

**ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ**

УДК 621.313

Ю.В. Антипенко, здобувач
*Житомирський інженерно-технологічний інститут***ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ
З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ***(Представлено д.т.н., проф. Самотокіним Б.Б.)**Розглядається нетрадиційний підхід до конструкції та живлення безконтактних синхронних електричних машин.*

Мабуть жодне високотехнологічне виробництво в наші дні не здатне обійтися без застосування автоматизованих електроприводів, від точності, надійності й економічності яких значною мірою залежать якість і кінцева вартість вироблених товарів та послуг.

Завдяки успіхам перетворювальної й обчислювальної техніки останніх років в електроприводі досягнуті якісно нові ступені практичної досконалості, що дозволяють забезпечувати роботу приводних двигунів у режимах, близьких до оптимального, для широкого спектра прикладних задач.

Досвід експлуатації електромашинних елементів автоматики показав, що найбільш перспективні конструкції мають безконтактні електричні машини [1] завдяки високій надійності і стабільності їх характеристик в умовах несприятливих зовнішніх впливів та великих динамічних перевантажень.

Розробка і впровадження безконтактних приводів є пріоритетним напрямком для цілого ряду ведучих світових виробників.

В даний час необхідні темпи розвитку цього важливого технічного напрямку істотно стримуються існуючими обмеженнями у виборі відомих типів безконтактних електродвигунів та їх принциповими недоліками.

Як показує практика, при створенні безконтактних регульованих приводів найбільші труднощі виникають на потужностях понад 1–1,5 кВт, де застосування крокових двигунів, двигунів з постійними магнітами в роторі або інших типів синхронних електричних машин стає неефективним чи надмірно дорогим [2]. У таких випадках відсутність реальної альтернативи змушує розроблювачів віддавати перевагу асинхронним двигунам з короткозамкненим ротором. Даний тип двигуна має високу надійність, відносно низьку вартість, технологічність у виготовленні і дозволяє плавно регулювати швидкість обертання ротора за допомогою частотних перетворювачів. Перераховані переваги, однак, не завжди перекривають такі недоліки асинхронного двигуна, як важкий пуск, низька ефективність роботи в області малих обертів, нездатність керуватися по куту повороту ротора і забезпечувати двосторонню фіксацію заданого його положення. Деякі з перерахованих недоліків вдається частково мінімізувати в замкнутих системах керування приводами, але це неминуче тягне їх різке ускладнення і подорожчання. У результаті, на величезному ринку сучасних сервоприводів асинхронні частотні приводи дотепер не можуть скласти гідну конкуренцію контактним приводам та приводам, що мають у своєму складі дорогий синхронний двигун з постійним магнітом у роторі. Найбільш масове застосування асинхронні частотні приводи знайшли в пристроях і механізмах, що не потребують діапазону регулювання більше ніж 50:1 [2] і підвищену точність кутової швидкості.

Таким чином, розв'язок нагальних проблем автоматизованого безконтактного електропривода вже зараз вимагає створення нових типів електродвигунів, які б, при аналогічних асинхронному двигуну перевагах, здатні були без зворотних зв'язків забезпечувати:

- 1) абсолютну жорсткість механічних характеристик;
- 2) діапазон регулювання не гірше 1000:1;
- 3) здатність до керування не тільки по швидкості, але і по куту повороту ротора;
- 4) здатність до двосторонньої фіксації будь-якого заданого кута положення ротора під навантаженням і без нього;

5) можливо більш високий ККД і $\cos \varphi$ у всьому діапазоні регулювання швидкості;

6) високу динамічність у перехідних режимах.

Ротор двигуна має бути короткозамкненим, тобто найбільш надійним.

З вищесказаного очевидно, що тільки синхронний двигун здатний задовольнити дані вимоги, причому такий, у якого реалізована можливість ефективної передачі електромагнітної енергії в короткозамкнену обмотку ротора безконтактним шляхом у будь-якому режимі роботи, як при обертанні, так і при повному зупиненні. Момент на валу двигуна має визначатися кутом навантаження у всіх режимах його роботи, як це реалізовано в ряді типів синхронних машин.

Створення шуканого двигуна стає цілком реальним, якщо відійти від традиційних уявлень про конструкцію ротора і форму живлячих напруг статора. Такий підхід забезпечив відносно недавно появу нового типу електродвигуна, що може бути наочним прикладом одного з можливих варіантів рішення поставленої задачі.

Оскільки синтезований двигун є синхронним, то його ротор має обертатися синхронно з полем статора в режимі сталого обертання або йти за полем статора, повторюючи його будь-яке кутове переміщення, що забезпечує керування як по швидкості, так і по куту. Статор двигуна повинен мати трифазну (у загальному випадку n -фазну) розподілену обмотку, як у звичайного асинхронного двигуна, здатну створювати магнітне поле, що обертається, при живленні його від спеціального джерела напруги. Іншими словами, як статор потрібного двигуна може бути використаний готовий статор будь-якого промислового асинхронного (синхронного) двигуна необхідної потужності.

Короткозамкнену обмотку ротора доцільніше виконувати на магнітопроводі ротора тієї ж асинхронної машини, що дозволить організувати виробництво нових типів двигунів з мінімальними витратами на заводах, що випускають асинхронні двигуни. Один з діючих зразків такого двигуна, виготовлений за зазначеним принципом, представлений на рис. 1.

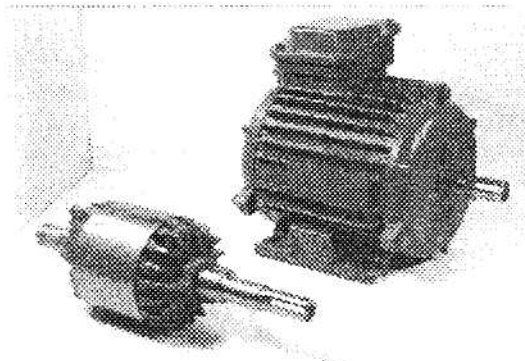


Рис. 1

Для передачі енергії в короткозамкнений ротор необхідно, щоб поле статора, що обертається, було модульовано по амплітуді, тобто одночасно було як аксіально-обертаючим, так і радіально-пульсуючим відносно вала двигуна, що може бути приблизно записане у вигляді:

$$\Phi_c = \Phi_m \sin \omega t \cdot e^{k\Omega t}, \quad (1)$$

де Φ_c , Φ_m – потік статора та його максимальне значення відповідно.

Складова $\Phi_m \sin \omega t$ забезпечує радіальну (подовжню) пульсацію поля з частотою ω , а складова $e^{k\Omega t}$ – обертання поля з кутовою швидкістю Ω . Неважко показати, що для одержання потоку (1) необхідно живити трифазну обмотку статора звичайного асинхронного (синхронного) двигуна системою модульованих напруг:

$$\begin{aligned} U_A &= U_m \sin(\omega t + \gamma_0) \sin(\Omega t + \beta_0), \\ U_B &= U_m \sin(\omega t + \gamma_0) \sin(\Omega t + \beta_0 + 120^\circ), \\ U_C &= U_m \sin(\omega t + \gamma_0) \sin(\Omega t + \beta_0 + 240^\circ), \end{aligned} \quad (2)$$

де U_m , ω , γ_0 – є відповідно амплітуда, частота і початкова фаза несучої;

Ω , β_0 – частота і початкова фаза огибаючої.

Напруги U_A, U_B, U_C , що живлять статор, можна отримувати від спеціального електронного перетворювача.

Для n -фазного двигуна система статорних напруг записується аналогічно (2). Варто підкреслити, що саме радіальна складова поля (1) забезпечує, як показано нижче, безконтактну передачу енергії в короткозамкненій ротор з однаковою інтенсивністю, незалежно від швидкості обертання ротора. Ця умова дозволяє здобути надзвичайно великий діапазон регулювання швидкості.

Короткозамкнена обмотка ротора повинна бути виконана таким чином, щоб у режимі холостого ходу радіально-пульсуюча складова поля не перетинала витків обмотки, а значить не наводила в ній ЕРС, струму і не створювала, отже, моменту на валу. Зі зростом навантаження на валу, ЕРС і струм, що наводяться в короткозамкненій обмотці, повинні зростати, що автоматично призведе до збільшення електромагнітного моменту двигуна. Ці умови виконуються при розташуванні короткозамкненої обмотки в пазах ротора, як показано на рис. 2.

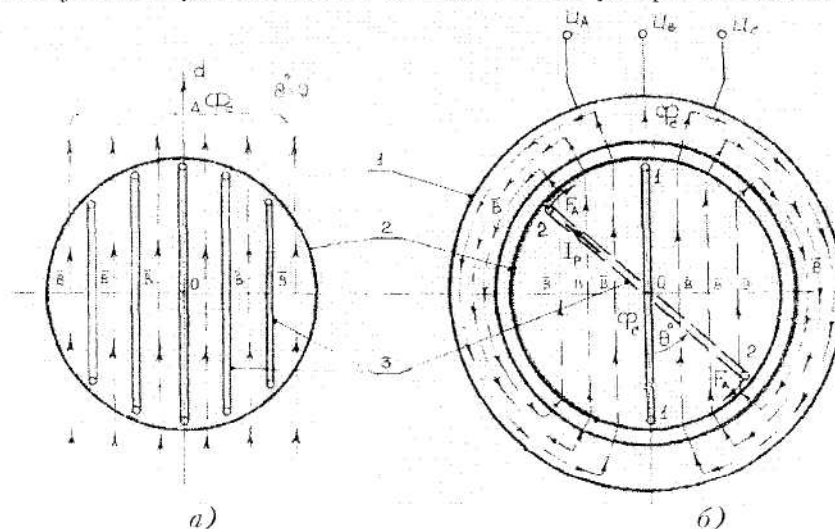


Рис. 2: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – секції обмотки ротора

Технічна реалізація зазначених вимог призводить до конструкції, представленій на рис. 2, б, всі елементи якої узгоджено працюють на створення головної величини – обертаючого моменту на валу, забезпечуючи тим самим перетворення електричної енергії в механічну.

У режимі сталого обертання поле статора і ротор будь-якого синхронного двигуна взаємно нерухомі. При цьому подовжня вісь **od** явнополюсного (неявнополюсного) ротора (рис. 2) відстає від осі поля на кут Θ , що зростає з ростом навантаження на валу. Та ж картина буде спостерігатися й у режимі зупинення ($\Omega = 0$), якщо навантаження з вала не зняті, що дозволяє обмежитись розглядом процесу виникнення моменту на валу саме в цьому режимі, коли $\Phi_c = \Phi_m \sin \omega t \cdot e^{j\Omega t} = \Phi_m \sin \omega t$.

Для більшої наочності розглянемо ротор з однією короткозамкненою секцією (рамкою) обмотки, як показано на рис. 2, б. У положенні 1-1 ($\Theta=0$) рамка ротора розташовується уздовж силових ліній \vec{B} поля статора Φ_c , у зв'язку з чим пульсуючий потік статора $\Phi_c = \Phi_m \sin \omega t$ не перетинає витки W_p рамки, не наводить у них ЕРС, а значить струм рамки і момент $M_{ер}$ дорівнюють нулю. При повороті (відхиленні) ротора на кут Θ рамка займе положення 2-2 і кількість ліній, що її перетинають, поля \vec{B} статора зросте пропорційно $\sin \Theta$. Пульсуючий потік $\Phi_c = \Phi_m \sin \omega t$ наведе в рамці ЕРС $e_p = -W_p \frac{d\Phi_c}{dt} = -W_p \omega \Phi_m \cos \omega t$ і струм I_p .

Останній, взаємодіючи з потоком Φ_c , створює сили Ампера $\vec{F}_A = P[I_p \cdot \vec{l}_p \times \vec{B}]W_p$ і момент $\vec{M}_{ер} = 2R_p \vec{F}_A$, де \vec{l}_p , $2R_p$ – довжина і ширина рамки, P – коефіцієнт пропорційності. Зі зростом кута Θ будуть зростати ЕРС, струм і момент рамки (момент на валу). У системі контурів зі струмами, як відомо, кожен контур під дією виникаючих механічних сил прагне

зайняти положення, при якому його дія, що розмагнічує, на систему буде мінімальною. Оскільки розглянутий двигун є трансформатором, що обертається, то його роторна обмотка (як така, що розмагнічує) під дією моменту $M_{ер}$ буде прагнути зайняти положення 1-1 ($\Theta = 0$), де струм I_p , що розмагнічує, прямує до нуля. Звідси слідує, що $M_{ер}$ діє проти зростання Θ , прагне зменшити його, а значить $M_{ер}$ і Θ мають різні знаки. І таким чином положення ротора (рамки) 1-1 ($\Theta = 0$) є точкою стійкої рівноваги. При будь-якій спробі відхилити ротор на кут $\pm\Theta$ буде вишкати $\pm M_{ер}$, що прагне повернути ротор у вихідне положення 1-1 ($\Theta = 0$), тобто розташувати короткозамкнену обмотку уздовж поля статора. Завдяки цьому короткозамкнений ротор завжди буде прагнути синхронно іти за полем статора, повторюючи його рухи. З цієї причини розглянутий двигун має абсолютно жорсткі механічні характеристики, великий діапазон регулювання обертів, а також здатність керуватися як по швидкості, так і по куту повороту ротора, забезпечуючи підвищену статистичну і динамічну точність.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кацман М.М. Электрические машины: Учеб. для учащихся электротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 1990. – 463 с.: ил.
2. Регулируемые асинхронные двигатели: Сб. науч. тр. / Редкол.: А.А. Войтех (отв. ред.) и др. – Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1994. – 174 с.

АНТИПЕНКО Юрій Валентинович – здобувач кафедри автоматки і управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- електричний привод;
- перетворювальна техніка.

Подано 28.12.2002