

УДК 631.3-83(075.8)

МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ТА АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СУЧАСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

Квітка С.О., к.т.н.,

Безменнікова Л.М., к.т.н.,

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Квітка О.С., магістр.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-31-59

Анотація – розглянуто методи управління та апаратна реалізація перетворювачів частоти електроприводів змінного струму.

Ключові слова – регульований електропривод змінного струму, перетворювач частоти, методи управління, апаратна реалізація.

Постановка проблеми. Основним елементом сучасних регульованих електроприводів змінного струму є перетворювач частоти. Вони все більшою мірою використовуються в електроприводах змінного струму насосів, вентиляторів, компресорів, транспортерів та ін., в промисловості та в сільському господарстві [1-3].

Аналіз останніх досліджень. Незважаючи на різноманіття існуючих на даний момент алгоритмів керування та варіантів апаратної реалізації перетворювачів частоти, існують типові рішення, що застосовуються більшістю виробників [2, 3].

Частотні перетворювачі призначені для регулювання частоти обертання вала АД, змінюючи швидкість в широких межах. Частотні перетворювачі, що одержали широке поширення, є інверторами напруги, хоча ще також використовуються і інвертори струму. Це пояснюється тим, що інвертори напруги можуть працювати в багатодвигуневому приводі і мають більш широкий діапазон зміни вихідної частоти. Остання обставина відкриває дорогу даних пристроїв не тільки у виробничу, але і в комунальну сферу, де, наприклад, навантаження на водогін вкрай нерівномірне. Частотні перетворювачі допомагають ефективно вирішити проблему необґрунтованої перевитрати електроенергії – коли тиск у трубах нормалізується, інвертор автоматично знижує момент на валу насоса, заощаджуючи при цьому до 30% енергії. У промисловості та у сільському господарстві при виробництві на

конвеєрних лініях так само часто використовуються частотні перетворювачі для керування транспортерами. В результаті чого досягається синхронізація роботи електродвигунів приводу транспортерів технологічної лінії, а внаслідок і всієї лінії, економія електроенергії і підвищення продуктивності лінії.

Фактично, існують негласні стандарти на структуру перетворювачів частоти та виконувани ними функції [3].

У загальному випадку можна виділити два основні завдання, які вирішуються регульованим електроприводом: керування моментом і швидкістю обертання електродвигуна.

Необхідність регулювання моменту диктується технічними та технологічними вимогами, що пред'являються до електроприводу. Для нормального функціонування приводу необхідно обмежувати момент і струм двигуна допустимими значеннями в перехідних процесах пуску, гальмування і під дією навантаження. Для механізмів, що зазнають при роботі значні перевантаження аж до зупинки робочого органа (наприклад, електроприводи млинів), виникає необхідність безперервного регулювання моменту електродвигуна в цілях обмеження динамічних ударних навантажень. У багатьох випадках потрібно також точне дозування зусилля на робочому органі (електроприводи металообробних верстатів, намотувальні машини та ін.)

Технологічні режими багатьох виробничих механізмів на різних етапах роботи вимагають руху робочого органа з різною швидкістю, що забезпечується або механічним шляхом, або шляхом електричного регулювання швидкості електроприводу. При цьому вимоги до діапазону і точності регулювання швидкості можуть змінюватися в широких межах залежно від галузі застосування електроприводу [1, 2].

Формулювання цілей статті. Аналіз стану розвитку, методів керування та апаратної реалізації сучасних перетворювачів частоти регульованих електроприводів змінного струму.

Основна частина. Для вирішення завдань регулювання швидкості і моменту в сучасному електроприводі застосовують два основні методи частотного керування: скалярне і векторне [1-3].

Асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є на сьогоднішній день найбільш поширеним. Він застосовується в складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів та інших механізмів, для яких важливо підтримувати або швидкість обертання вала двигуна (при цьому використовується датчик швидкості), або технологічний параметр (наприклад, тиск в трубопроводі, при цьому використовується відповідний датчик).

Основний принцип скалярного керування – зміна частоти і амплітуди напруги живлення за законом $U/f^n = const$, де $n \geq 1$. Конкретний вид залежності визначається вимогами, що пред'являються до

електроприводу 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.

Метод скалярного керування відносно простий у реалізації, але має два істотних недоліки. По-перше, за відсутності датчика швидкості на валу двигуна неможливо регулювати швидкість обертання вала, тому що вона залежить від навантаження. Наявність датчика швидкості вирішує цю проблему, однак залишається другий істотний недолік – не можна регулювати момент на валу двигуна. З одного боку, цю проблему можна вирішити установкою датчика моменту, однак такі датчики мають дуже високу вартість, часто перевищує вартість всього електроприводу. Але навіть за наявності датчика керування моментом виходить дуже інерційним. Більш того, при скалярному керуванні не можна регулювати одночасно і момент і швидкість, тому доводиться вибирати ту величину, яка є найбільш важливою для даного технологічного процесу.

Для усунення недоліків, властивих скалярному керуванню, фірмою Siemens був запропонований метод векторного керування. У сучасних електроприводах в систему керування закладається математична модель двигуна, яка дозволяє розраховувати момент на валу і швидкість обертання вала. При цьому необхідними є тільки датчики струму фаз статора двигуна. Завдяки спеціальній структурі системи керування забезпечується незалежне і практично безінерційне регулювання двох основних параметрів – моменту на валу і швидкості обертання.

На сьогоднішній день сформувалися два основні класи систем векторного керування – бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи зі зворотним зв'язком по швидкості. Застосування того чи іншого методу векторного керування визначається областю застосування електроприводу. При невеликих діапазонах зміни швидкості (не більше 1:100) і вимогах до точності її підтримки не більше $\pm 0,5\%$ застосовують бездатчикове векторне керування. Якщо ж швидкість обертання вала змінюється в широких межах (до 1:10000 і більше), мають вимоги до високої точності підтримки швидкості обертання (до $\pm 0,02\%$ при частотах обертання менше 1 Гц) або є необхідність позиціонування вала, а також при необхідності регулювання моменту на валу двигуна на дуже низьких частотах обер-

тання, застосовують методи векторного керування із зворотним зв'язком по швидкості.

При використанні векторного керування досягаються наступні переваги:

- висока точність регулювання швидкості навіть при відсутності датчика швидкості;
- плавне без ривків, обертання двигуна в області малих частот;
- можливість забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості (при наявності датчика швидкості);
- швидка реакція на зміну навантаження: при різких скачках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості;
- забезпечення такого режиму роботи двигуна, при якому знижуються втрати на нагрів і намагнічування, а отже, підвищується ККД двигуна.

Поряд з перевагами, методу векторного керування властиві і деякі 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. Слід зазначити, що існують області, в яких можливе використання тільки скалярного керування, наприклад в груповому електроприводі, де від одного перетворювача живляться кілька двигунів.

Побудова силової частини [1-3]. Найбільшого поширення набули перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму, побудовані за схемою випрямляч – автономний інвертор. Принцип роботи та області застосування таких перетворювачів частоти залежать від типу випрямляча та автономного інвертора (інвертор напруги або інвертор струму).

Найбільшого поширення набули некеровані випрямлячі. Виконувані на діодах, вони характеризуються максимальною простотою і надійністю, високим ККД, а також досить високою якістю вихідної напруги і гармонійного складу струму, споживаного з мережі. Однак некерованість процесу перетворення енергії не дозволяє реалізувати режим рекуперації, необхідний у багатьох випадках.

Керовані випрямлячі на низькочастотних тиристорах, позбавлені як недоліків, так і більшості переваг діодних випрямлячів. Вони мають високий ККД і властивість оборотності по напрямку перетворення енергії і зазвичай використовуються спільно з автономними інверторами струму для регулювання величини вихідного струму перетворювача. Недоліки керованих випрямлячів полягають у підвищеному рівні пульсацій випрямленої напруги, в зниженому значенні коефіцієнта потужності, який зменшується пропорційно вихідній напрузі, і в односторонньому напрямку вихідного струму.

Напівкеровані випрямлячі займають проміжне положення між керованими і некерованими випрямлячами, дозволяючи регулювати значення випрямленої напруги без можливості рекуперації енергії в мережу. У разі керованих і напівкерованих випрямлячів з'являється можливість відключення силової схеми перетворювачів частоти від мережі без використання додаткового устаткування.

Перетворювач частоти (рис. 1) складається з некерованого діодного силового випрямляча, автономного інвертора, системи керування ШІМ, системи автоматичного регулювання, дроселя L_B і конденсатора фільтра C_B . Регулювання вихідної частоти $f_{вих}$ і напруги $U_{вих}$ здійснюється в інверторі за рахунок високочастотного широтно-імпульсного керування. Широтно-імпульсне керування характеризується періодом модуляції, всередині 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 (звичайно 2...15 кГц) тактових частотах ШІМ, в обмотках електродвигуна, внаслідок їх фільтруючих властивостей, протікають синусоїдальні струми.

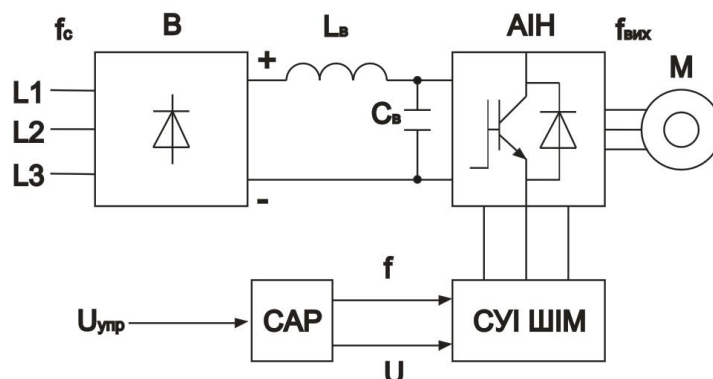


Рис. 1. Перетворювач частоти.

Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів – GTO-тиристорів, або IGBT-транзисторів.

Особливостями автономних інверторів напруги є живлення від джерела напруги, замикання контуру реактивного струму навантаження через зворотні діоди і незалежність форми кривої напруги на виході інвертора від характеру навантаження. Недоліком АІН є необхідність використання реверсивних випрямлячів для організації рекуперативних режимів роботи електропривода. Однак застосування інверторів напруги дозволяє без ускладнення схеми отримати високі енергетичні показники і забезпечити вихідні струми, близькі до синусоїдальним. Саме це обумовлює широке застосування АІН в сучасному електроприводі. Для побудови силових ключів в області комутованих струмів до 50 А використовуються біполярні транзистори з ізо-

льованим затвором (IGBT) і польові транзистори з ізольованим затвором (MOSFET), а також низькочастотні і високочастотні діоди і тиристори. Силові біполярні транзистори в діапазоні до 50 А знаходять основне застосування в дешевому промисловому обладнанні. В області комутованих струмів більше 50 А основними використовуваними приладами є силові модулі на базі біполярних транзисторів, тиристорів (GTO, GCT, IGCT). Особливо слід виділити транзисторні і діод-транзисторні модулі, виконані за інтегральною технологією на основі транзисторів типу IGBT. Низькі втрати потужності в ключових режимах, великі значення робочих напруг і струмів, малі часи включень і відключень цих модулів, а також можливість їх використання при паралельній роботі дозволяють створювати потужні і компактні перетворювальні установки з високою частотою комутації напівпровідникових ключів.

Основним елементом систем управління сучасних перетворювачів частоти є спеціалізований мікроконтролер або цифровий сигнальний процесор (DSP). Побудова системи управління на базі DSP обумовлена необхідністю великого обсягу складних обчислень в режимі реального часу для реалізації сучасних алгоритмів управління. Найбільшою мірою це критично для бездатчикових систем векторного керування.

Система управління може бути одно- або багатопроцесорною. Однопроцесорні системи мають ряд істотних недоліків: до мікроконтролера пред'являються підвищені вимоги по наявності вбудованих периферійних модулів і портів введення-виведення, за швидкодією та обсягом пам'яті; значно ускладнюється розробка програмного забезпечення. Однак при вирішенні завдань управління невисокої складності перевагою однопроцесорних систем є простота апаратної і програмної реалізації.

В даний час більшість перетворювачів будуються на двопроцесорній основі (рис. 2). Перший процесор (ЦП1) виконує основні функції перетворювачів частоти (реалізація алгоритмів управління інвертором, випрямлячем, опитування датчиків і т.д.), другий (ЦП2) забезпечує роботу пульта управління, зв'язок з системою верхнього рівня і інші сервісні функції. Слід зазначити, що розподіл функцій між мікроконтролерами може бути здійснено і іншим способом.

Переваги двопроцесорної системи в порівнянні з однопроцесорною – зниження вимог до ЦП1 і ЦП2 по вбудованій периферії, швидкодії та обсягу пам'яті; можливість застосування єдиного інтерфейсу для зв'язку центрального контролера з пультом управління і з системою автоматизації верхнього рівня; значне спрощення розробки програмного забезпечення для кожного з контролерів. Управління драйверами інвертора здійснюється за допомогою формування шестикана-

льного ШІМ-сигналу з автоматичним додаванням «мертвого часу». У більшості мікроконтролерів модуль ШІМ реалізований апаратно. Для отримання форми вихідної напруги, близької до синусоїдальної (що особливо критично при скалярному керуванні), може використовуватися програмна або апаратна корекція «мертвого часу».

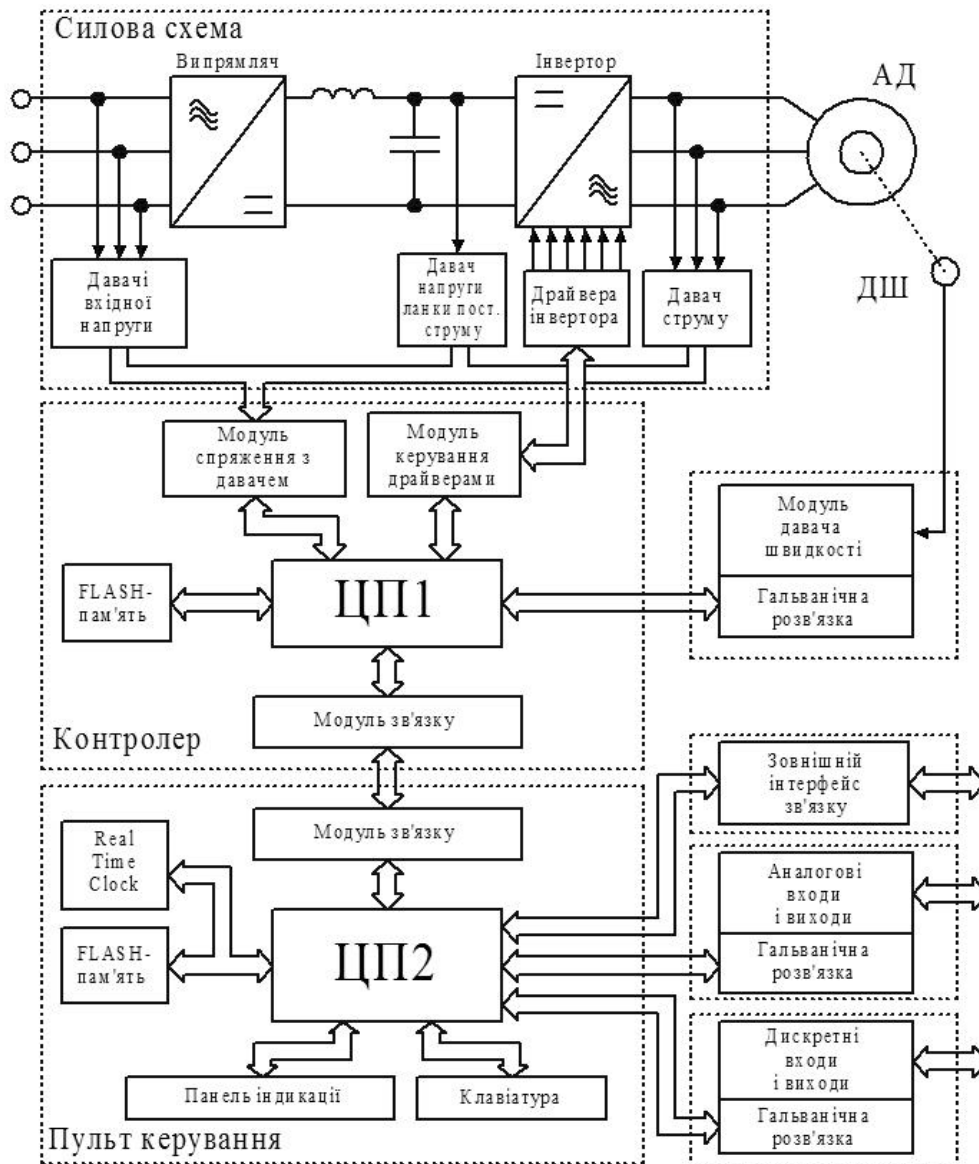


Рис. 2. Система управління перетворювачем частоти.

Управління перетворювачем може здійснюватися за допомогою пульта, дискретних чи аналогових входів. Перетворювачі конструктивно будуються за модульним принципом, що дозволяє вводити в них додаткові функціональні модулі, які в поєднанні з вбудованими програмними засобами дозволяють отримати різну конфігурацію електроприводу, що відповідає вимогам замовника, від найпростіших розімкнених до точних замкнених систем позиціонування. Як правило, та-

кі модулі (плати) розширення містять у своєму складі аналогові й дискретні входи і виходи, а також інтерфейси зв'язку.

Висновки. Сучасний асинхронний електропривод динамічно розвивається і характеризується широким спектром пропонованих технічних рішень. У даній статті наведено огляд методів керування, що застосовуються в сучасному регульованому асинхронному електроприводі, дана характеристика типових модулів, що входять до складу силової частини. При підготовці матеріалу статті використовувалися результати аналізу сучасних тенденцій побудови перетворювачів частоти, які пропонуються провідними світовими виробниками.

Література

1. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник / Г.Г. Соколовский. – М.: АCADEMIA, 2006. – 265 с.
2. *Хусаинов Р.* Частотники: критерии выбора / Р.Хусаинов // Конструктор. Машиностроитель. – 2008. – №12.
3. *Карлов Б. , Есин Е.* Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация / Б.Карлов, Е. Есин. // Силовая электроника. – 2004. – №1.

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ И АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Квитка С.А., Безменникова Л.Н., Вовк А.Ю., Квитка А.С.

Аннотация

Рассмотрены методы управления и аппаратную реализацию преобразователей частоты электроприводов переменного тока.

MANAGEMENT METHODS AND HARDWARE OF MODERN FREQUENCY TRANSFORMERS

S. Kvitka, L. Bezmennikova, O. Vovk, A. Kvitka

Summary

There were considered management methods and hardware of frequency transformers of electric drives on alternating current.