

**ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ
З АСИНХРОННИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ:
ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ ТА МЕТОДИ КЕРУВАННЯ**

Одним з основних елементів сучасних електроприводів змінного струму є перетворювачі частоти. Вони все більшою мірою використовуються в електроприводах змінного струму насосів, вентиляторів, компресорів, транспортерів та інших механізмів в різних галузях народного господарства.

Розвиток і вдосконалення сучасного автоматизованого електропривода визначається, перш за все, прогресивними рішеннями і вдосконаленням традиційних електричних машин, розвитком силової перетворювальної техніки і електроніки, новими досягненнями в теорії автоматичного керування у частині алгоритмічного забезпечення [1]. Системи керування електроприводом різних виробників розвиваються в одному напрямі, і якщо на першому етапі розвитку використовувалися, переважно, закони частотного керування по типу закону М. П. Костенка з корекцією по напрузі в області низьких частот, то на другому етапі визнання набули алгоритми векторного керування [2]. На сьогодні ряд фірм і, перш за все, фірма АВВ поставляють на ринок перетворювачі частоти з алгоритмом прямого керування моментом, що забезпечує динамічні характеристики електроприводів змінного струму для важких умов експлуатації не гірше, і навіть краще, ніж динамічні характеристики електроприводів постійного струму [3].

Серед усіх схем перетворювачів частоти, в яких роль ключів виконують тиристори, де комутація забезпечується конденсаторами, перевагу слід віддати схемам з відсічними діодами і схемам із відсічними тріодами. Єдина відмінність між автономними інверторами струму з відсічними діодами і автономними інверторами струму з відсічними тріодами полягає в тому, що в першій схемі можливе явище додаткового відкриття відсічних діодів. Аналіз цього явища становить певний інтерес, оскільки, подібного аналізу не існує. У роботах описані фізичні умови існування даного явища, проте кількісні межі режиму додаткового відкриття відсічних діодів у схемі перетворювача частоти з відсічними діодами не визначені. Можна вважати дане явище аномальним, таким, що порушує роботу інвертора. Якісні висновки зазвичай зводяться до рекомендацій вибирати ємність комутуючих конденсаторів такою, щоб виключити додаткове відкриття відсічних діодів.

Метою роботи є уточнення аспектів протікання електромагнітних процесів в перетворювачах частоти, обґрунтування вибору методів регулювання моменту, швидкості та потужності асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором в електроприводі технологічних механізмів.

Матеріали та результати роботи. Перетворювач частоти складається з некерованого діодного силового випрямляча, автономного інвертора напруги, системи управління ШІМ, системи автоматичного керування, дроселя випрямляча і конденсатора фільтра випрямляча. Регулювання вихідної частоти $f_{вих}$ і напруги $U_{вих}$ здійснюється в інверторі за рахунок височастотного широтно-імпульсного управління.

Широтно-імпульсне управління характеризується періодом модуляції, протягом якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча. Тривалість цих станів всередині періоду ШІМ модулюється за синусоїдальним законом. При високих (зазвичай 2 ... 15 кГц) тактових частотах ШІМ, в обмотках електродвигуна, внаслідок їх фільтруючих властивостей, течуть синусоїдальні струми. Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів, що замикаються GTO - тиристорів, або біполярних IGBT - транзисторів з ізолюваним затвором.

Для вирішення завдань регулювання швидкості і моменту в сучасному електроприводі застосовують два основні методи частотного керування: скалярне і векторне. Основний принцип скалярного керування – зміна частоти і амплітуди напруги живлення за законом $U/f_n = \text{const}$, де $n \geq 1$. Конкретний вид залежності визначається вимогами, що пред'являються до електроприводу технологічним навантаженням. Зазвичай за незалежний вплив приймається частота, а значення напруги

при даній частоті визначає вид механічної характеристики, значення пускового і критичного моментів. Скалярне керування забезпечує сталість перевантажувальної здатності електроприводу незалежно від частоти напруги, проте має місце зниження моменту, що розвивається двигуном, при низьких частотах (при $f < 0,1f_{ном}$). Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору для електроприводів зі скалярним керуванням досягає 1:10.

Для усунення недоліків, характерних скалярному керуванню, був розроблений другий метод керування – векторний. В систему керування електроприводом закладається математична модель двигуна, яка розраховує момент та швидкість обертання вала. Для цього достатньо лише датчиків струму фаз статора двигуна. Завдяки структурі системи керування забезпечується незалежне і практично безінерційне регулювання двох основних параметрів – моменту на валу і швидкості обертання.

В теперішній час визначилися два основні класи систем векторного керування: системи без датчика швидкості на валу двигуна та системи із зворотнім зв'язком по швидкості. Вибір методу векторного керування залежить від області застосування електропривода. Використання векторного керування дозволяє отримати ряд переваг: висока точність регулювання швидкості навіть при відсутності датчика швидкості; плавне обертання двигуна в області малих частот; забезпечення рушійного моменту на валу електродвигуна, що дорівнює пусковому; швидка реакція при різких змінах навантаження, при цьому практично відсутні стрибки швидкості; забезпечення режиму роботи двигуна, який знижує втрати на нагрів і намагнічування, підвищуючи ККД та коефіцієнт потужності двигуна.

Поряд з перевагами, метод векторного керування має свої недоліки, такі як велика обчислювальна складність і необхідність знання параметрів двигуна. Крім того, при векторному керуванні коливання швидкості на постійному навантаженні більше, ніж при скалярному керуванні. Важливо відзначити, що існують області, де можливе застосування тільки скалярного керування, наприклад, в груповому електроприводі, де кілька двигунів живляться від одного перетворювача.

Висновок. Електромагнітні процеси, що мають місце в сучасних перетворювачах частоти мають складний характер і в окремих випадках є недостатньо вивченими. Це стосується в першу чергу режимів комутації силових ключів, а також методів частотного керування, в контексті їх відповідності до вимог технологічного навантаження.

Список використаних джерел

1. Федірко М.М. Бруханський Р.Ф., Брич В.Я., Олішинська Р.Р. Модернізація електроприводу насосних агрегатів мережі централізованого тепlopостачання в контексті підвищення їх енергоефективності. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. 2023. № 5-6. С. 27–40. URL: <http://eee.khpi.edu.ua/issue/view/17283>

2. Супрун О.Д. Дослідження електромагнітних перехідних процесів у частотно-керованому електроприводі перемикальних пристроїв трансформаторів тягових підстанцій. Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. Харків: УкрДАЗТ, 2017. Вип. 6. С. 1-18. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/4605>

3. Каталог ABB. <https://global.abb/group/en>