активного опору статора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. – Х.: Основа, 2004. – 210 с.
2. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Барац Е.И. Адаптивная система прямого управления моментом асинхронного двигателя // Электротехника, № 11. – 2001.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Зюзев А.М., Аверьянов М.А., Барац Е.И., Костылев А.В. Нейронный наблюдатель для асинхронного электропривода с прямым управлением моментом // Труды двенадцатой научно-технической конференции «Электроприводы переменного тока». – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001 г. – с. 106-112.
4. Сметана І.В., Лозинський А.О. Застосування штучних нейронних мереж для підвищення точності ідентифікації потокозчеплення в системах електроприводу з векторним керуванням // Міжв. наук.-техн. збірник «Електромашинобудування та електрообладнання», вип. 63, - Київ: Техніка, 2004. – с. 7-16.
5. Методы робастного, нейро-печетного и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 786 с.