

УДК 677.055

**ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ПРИВОДАХ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН**

Г.П. РОСІНСЬКА, Ю.Є. КУЛЄШОВ

Київський національний університет технологій та дизайну

*Розглянуті схеми заміщення електродвигунів, для проведення дослідження перехідних процесів в приводах в'язальних машин. Проведено аналіз перехідних процесів під час динамічних режимів роботи асинхронних двигунів. Встановлена залежність перехідних процесів в приводі від законів комутації ключів інвертора перетворювача частоти регульованого приводу з асинхронним двигуном*

Відомо, що робота в'язальних машин характеризується несталим режимом руху – значною кількістю зупинок-пусків, зумовлених обривом і затяжкою ниток, поломок голок та іншим, що як відомо, викликає значні динамічні навантаження в механізмах та лініях передач привода машини. При чому динамічні навантаження, які виникають під час пуску в'язальної машини, переважають гальмівні динамічні навантаження лише при умові, коли час гальмування не відповідає технологічним вимогам процесу в'язання якісного трикотажного полотна, наприклад, при вільному вибігу машини (примусове гальмування відсутнє).

Таким чином, вимоги, що пред'являються до приводів в'язальних машин, привели до створення агрегатів, насичених автоматичними пристроями регулювання і контролю режимів їх роботи. Все більшого поширення набувають системи приводів з широким діапазоном плавного регулювання частоти обертання валу. Перевага віддається використанню регульованого електроприводу. Вибір системи електроприводу залежить від потужності, діапазону регулювання частоти обертання, умов пуску, гальмування і реверсу, масогабаритних та вартісних показників.

***Об'єкти та методи дослідження***

Об'єктом досліджень обрано перехідні процеси в приводах в'язальних машин. При вирішенні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи досліджень перехідних процесів в електроприводах машин.

***Постановка завдання***

Задача отримання заданих динамічних показників приводу в'язальної машини в значній мірі пов'язана з системою його регулювання. Таким чином, враховуючи доцільність підвищення ефективності роботи в'язальних машин шляхом удосконалення приводу, стаття присвячена аналізу перехідних процесів, що виникають в приводі в'язальних машин з асинхронним двигуном під час різних режимів його роботи (пуск, зупинка та ін.).

***Результати та їх обговорення***

В якості приводних двигунів в'язальних машин тривалий час використовувалися в основному прості двигуни постійного струму, що призводило до суттєвого зниження їх техніко-економічних показників [1]. Розвиток напівпровідникової техніки і створення на цій основі безконтактних пристроїв (статичних перетворювачів частоти, різного роду регуляторів), дозволяють широко використовувати в приводах електродвигуни змінного струму.

Відома модифікована схема заміщення [1], яку можна використовувати не лише для дослідження властивостей асинхронних двигунів (АД), але і при порівняльному аналізі електродвигунів різних типів,

завдяки схожості в структурі (рис.1). Де в якості параметру  $t_e$ , що змінюється від навантаження, виступає ковзання.

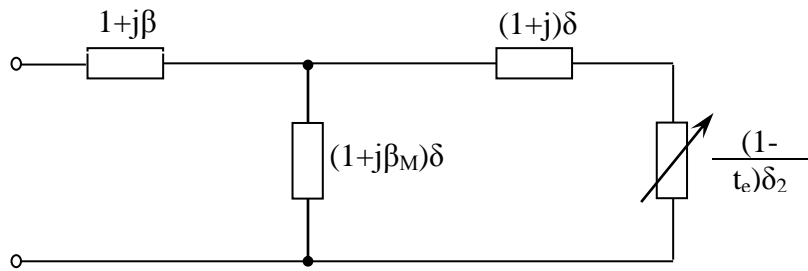


Рис. 1. Універсальна схема заміщення електричних машин

В основу модифікованих схем заміщення асинхронних машин покладені наступні узагальнені

відносні параметри [1]:  $\beta_1 = \frac{x_1}{r_1}$  – відносний індуктивний опір первинного кола;

$\delta_M = \frac{r_M}{r_1}$  – відносний активний опір контуру, що намагнічує;

$\beta_M = \frac{x_M}{r_M}$  – відносний індуктивний опір контуру, що намагнічує;

$\beta_2 = \frac{x_2}{r_2}$  – відносний індуктивний опір вторинного кола;

$\delta_2 = \frac{r_2}{r_1}$  – відносний активний опір активного кола.

Відносні значення електромагнітного моменту двигуна, можна визначити за формулою [1]:

$$b_{\text{сiд}} = \frac{m_{\text{ем}}}{M_m} = \frac{2(1+t_{k1})}{\frac{t_1}{t_{k1}} + \frac{t_{k1}}{t_1} + 2t_{k1}}, \quad (1)$$

де  $t_{k1}$  – параметр, що відповідає найбільшому значенню електромагнітної потужності,

$$t_{k1} = \pm \frac{1}{\sqrt{1+\beta_\infty^2}};$$

$\beta_\infty$  – відносний опір машини при  $t_e = \pm\infty$ ;

$$t_1 = \frac{t_e}{\delta};$$

$\delta$  – відношення приведенного значення активного опору вторинного кола до активного опору первинного кола.

Аналіз рівнянь (1) і графічних залежностей відносного значення електромагнітного моменту  $b_{\text{а3а}}$  від параметра  $t_1$  для різних значень параметра  $t_{k1}$  [1] показує, що чим більше відносний індуктивний опір машини  $\beta_\infty$ , тим менше номінальне і критичне значення параметра  $t_1$ .

Основні закони частотного управління машини змінного струму при різних навантаженнях можна визначити на базі схеми заміщення рис. 2 [1]:

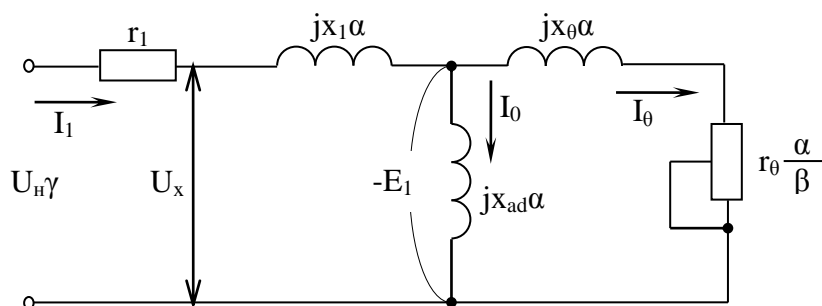


Рис. 2. Схема заміщення електродвигуна при змінній частоті напруги живлення:  $r_1$  – активний опір обмотки статора;  $x_1$  – індуктивний опір розсіяння обмотки статора;  $x_{ad}$  – індуктивний опір контуру, що намагнічує, при номінальній частоті;  $x_\theta$  – індуктивний опір вторинного кола при номінальній частоті;  $r_\theta$  – активний опір вторинного кола при номінальній частоті

Слід зазначити, що асинхронна машина при частотному управлінні характеризується трьома основними відносними параметрами [1]:

$$1) \text{ відносною частотою струму статора } \alpha = \frac{f}{f_i},$$

де  $f$  – частота струму статора;  $f_i$  – номінальне значення цієї частоти;

$$2) \text{ відносною напругою } \gamma = \frac{U}{U_H};$$

$$3) \text{ відносним зсувом } \beta = \frac{\text{tg } \theta}{\text{tg } \theta_H}.$$

Таким чином при частотному регулюванні швидкості двигунів виникає ціла низка проблем, пов'язаних як з роботою машин, так і з вибором закону частотного регулювання. Діапазон зміни частоти напруги обмежений параметрами двигуна і можливостями самої системи регулювання.

Асинхронні двигуни володіють низкою переваг в порівнянні з двигунами постійного струму, але порівняно з машинами подвійного живлення, у тому числі із синхронними машинами, є об'єктом з більш обмеженою керованістю і спостерігаємістю [2]. Перша властивість обумовлена тим, що дії, які управляють, можуть бути прикладені безпосередньо лише до обмотки статора АД. Друга властивість пов'язана з неможливістю безпосереднього контролю координат стану ланцюгів ротора без впровадження в конструкцію машини вимірювальних елементів. Тому організація високоякісних процесів управління АД порівняно з іншими відміченими машинами є складнішою задачею.

Сьогодні найбільше поширення отримали електроприводи змінного струму з керованими напівпровідниковими перетворювачами частоти.

Основними ланками таких перетворювачів частоти є випрямляч з фільтром та інвертор. У

системах частотного управління електродвигунами змінного струму застосовуються автономні інвертори. Вони здатні функціонувати як за наявності, так і за відсутності в колі навантаження джерел, здатних розвивати ЕРС і генерувати активну енергію. Автономним інвертором є комутатор, для функціонування якого необхідні керовані перемикаючі елементи (силові транзистори, тиристори).

Для приводу в'язальних машин найбільш придатні автономні інвертори напруги, які забезпечують величину і форму вихідної напруги і не залежить (або майже не залежать) від параметрів навантаження.

Головними перевагами дволанцюгових перетворювачів частоти з проміжною ланкою постійного струму є: можливість отримання на виході перетворювача широкого діапазону частот, незалежно від частоти напруги; можливість реалізації в малоелементній структурі перетворювача різноманітних алгоритмів управління, що задовольняють вимогам, які пред'являються до електроприводів; можливість нарощування складності силової частини і системи управління перетворювача пропорційно рівню підвищення вимог до електроприводу, не допускаючи надмірності системи.

Проте, вищі гармоніки інвертора напруги породжують не стільки додаткові постійні складові моменту, скільки змінні складові, обумовлені взаємодією вищих гармонік із першою гармонікою і між собою. Найбільш значущими в механізмі утворення пульсацій електромагнітного моменту є результати взаємодії п'ятої і сьомої гармонік струму з основною гармонікою магнітного поля двигуна [2].

Відповідно до законів механіки [3], пульсації моменту породжують нерівномірність обертання ротора, додаткові вібрації, шуми і умови для виникнення небажаних резонансних явищ в механічній системі. При номінальній частоті напруги (50 Гц) внаслідок підвищеної частоти пульсацій моменту ( $50 \times 6 = 300$  Гц) і інерції механічної системи пульсацій швидкості виявляються невеликими, прийнятними для електрифікованих механізмів.

Проте при пониженні частоти інвертора і відповідно частоти пульсацій електромагнітного моменту нерівномірність обертання ротора зростає. При малих частотах виникає так званий *кроковий режим роботи* двигуна з періодичними зупинками ротора.

Ці фактори обмежують допустимий діапазон регулювання швидкості електроприводу при використанні базового закону комутації ключів інвертора.

Іншим негативним фактором впливу несинусоїдальності напруги живлення є наявність додаткових втрат від вищих гармонік, що призводить до зниження допустимого корисного навантаження на валу двигуна за умовами його нагріву.

У зв'язку з розвитком і застосуванням напівпровідникової перетворювальної техніки в електроприводах змінного струму з початку 60-х років в нашій країні і за кордоном виконана велика кількість робіт, направлених на розробку схем, дослідження режимів, математичне моделювання і створення методів розрахунку процесів в системах перетворювач - двигун.

Відома математична модель [2] поширеної на практиці системи перетворювач частоти - асинхронний двигун з трифазним мостовим автономним інвертором напруги і короткозамкнутим асинхронним двигуном. Приклади розрахунків динамічних режимів роботи асинхронного двигуна, методом Рунге-Куты наведені на рис. 3...5:

а) режим прямого пуску АД (рис. 3), навантаження на валу двигуна відсутнє ( $m_s = 0$ ).

В даному випадку явно виражений електромагнітний перехідний процес із значними

коливаннями моменту  $m$  і струму статора  $i_s$  двигуна;

б) режим динамічного гальмування двигуна (рис. 4), момент статичного опору реактивний ( $m_s = 0,4$ ), струм динамічного гальмування  $i_{s\text{дін}} = 1$ . Процес характеризується значними ударними перехідними значеннями струму статора і електромагнітного моменту.

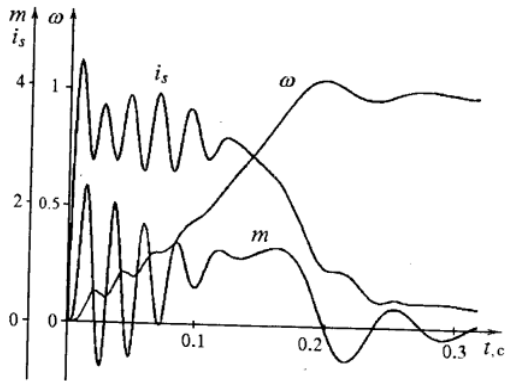


Рис. 3. Прямий пуск АД

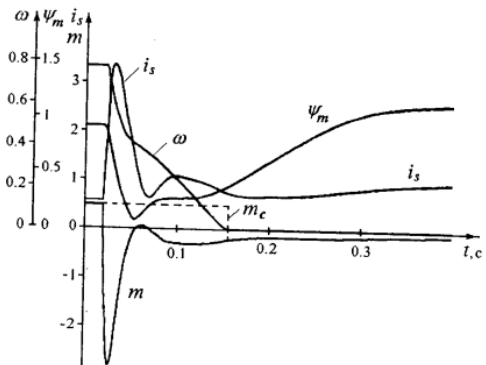


Рис. 4. Динамічне гальмування АД

в) режим при ступінчастому збільшенні навантаження на валу двигуна (рис. 5). Тут спостерігаються електромагнітні перехідні процеси із значними коливаннями струму статора, електромагнітного моменту і швидкості двигуна.

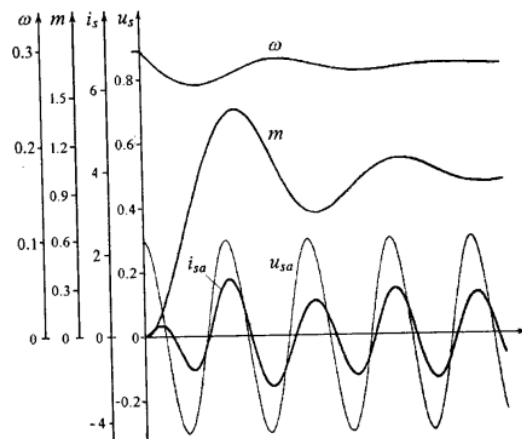


Рис. 5. Збільшення навантаження на валу АД

Для усунення відмічених вище небажаних явищ і розширення діапазону регулювання швидкості використовують вдосконалені закони комутації ключів інвертора. Останніми роками найбільше поширення набули інвертори із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Практична схема перетворювача частоти з ШІМ для електроприводу з змінним струмом та її математична модель наведені в [2].

На рис. 6. представлений процес математичного моделювання, що виникає при ступінчастому збільшенні навантаження на валу АД середньої потужності за наступними умовами: частота інвертора і

ЕРС джерела його живлення постійні ( $\omega_s = const$ ,  $e_d = const$ ); кут провідності ключів автономного інвертора постійний і дорівнює  $120^\circ$ , таким чином моделюється «м'який» закон комутації.

З рис. 6. видно, що вихідна напруга інвертора суттєво залежить від зміни електромагнітного стану двигуна в перехідному процесі. Наявність безструмових пауз в графіках струмів обумовлює підвищення пульсації електромагнітного моменту. З цих причин використання режимів управління із скороченими інтервалами провідності ключів автономного інвертора недоцільно.

При збільшенні кута провідності ключів інвертора до  $180^\circ$ , тобто при базовому, «жорсткому» законі комутації, форма вихідної напруги інвертора стабілізується і сприяє зменшенню пульсацій електромагнітного моменту двигуна (рис. 7). Цей закон комутації найприйнятніший для практичного вживання.

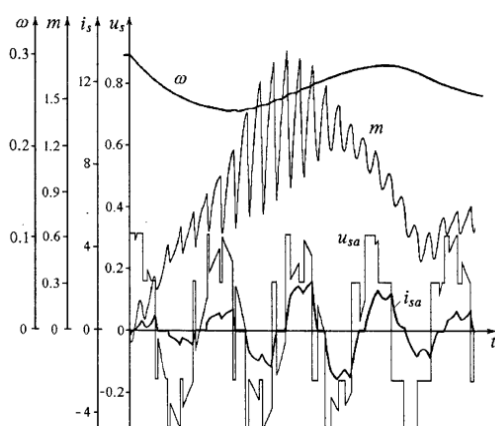


Рис. 6. Збільшення навантаження на валу двигуна в системі ПЧ-АД ( $\lambda=120^\circ$ )

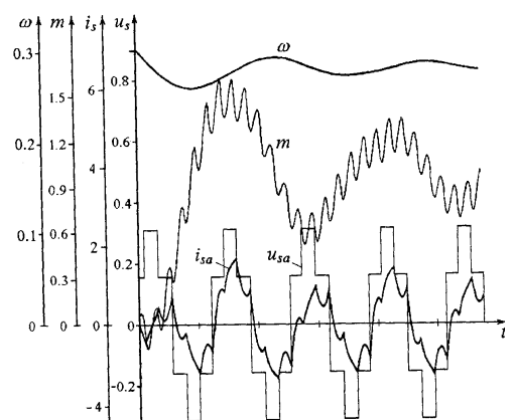


Рис. 7. Збільшення навантаження на валу двигуна в системі ПЧ-АД ( $\lambda=180^\circ$ )

### Висновки

При розробці приводу в'язальної машини з двигуном змінної частоти для отримання оптимальної системи при заданих техніко-економічних показниках і допустимих перевантаженнях необхідно: проводити комплексну оцінку впливу параметрів двигуна на її показники; вирішити основну задачу, це вибір системи зворотних зв'язків, що характеризують безпосередньо режим роботи асинхронного двигуна та вибрати такий закон для управління двигуном, який в умовах конкретного приводу забезпечить стійкою роботу двигуна в заданому діапазоні регулювання при найменших втратах.

Математична модель, що використовувалася для моделювання процесів (рис. 3...5) дозволяє досліджувати всілякі перехідні та сталі режими роботи двигуна з ідеальними джерелами живлення, включаючи режими частотного управління із ступінчастою і плавною зміною частоти і амплітуди напруги живлення двигуна.

Результати моделювання процесів з «м'яким» та «жорстким» законами комутації (рис. 6,7) наочно ілюструють можливості моделі враховувати вплив дискретності інвертора на форму напруги, струмів і пульсацій електромагнітного моменту, а також враховувати реакції двигуна на включення і виключення ключів інвертора і його поведінку під час безструмових пауз, включаючи режими

повторного відмикання некерованих вентилів. Модель придатна для дослідження не лише робочих, але і деяких аварійних режимів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Э.А. Толкачев, Р.Д. Маричев // Автоматизация и электрооборудование трикотажного производства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 112 с.
2. Р.Т. Шрейнер // Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты.- Екатеринбург. УРО РАН, 2000. – 654 с.
3. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов. / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под редакцией К.В. Фролова. – М.: Высш. Шк., 1987. – 496 с.