

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНОРЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ У ПОЛІГРАФІЇ

Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором мають ряд істотних переваг над іншими типами двигунів. Вони найпростіші за своєю конструкцією, найменші за розмірами і вагою, у них відсутній колектор і ковзні контакти, що зумовлює високу надійність і полегшує їх експлуатацію. Завдяки своїм високим якостям асинхронні короткозамкнуті двигуни широко застосовуються у народному господарстві. Одним із основних недоліків асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором є те, що вони важко піддаються регулюванню швидкості і тому, головним чином, використовуються в нерегульованих електроприводах.

У поліграфії застосовується лише один спосіб регулювання швидкості короткозамкнутих двигунів (перемкненням кількості полюсів обмотки статора), але дуже рідко, тому що регулювання одержується неплавним — практично лише в два ступені.

У регульованих електроприводах змінного струму вітчизняних поліграфічних машин застосовуються переважно асинхронні двигуни з фазним ротором, які дорожчі та більші від короткозамкнутих двигунів. Регулювання швидкості здійснюється двома способами: зміною додаткового опору в колі ротора (реостатне регулювання) і зміною додаткової індуктивності в колі статора (система «магнітний підсилювач—асинхронний двигун»—МП-АД). Обом цим способам властиві великі втрати потужності та інші недоліки, які обмежують області їх раціонального застосування. Особливо низькі техніко-економічні властивості має електропривод з реостатним регулюванням швидкості.

За останні роки досить поширений на поліграфічних машинах невеликої потужності електропривод з асинхронним короткозамкнутим двигуном і електромагнітною муфтою ковзання. Позитивними властивостями цього привода є компактність, достатньо широкий діапазон і плавність регулювання швидкості. Привод з муфтою ковзання зараз вважається одним з найбільш раціональних для багатьох поліграфічних машин малої і середньої потужності. Разом з тим споживання енергії у цій системі велике — практично таке як при реостатному регулюванні.

Одним з найбільш перспективних шляхів використання асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором у регульованих електроприводах є регулювання швидкості двигуна зміною частоти напруги, що підводиться до статора. Основною перевагою частотного регулювання є його висока економічність, яка полягає в тому, що к.к.д. і  $\cos\phi$  двигуна на всьому діапазоні регулювання залишаються постійними і дорівнюють їх номінальним значенням. Це досягається відповідним регулюванням напруги залежно від частоти. Тому частотнорегульований електропривод (ЧЕП), з точки зору втрат енергії найбільш ефективний і з огляду на це має явні переваги над іншими приводами змінного струму, що застосовуються на вітчизняних поліграфічних машинах. При діапазоні регулювання швидкості 4:1 при реостатному регулюванні та в приводі з муфтою ковзання к.к.д. змінюється відносно його номінальної

величини від 1 до 0,25, а в системі МП-АД в середньому до 0,15, тоді як при частотному регулюванні не змінюється і дорівнює одиниці.

Залежність напруги від частоти живлення регульованого асинхронного двигуна, яка забезпечує найбільш економічний режим його роботи, за умови підтримання сталої перевантажної здатності двигуна була запропонована акад. М. П. Костенко у вигляді

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{M}{M_n}}, \quad (1)$$

де  $U, f, M$  — напруга, частота і момент двигуна при будь-якому значенні швидкості;  $U_n, f_n, M_n$  — номінальні значення вказаних величин.

Якщо перевантажна здатність повинна при регулюванні змінюватися, то закон оптимального регулювання запишеться так [1]:

$$\frac{E}{E_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{M}{M_n} \cdot \frac{\xi(\omega)}{\lambda_n}}, \quad (2)$$

де  $E$  — е.р.с. статора двигуна при будь-якій швидкості;  $E_n$  — номінальна е.р.с. статора;  $\lambda_n$  — номінальна перевантажна здатність двигуна;  $\xi(\omega)$  — бажаний вигляд зміни перевантажної здатності залежно від зміни швидкості обертання  $\omega$ .

Другий запис умов оптимального регулювання швидкості більш точний і загальний, тому що крім врахування бажаної зміни перевантажної здатності, уникає неврахування впливу спаду напруги в активному опорі статора.

Якщо застосувати закон економічного частотного регулювання до поліграфічних машин, то за умови підтримання сталої перевантажної здатності, одержимо такі співвідношення:

1) для машин, зведених статичний момент  $M_c$  яких постійний на всьому діапазоні регулювання  $M/M_n = \text{const}$  (складальні машини, листові ротації, більшість брошурувально-палітурних машин), матимемо

$$\frac{E}{E_n} = \text{const} \cdot \frac{f}{f_n}, \quad \text{або} \quad \frac{E}{f} = \text{const}; \quad (3)$$

2) для машин з лінійно зростаючим із збільшенням швидкості статичним моментом  $\frac{M}{M_n} = \frac{\omega}{\omega_n}$  (тигельні, плоскодрукарські, рулонні ротаційні машини)

$$\frac{E}{E_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{f}{f_n}}, \quad \text{або} \quad \frac{E}{f^{3/2}} = \text{const}; \quad (4)$$

3) для машин з вентиляторним статичним моментом  $M/M_n = (\omega/\omega_n)^2$  (машини однопроцесного травлення, цинкографські центрифуги, насоси, компресори)

$$\frac{E}{E_n} = \left(\frac{f}{f_n}\right)^2, \quad \text{або} \quad \frac{E}{f^2} = \text{const}. \quad (5)$$

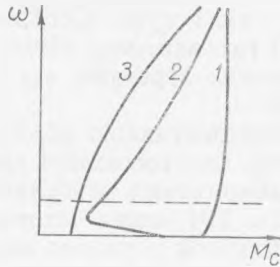
Отже, регулювання швидкості треба здійснювати так, щоб е.р.с. двигуна (або підведена напруга) змінювалась прямопропорційно частоті, частоті в степені 3/2, або квадратів частоти відповідно в приводах 1, 2 і 3-го класу.

На рис. 1 показані експериментальні механічні характеристики представників перелічених вище трьох класів поліграфічних машин. Характеристики 1 і 2 у зоні робочих швидкостей (вище пунктирної лінії) можуть бути апроксимовані прямими і віднесені до машин 1-го і 2-го класу відповідно.

Крім високої економічності, частотне регулювання має ще й інші переваги. Зокрема воно характеризується малими пусковими струмами

і великими пусковими моментами двигунів при високій плавності їх пуску. Але до недавнього часу воно вважалося мало вигідним через відсутність простого перетворювача частоти (ПЧ) для перетворення постійної стандартної частоти мережі в змінну частоту. Ще років десять тому ПЧ будували майже виключно на основі електричних машин. Низький к.к.д. і необхідність постійного обслуговування щіткових систем, поряд із громіздкістю, визначили повну неперспективність обортових ПЧ. Правда ще й сьогодні, вони працюють на деяких виробництвах, де практично неможливе застосування інших приводів, наприклад, в умовах агресивного або вибухонебезпечного середовища, високих швидкостей роботи механізмів тощо.

Рис. 1. Механічна характеристика офсетної листової ротаційної машини (1), рулонного ротаційного агрегату (2) і однопроцесної травильної машини (3).



Широке впровадження частотного регулювання стало можливим тільки після появи тиристорів. На базі тиристорів були створені статичні повністю безконтактні ПЧ з добрими енергетичними показниками, надійні в роботі, що не вимагають обслуговування в процесі експлуатації.

Центральною проблемою V Всесоюзної конференції по автоматизованому електроприводу, яка відбулася у 1971 р., була проблема впровадження напівпровідникової автоматики і особливо тиристорного автоматизованого електропривода в усі галузі народного господарства [4]. Основним технічним засобом під час реалізації цієї проблеми повинні стати тиристорні перетворювачі трифазного струму в постійний струм змінюваної напруги і в трифазний струм змінюваної частоти і напруги. У зв'язку з цим останні роки характерні інтенсивним розвитком тиристорного електропривода постійного і змінного струму.

Електротехнічна промисловість освоїла серійний випуск досконалих тиристорних перетворювачів енергії, причому їх виробництво різко збільшується: порівняно з 1960 р. випуск перетворювачів зріс у 1966 р. в 40 разів, а в 1970 р. в 125 разів. Треба відмітити, що переважно випускали перетворювачі постійного струму; серійне виробництво тиристорних ПЧ розпочато лише 3—4 роки тому. Із тиристорних ПЧ, які зараз випускаються промисловістю, на поліграфічних машинах і установках могли б знайти застосування перетворювачі серії ТПЧ: ТПЧ-15, ТПЧ-40 та ТПЧ-63, вихідною потужністю відповідно 15, 40 та 63 кВт, з регулюванням частоти від 5 до 60 Гц і напруги від 20 до 230 В.

Незважаючи на значні досягнення теорії частотного регулювання, ЧЕП тепер перебуває на початковій стадії свого впровадження у промисловість. Це пояснюється обмеженою номенклатурою серійних ПЧ, поки що високою їх ціною, великими габаритами, складністю схем керування. Зазначимо, що об'єм, який займає перетворювач ТПЧ-15, аж у 10—15 разів більший від об'єму двигуна серії АО-2 потужністю 10 кВт, на який цей ПЧ розрахований (правда, перетворювач ТПЧ-63 лише в 3—4 рази більший від об'єму двигуна 55 кВт; розміри всіх трьох перетворювачів серії ТПЧ однакові — 700×920×1970 мм).

Тепер ведуться інтенсивні пошуки шляхів удосконалення вентилів, розробки нових схем керування, зменшення вартості та розмірів,

підвищення надійності статичних ПЧ. Про великі резерви зменшення розмірів ПЧ свідчить хоча б наведений вище приклад: якщо об'єм перетворювача ТПЧ-63 використовується достатньо повно, то цього не можна сказати про перетворювач ТПЧ-15. У зв'язку з цим області раціонального застосування ЧЕП будуть без сумніву розширюватися. Тому питання можливості впровадження його в поліграфію досить актуальне.

На поліграфічних підприємствах електропривод з ПЧ не застосовується, хоч він може успішно конкурувати з іншими системами електроприводів поліграфічних машин.

Насамперед слід назвати установки з агресивним середовищем, зокрема травильні машини. Електроприводи травильних машин з двигунами постійного струму або з муфтами ковзання ненадійні і швидко виходять з ладу внаслідок інтенсивної корозії електроконтактних поверхонь двигунів і муфт. Особливо доцільним є використання ЧЕП на травильних і гальванічних лініях з живленням приводних асинхронних двигунів окремих агрегатів від одного ПЧ при синхронній або послідовній їх роботі.

Іншою перспективною областю можливого застосування ЧЕП є, на наш погляд, багатосекційні друкарські машини. Привод секцій окремими малогабаритними двигунами при їх синхронній роботі та живленні від одного ПЧ може істотно спростити і полегшити кінематику машини, за рахунок усунення важких поздовжніх валів. Для прикладу можна вказати на чотирисекційну офсетну машину ПОК-70-8, яка приводиться потужним двигуном постійного струму (75 кВт), має обтяжений кінематичний ланцюг і ще чотири допоміжні короткозамкнуті двигуни для привода секцій у налагоджувальних режимах.

Третім напрямом впровадження ЧЕП в поліграфії можуть бути машини з обмеженими розмірами. Наприклад, для гальмування і розгону рулону в деяких імпорتنих газетних агрегатах застосовується двигун постійного струму. Використання замість нього меншого в 1,5—2 рази асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором при живленні його від ПЧ може привести до зменшення розмірів рулонної зірки.

Конструктори поліграфічного обладнання нерідко зустрічаються з великими труднощами при вписуванні електропривода в габарити машини. Важко буває розмістити в машині привод з муфтою ковзання, тому що він має великі розміри. Наприклад, привод типу ПМСМ-10 з двигуном потужністю 1,5 кВт займає об'єм у п'ять разів більший об'єму самого двигуна.

Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором мають кращі динамічні властивості, ніж двигуни постійного струму: менший маховий момент і в 1,5—2 рази більше номінальне прискорення (при розгоні вхолосту під дією номінального моменту). Тому дуже бажано застосовувати їх тоді, коли до швидкодії привода ставляться підвищені вимоги. Зокрема, доцільно розглянути питання про раціональність застосування ЧЕП у безмаховикових приводах машин з різкозмінним навантаженням. Можливість рекуперації надлишкової енергії в мережу через ПЧ в періоди примусового генераторного гальмування двигуна [1] дає можливість сподіватися на економічну доцільність застосування в даному випадку ЧЕП.

Протягом останнього десятиріччя розроблена велика кількість різних систем статичних ПЧ [3, 5, 6]. Для поліграфії найбільш перспективною є схема перетворювача з проміжною ланкою постійного струму, яка застосовується у більшості ПЧ. Типова схема такого ПЧ використана, зокрема, в перетворювачах серії ТПЧ, зображена на рис. 2. Перетворювач складається з двох силових вузлів: керованого випрямляча КВ та інвертора І. На вхід випрямляча подається напруга мережі  $U_1$  з стандартної частоти  $f_1$ . Випрямлена напруга  $U_+$ , регульована за величиною, подається на інвертор. На виході інвертора одержується

змінна напруга  $U_{2\sim}$ , регульована за величиною і частотою  $f_2$ . Ця напруга підводиться до статора двигуна АД.

Система керування перетворювачем складається з блока керування випрямлячем БКВ, блока керування інвертором БКІ і блока завдання швидкості БЗШ. Блоком БКВ здійснюється регулювання вихідної напруги, блоком БКІ — вихідної частоти.

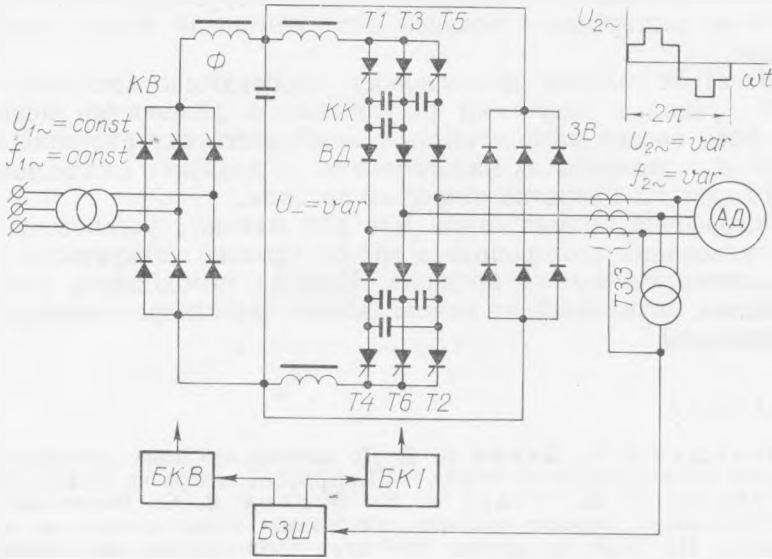


Рис. 2. Принципіальна електрична схема тиристорного перетворювача частоти.

Потрібна частота на виході ПЧ задається блоком БЗШ. Напруга завдання, величина якої визначає частоту, поступає безпосередньо в БКІ. Одночасно з БЗШ поступає сигнал у БКВ. Можливість роздільного керування частотою і напругою дозволяє реалізувати відповідний закон економічного частотного регулювання швидкості. У цій схемі зміна частоти і напруги здійснюється за законом (3). Сигнал, пропорційний е.р.с. двигуна одержується шляхом порівняння сигналів, пропорційних відповідно напрузі на статорі двигуна і струмові його навантаження за допомогою трансформаторів зворотного зв'язку ТЗЗ. Сигнал зворотного зв'язку порівнюється у блоці БЗШ з напругою завдання і їх різниця поступає в блок БКВ. Останній є фазово-імпульсною схемою керування, яка працює за вертикальним принципом [5].

Інвертор побудований на шести тиристорах  $T1-T6$  за схемою паралельного інвертора з міжфазовою комутацією і відтинаючими діодами ВД [3, 5]. Перетворення постійної напруги в трифазну змінну здійснюється комутацією тиристорів у певній послідовності: спочатку відкривається  $T1$ , через  $60^\circ$  вихідної частоти  $T2$ , потім  $T3$  і т. д. Кожний тиристор відкритий на протязі  $120^\circ$ , так що одночасно виявляються відкритими два тиристори:  $T1$  і  $T6$ ,  $T2$  і  $T1$ ,  $T3$  і  $T2$  і т. д.

Закривання тиристорів здійснюється комутуючими конденсаторами. Якщо, наприклад, вмикається тиристор  $T3$ , то через раніше відкритий тиристор  $T1$  відбувається розряд конденсатора, ввімкненого між ними, і  $T1$  закривається.

На виході інвертора одержується напруга, яка при активному навантаженні має ступінчасту форму (див. рис. 2), а при індуктивно-активному навантаженні, яким є асинхронний двигун, дещо спотворюється.

Отже, існуючі регульовані електроприводи змінного струму вітчизняних поліграфічних машин у багатьох випадках нераціональні, внаслідок характерних для них великих втрат енергії. Нерідко вони не можуть задовільнити зростаючих вимог машин і технологічних процесів до привода відносно діапазону і плавності регулювання швидкості, стабільності швидкості при змінах навантаження та надійності. Особливо це стосується асинхронного електропривода з реостатним регулюванням і релейно-контакторною схемою керування, який на сьогодні є морально застарілим і повинен бути замінений більш досконалою системою.

У багатьох галузях промисловості впроваджено досконалий асинхронний привод з частотним регулюванням. Основними перевагами ЧЕП є його висока економічність і можливість використання в регульованих електроприводах малогабаритного, дешевого і надійного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором.

Поліграфічна промисловість має ряд машин і установок, де частотнорегульований електропривод міг би успішно конкурувати з іншими сучасними системами приводів. Назріла необхідність розгорнути дослідження, спрямовані на впровадження частотнорегульованого привода в поліграфію.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Волощак І. А., Денис Б. Д. До питання про повне зрівноваження сил інерції стола плоскодрукарських машин.— «Поліграфія і видавнича справа», 1968, № 4.
2. Губенко Т. П., Фильц Р. В., Буркин В. С. Теоретические положения регулирования скорости вращения асинхронных машин изменением частоты.— В сб.: Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства. Т. 5, М., 1956.
3. Ситник Н. Х. [и др.]. Автономные инверторы с отделенными от нагрузки конденсаторами. М., «Энергия», 1968.
4. Чиликин М. Г. [и др.]. Проблемы автоматизированного электропривода.— В сб.: Труды V Всесоюзной конференции по автоматизированному электроприводу. Т. 1, М., «Энергия», 1971.
5. Шубенко В. А., Браславский И. Я., Шрейнер Р. Т. Асинхронный электропривод с тиристорным управлением. М., «Энергия», 1967.
6. Эттингер Е. Л. Вентильный электропривод с бесколлекторными двигателями переменного тока.— В сб.: Труды V Всесоюзной конференции по автоматизированному электроприводу. Т. 1, М., «Энергия», 1971.

I. A. VOLOSHCHAK

#### THE PERSPECTIVES OF APPLICATION OF THE FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVES IN THE PRINTING INDUSTRY

#### Summary

The advantages of the electric induction drive controlled by the change of the frequency of applied voltage and the possibility of this drive application in printing production machinery and installations are shown.