

---

---

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.055

## АКТУАЛЬНІСТЬ СИСТЕМИ ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Стьопкін В.В., Смірнов Г.М., Науменко В.В., Свободін О.О.

*Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна*

**Вступ.** Метод прямого керування моментом асинхронного двигуна (DTC) вперше був запатентований фірмою АВВ, а реалізація методу в промисловість стала можливою в середині 90-х із появою високоточної швидкодіючої мікропроцесорної техніки, запропонованою фірмою АВВ. У 1995 році АВВ запропонувала перший перетворювач частоти ACS600 з новою системою прямого керування моментом DTC [1]. Системи DTC є актуальними для електроприводів з формуванням електромагнітного моменту. На теперішній час пряме керування моментом є сучасним способом керування частотно-регульованим асинхронним приводом з вагомими перевагами – відсутність необхідності у зворотному зв'язку за швидкістю та положенням двигуна [2]; висока швидкодія системи завдяки оптимальним регуляторам моменту та потокозчеплення; висока статична та динамічна точність швидкості; стабільність функціонування при наявності похибок даних спостережуваних параметрів об'єкта керування [3]; оптимальне перемикання транзисторів для кожного циклу керування та відповідність привода вимогам керованого навантаження; стабільність функціонування при різних збуреннях в процесі регулювання координат об'єкта керування [4]. Система DTC, у порівнянні з векторними системами керування, не вимагає у своїй структурі ланок компенсації перехресних зв'язків, перетворення координат, окремих регуляторів для кожної складової струму статора. Але для систем DTC, на теперішній час, в тому числі й для механізмів залізничного транспорту, не в достатній мірі розроблені алгоритми керування процесом перемикання силових модулів інвертора з врахуванням механіки електропривода.

**Основний матеріал.** В роботі розглянутий спосіб прямого керування моментом асинхронного двигуна (DTC) як альтернативного універсального керування у протизвагу існуючим. Відомим способом керування є векторне, яке забезпечує точну підтримку електромагнітного моменту та стійку роботу електропривода на всьому діапазоні швидкостей. Основними видами систем з векторним керуванням є датчикові та бездатчикові, причому відсутність датчику швидкості збільшує об'єми розрахунків у системі керування та призводить до її ускладнення.

Альтернативним варіантом може виступати система DTC. Математична модель системи прямого керування моментом асинхронного двигуна (DTC) може бути виконаною на типових блоках у програмному середовищі MATLAB.

Система DTC заснована на принципах векторного керування. Відмінністю від систем з орієнтацією поля є відсутність контурів регулювання проєкцій струму статора, які визначають електромагнітний момент та потік. Контури регулювання потоку та моменту є внутрішніми. Ідея керування полягає у визначенні на кожному кроці розрахунку оптимального стану інвертора напруги, такого, яке викличе зміну моменту та потоку статора в необхідному напрямку з метою зведення до нуля помилки між заданим та дійсним значенням регульованої величини. Тут ланка широтно-імпульсного модулятора стає непотрібною. Стан ключів інвертора змінюється не на кожному кроці – відбувається гістерезисне керування з підтримкою регульованих величин у заданих межах. Зміна стану інвертора відбувається при перевищенні граничного значення модулю помилки за моментом або потоком. Чим більший цей допуск, тим менша частота комутації вентилів і тим гірша якість регулювання.

Принцип реалізації керування DTC розглядається на прикладі нерухомої системи координат з відповідними секторами та векторами напруг на рис.1.

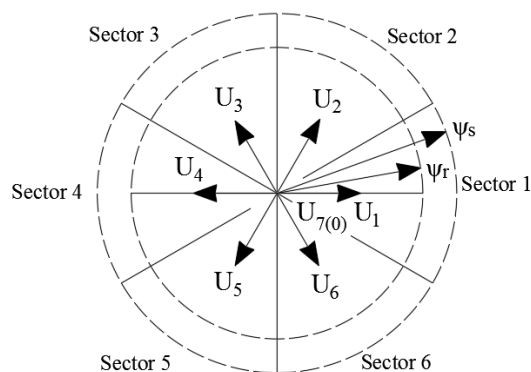


Рисунок 1 - Відповідність секторів та векторів напруг у нерухомій системі координат

Електромагнітний момент асинхронного двигуна знаходиться через векторний добуток потокозчеплень статора та ротора:

$$M = \frac{3}{2} \cdot \frac{p_n \cdot L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \psi_s \cdot \psi_r \cdot \sin \gamma, \quad (1)$$

тут  $L_s$  – індуктивність статора;  $L_r$  – індуктивність ротора;  $\gamma$  – кут між векторами потоків статора та ротора.

Модуль потоку статора підтримується на постійному рівні. Модуль потоку

ротора змінюється повільніше за модуль потоку статора за рахунок великої постійної часу ротора. Регулювання моменту здійснюється шляхом впливу на кут між цими двома векторами.

Можливість такого регулювання витікає з формули:

$$\frac{d\psi_s}{dt} = U_s - I_s \cdot R_s, \quad (2)$$

тут  $U_s$  – напруга статора;  $I_s$  – струм статора;  $R_s$  – активний опір статора.

Формула (2) спрощується при нехтуванні падінням напруги у статорній обмотці двигуна. Це є припустимим, так як розглядається тільки напрям зміни вектора  $\psi_s$  який має такий самий напрям як і вектор напруги статора  $U_s$ .

Вибір оптимального вектору здійснюється наступним чином. Площина розбивається на шість рівних секторів (рис.1). Розглядається один з них. Якщо вектор статора знаходиться у секторі 1 і необхідно збільшити момент, то слід застосовувати один із випереджуючих векторів  $U_2$  або  $U_3$ . Ці два вектори збільшать кут  $\gamma$  і, як слідство збільшиться момент. Перший вектор застосовується при збільшенні модулю потоку статора, а другий при його зменшенні. Для зменшення моменту застосовується один з нульових векторів  $U_0$  або  $U_7$ . Нульовий вектор напруги викликає зупинку вектора потоку статора. При цьому потік ротора продовжує обертатися, наздоганяючи потік статора, що призводить до зменшення моменту. При малих частотах обертання двигуна потік ротора рухається повільно, і в цьому випадку не вдається швидко зменшити момент за допомогою нульового вектора напруги. В таких випадках використовується відстаючий вектора напруги  $U_5$  або  $U_6$ .

**Висновки.** Основною перевагою розглянутого способу керування є простота реалізації та універсальність для усіх типів асинхронних двигунів. Основним недоліком є коливальність моменту, що знижує точність його регулювання. Усунути недолік можна шляхом розробки алгоритмів вибору стану ключів інвертора. Система DTC може виступати альтернативою векторному або скалярному керуванню для електроприводів механізмів залізничного транспорту де головним є формування моменту.

### Література

1. ABB. DTC: A motor control technique for all seasons [Electronic resource] / ABB. – 2015. – Resource access mode: <https://new.abb.com/drives/dtc>
2. Rupert Gouws. Efficiency analysis of an induction motor with direct torque and flux control at a hot rolling mill / Rupert Gouws. // Paper presented at the Industrial & Commercial Use of Energy Conference (ICUE) 2014. – 2014. – №3. – P. 111–115
3. Azhan Ab Rahman. Simulation on Simulink AC4 Model (200hp DTC Induction Motor

Drive) using Fuzzy Logic Controller / Azhan Ab Rahman. // International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE 2010). – 2010. – P. 553–557.

4. H.F. Abdul Wahab. Simulink Model of Direct Torque Control of Induction Machine / H.F. Abdul Wahab, H. Sanusi. // American Journal of Applied Sciences. – 2008. – №5. – P. 1083–1090.

## **THE RELEVANCE OF THE SYSTEM OF DIRECT CONTROL OF THE TORQUE OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR**

Stopkin Vasyl, Smirnov Heorhii, Naumenko V., Svobodin O.

Abstract. In the article, a mathematical model of the DTC (direct torque control) system of an alternating current electric drive is developed for the tasks of urban electric transport rolling stock, as an alternative to complex vector control of an asynchronous motor, taking into account its relevance, principles of operation and causes of occurrence. The research of the mathematical model of the direct control of the torque of the asynchronous motor in MATLAB was carried out, its main shortcomings, which limit the scope of its application, were revealed. The main task of the DTC system is to identify the stator flux linkage, which is solved by integration with error accumulation. The source of error accumulation is the inaccuracy of determining the active resistance of the stator and its changes during the operation of the asynchronous motor. The DTC system has a disadvantage associated with the appearance of torque ripples and rotor speed fluctuations at low loads.

**Keywords:** observer, IGST - thyristor, speed sensor, asynchronous motor, load moment, regulator.

### **Reference**

1. ABB. DTC: A motor control technique for all seasons [Electronic resource] / ABB. – 2015. – Resource access mode: <https://new.abb.com/drives/dtc>
2. Rupert Gouws. Efficiency analysis of an induction motor with direct torque and flux control at a hot rolling mill / Rupert Gouws. // Paper presented at the Industrial & Commercial Use of Energy Conference (ICUE) 2014. – 2014. – №3. – P. 111–115
3. Azhan Ab Rahman. Simulation on Simulink AC4 Model (200hp DTC Induction Motor Drive) using Fuzzy Logic Controller / Azhan Ab Rahman. // International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE 2010). – 2010. – P. 553–557.
4. H.F. Abdul Wahab. Simulink Model of Direct Torque Control of Induction Machine / H.F. Abdul Wahab, H. Sanusi. // American Journal of Applied Sciences. – 2008. – №5. – P. 1083–1090.