

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
„ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”



IV Всеукраїнська науково-технічна
конференція молодих учених, аспірантів та студентів
„Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та
рішень” (АКУ-2018)

22-23 травня 2018 р.

Збірник наукових праць

м. Покровськ

Хоменко Л.Б., магістрантка, (larisa.khomenko15@gmail.com)

Колларов О.Ю., к.т.н., зав.каф. ЕлІн, (oleksandr.kollarov@donntu.edu.ua)

Зінов'єв С.М., к.т.н., доцент, (serhii.zinoviev@donntu.edu.ua)

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»,
м. Покровськ, Україна

АСИНХРОНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТРАНСПОРТНИХ ЛІНІЙ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Найбільш простою електричною машиною серед тих, які використовуються в промисловості, є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Він компактний, має малу масу на одиницю потужності та простий у використанні. Цим обумовлений той факт, що асинхронний електропривод середньої потужності з напругою 380 та 660 і потужністю до 500 кВт є найбільш масовим серед усіх електроприводів, які застосовуються у різних галузях промисловості. В гірничій промисловості використання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором в якості електроприводу транспортних ліній промислового призначення є не тільки раціональним, а і єдиним можливим, оскільки Правила технічної експлуатації і Правила безпеки забороняють використання у якості електроприводу асинхронних двигунів з фазним ротором. У випадках коли необхідно регулювати частоту обертання ротора, наприклад для електровозів, використовують двигуни постійного струму і системи живлення та систему з контактнo-резисторною системою управління двигуном. Для більшості електровозів електропривод оснащуються електродвигунами постійного струму з послідовним збудженням. Досвід експлуатації довів, що таке рішення має ряд недоліків серед яких значно ускладнена конструкція та експлуатація обладнання, підвищена вартість та знижений рівень надійності колекторного вузла, якірних і полюсних обмоток двигунів, підвищена трудомісткість їх обслуговування. Занижений ресурс відбивається на надійності експлуатації всієї транспортної лінії.

Для трифазних асинхронних двигунів найбільш перспективним способом плавного регулювання є зміна частоти напруги живлення. Високі динамічні показники електроприводу, що частотно-регулюються, можуть бути здобуті, якщо в основі синтезу їх систем автоматизованого регулювання (САР) будуть використання диференціальних рівнянь об'єкту регулювання, методи перетворення електромеханічних систем під час зміни системи координат та сучасні принципи оптимізації. Аналіз систем рівнянь, які характеризують математичні моделі машин змінного струму, показує, що асинхронний двигун є двомірним нелінійним об'єктом. Він характеризується нелінійними зв'язками між каналами регулювання цього об'єкту, а також нелінійними залежностями між змінними, які регулюються. У частотно-регульованому асинхронному двигуні зміна керуючих впливів, яка здійснюється для зміни електромагнітного моменту, супроводжується у загальному випадку електромагнітним перехідним процесом, основною ознакою якого є наявність вільних складових потокозчеплення ротора. Нормований характер зміни моменту у частотно-регульованому електроприводі досяжний за умови регулювання потокозчеплення ротора. У роботах Ф. Блассе був сформульований принцип організації САР, яка орієнтована за вектором потокозчеплення ротора. Під час цього обертаючий момент двигуна визначається тільки "поперечною" складовою I_{sq} , а магнітний потік – тільки "продольною" складовою I_{sd} вектора намагнічуваної сили статора. Динамічні характеристики частотно-регульованого асинхронний двигун з САР, яка чітко орієнтована за вектором потокозчеплення ротора, подібні динамічним характеристикам компенсованого двигуна постійного струму з незалежним збудженням [1].

У більшості випадків електроприводи цього класу, які пропонуються до поставки

ведучими електротехнічними фірмами, САР синтезуються у класі багатомірних автономних систем. У випадку багатомірних нелінійних об'єктів, які характеризуються як сукупність нелінійних підоб'єктів, які пов'язані нелінійними функціональними залежностями, можлива реалізація регуляторів у вигляді активних лінійних фільтрів виходячи з оптимальної передавальної функції замкнених контурів регулювання. Порядок синтезу САР можна звести у загальному випадку до таких основних етапів:

- вибір системи відрахування. Відповідний вибір системи координат по-винен забезпечити подання асинхронного двигуна як простого об'єкту.
- вибір регульованих координат і законів їх взаємозв'язаного керування.

Виконання задач зводиться до пошуку раціональних структур, які характеризуються: відносно простим виразом електромагнітного моменту з мінімальним числом внутрішніх зв'язків; наявністю у прямих каналах керування тільки лінійних ланок; зручність виміру та обчислення змінних об'єктів, які повинні регулюватися. Раціональний вибір цих координат дозволяє знехтувати деякими перехресними зв'язками між каналами об'єкту через їхню слабкість.

Розвиток сучасної теорії автоматичного керування разом з розвитком напівпровідникової та мікропроцесорної техніки робить систему векторного керування однією з найкращих автоматизованих електромеханічних систем. Основою для математичного опису моделі асинхронної машини є диференціальні рівняння електричної та механічної рівноваги системи, а також рівняння перетворення електромагнітної енергії в механічну [2]. У найбільш загальній формі у системі координат, яка обертається з деякою швидкістю, ці рівняння мають вигляд:	$\left. \begin{aligned} \tilde{U}_s &= \tilde{I}_s R_s + \frac{d\tilde{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \tilde{\Psi}_s \\ \tilde{U}_r &= \tilde{I}_r R_r + \frac{d\tilde{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega) \tilde{\Psi}_r \\ M &= \frac{3}{2} K_r Z_p \left[\tilde{\Psi}_r \times \tilde{I}_s \right] \\ M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt} \\ \tilde{\Psi}_s &= \tilde{I}_s L_s + \tilde{I}_r L_m \\ \tilde{\Psi}_r &= \tilde{I}_s L_m + \tilde{I}_r L_r \end{aligned} \right\}$
--	---

де $\tilde{\Psi}_r$, $\tilde{I}$, $\tilde{U}$ – миттєві значення узагальнених просторових векторів потокозчеплень, струмів та напруг, отримані з миттєвих значень відповідних фазних величин; ω — кутова швидкість обертання ротора; $L_s(L_r)$ – індуктивність обмоток статора (ротора); L_m – взаємна індуктивність між обмотками статора та ротора; J та M_c – момент інерції електромеханічної системи та момент опору навантаження.

Під час реалізації САР із застосуванням цієї методики синтезу виникають труднощі, які обумовлені наступними обставинами:

- керування асинхронним двигуном у системі координат, яка орієнтована за вектором потокозчеплення ротора, потребує високої точності у визначенні його просторової позиції, так як помилка його виміру призводить до коливань електромагнітного моменту у динамічних режимах роботи;
- у залежності від температури та режиму роботи асинхронного двигуна параметри машини змінюються у достатньо широких границях, що потребує ідентифікації цих параметрів і адаптивної побудови регуляторів.

У перших САР, які орієнтовані за вектором потокозчеплення ротора, інформація про нього вводилась через вимірювання за допомогою датчиків Хола. Недоліком цього способу є обмеження діапазону вихідних частот перетворювача частоти через необхідність застосування спеціальних активних фільтруючих засобів у каналі переробки інформації про магнітний потік для фільтрації вищих гармонік, які обумовлені пазами статора.

Більш сприятливий спосіб: обчислення вектору потокозчеплення ротора за допомогою математичних моделей. З введенням у САР математичної моделі асинхронного

двигуна для реалізації керування у координатах потокозчеплення ротора достатньо мати інформацію про три струми статора та швидкість ротора. Всі ці сигнали є сигналами зворотних зв'язків САР.

Рівняння перехідних процесів у асинхронному двигуні, що записані в системі координат статора, можуть бути отримані на підставі рівнянь, з урахуванням того факту, що $\omega_c = 0$. Після виконання перетворень з урахуванням того, що для двигуна з короткозамкненим ротором $\tilde{U}_r = 0$ та в системі координат статора $\omega_c = 0$ отримаємо вираз для векторів потокозчеплень ротора і статора. Якщо виразити результуючі вектори через їх реальну та мниму частини, то їх можна записати у системі координат статора. Додав до отриманих рівнянь рівняння рівноваги моментів електропривода $M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$, отримаємо систему диференціальних рівнянь, що повністю характеризує перехідні процеси в електроприводі при векторному керуванні.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{3}{2} \cdot \frac{K_r Z_p}{J} (\Psi_\alpha I_\beta - \Psi_\beta I_\alpha) - \frac{M_c}{J} \\ \frac{d\Psi_\alpha}{dt} &= -\frac{\Psi_\alpha}{T_r} - \omega \Psi_\beta + \frac{L_m}{T_r} I_\alpha \\ \frac{d\Psi_\beta}{dt} &= -\frac{\Psi_\beta}{T_r} + \omega \Psi_\alpha + \frac{L_m}{T_r} I_\beta \\ \frac{dI_\alpha}{dt} &= \frac{K_r}{T_r L_s'} \Psi_\alpha + \frac{K_r}{L_s'} \omega \Psi_\beta - \frac{R'}{L_s'} I_\alpha + \frac{U_\alpha}{L_s'} \\ \frac{dI_\beta}{dt} &= \frac{K_r}{T_r L_s'} \Psi_\beta - \frac{K_r}{L_s'} \omega \Psi_\alpha - \frac{R'}{L_s'} I_\beta + \frac{U_\beta}{L_s'} \end{aligned} \right\}$$

Таким чином, асинхронний двигун як об'єкт керування, описується системою нелінійних рівнянь п'ятого порядку, у якій два виходи – кутова швидкість (момент) та модуль потокозчеплення – повинні регулюватися за допомогою двовірного вектору керуючих напруг статора.

Передбачається, що керуюча напруга статора формується за допомогою транзисторного інвертора з ШІМ, частота комутації якого достатня для розглядання силового перетворювача як ідеального підсилювача.

Розроблена модель допоможе в розробці надійних і якісних САР на основі перетворювачів частоти. Такі системи дозволять використовувати асинхронний привод на транспортних лініях промислового призначення там, де традиційно використовується привід з двигунами постійного струму.

Перелік посилань:

1. Дацковский Л. Х. Современное состояние и тенденции в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе (краткий аналитический обзор) / Л.Х. Дацковский, В.И. Роговой, В. Н. Абрамов [и др.] // Электротехника. – 1996. – № 10. – С. 18-28.
2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург. УРО РАН, 2000. – 654 с.