

КВАЗИЧАСТОТНЕ УПРАВЛІННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІЇ «KICK-START»

Властивості способу квазичастотного управління асинхронним двигуном в контексті реалізації функції «Kick-start» стосовно забезпечення гарантованого зрушення рухомих елементів електропривода при виникненні завеликих моментів опору.

К л ю ч о в і с л о в а: асинхронний двигун, момент опору, тиристорний регулятор, квазисинусоїдальна напруга, струм, механічні характеристики, осцилограми параметрів.

Свойства способа квазичастотного управления асинхронным двигателем в контексте реализации функции «Kick-start» касательно обеспечения гарантированного сдвига подвижных элементов электропривода при возникновении высоких моментов сопротивления.

К л ю ч е в ы е с л о в а: асинхронный двигатель, момент сопротивления, тиристорный регулятор, квазисинусоидальное напряжение, ток, механические характеристики, осциллограммы параметров.

Постановка проблеми. Властивості механічної характеристики асинхронного двигуна (АД) з короткозамкненим ротором визначають його певні недоліки і функціональні обмеження, в тому числі:

а) зменшення більш, ніж у 2 рази, пускового моменту у порівнянні з максимальним;

б) початковий етап розгону до моменту досягнення ковзанням критичного значення ($s_{кр}$) супроводжується підвищенням прискорення обертання ротора (оскільки АД у цей термін знаходиться на нестійкій ділянці механічної характеристики);

в) наявність вимушеної і вільної складових магнітного потоку у взаємовпливі обумовлюють утворення коливальних складових моменту АД на початку пуску при контакторному підключенні статора до мережі.

Отже, при застосуванні АД з короткозамкненим ротором в разі його контакторного підключення до живлячої мережі завжди існує ймовірність відсутності рушійного стану ротора через перевищення моментом опору гірничої машини значення пускового моменту двигуна. Крім цього, пуск з підвищенням прискорення ротора та при наявності коливань електромагні-

тного моменту обумовлюватиме суттєве зменшення ресурсу трансмісії електроприводу.

Цими обставинами обумовлене поширене застосування засобів уповільнення пуску АД (пристрої «Soft-start»), що функціонують в режимі регулятора напруги [1]. Розімкнена система автоматичного управління дозволяє змінювати у часі значення вихідної напруги регулятора від фіксованого зменшеного значення до номінального за умови фазового регулювання кутів відпирання α (провідності β) тиристорів.

Однак усунення динамічних перевантажень приводу не вирішує проблему дотримання достатніх якісних показників стосовно пускового режиму. Враховуючи на квадратичну залежність електромагнітного моменту АД від напруги, слід очікувати суттєве погіршення пускових властивостей електроприводу на початковій стадії розгону при живленні напругою, меншою за номінальну.

Частково це протиріччя вирішується шляхом застосування ефекту «Kick-start» – способом короткочасного формування напруги, близької до номінального значення на початку пуску АД з подальшим виконанням функцій «Soft-start» [1].

В цьому випадку АД не розвиватиме момент більший, ніж той, що обумовлений його природною механічною характеристикою. У той же час в умовах гірничого виробництва використовується багато видів гірничих машин з підвищеним моментом опору, у т.ч., – підвищеним моментом опору при зрушенні у порівнянні з моментом опору в стані руху. Ця властивість є типовою, зокрема, для скребкових конвеєрів (момент опору при зрушенні є більшим у 1,6...1,8 рази, ніж момент опору в стані руху) [2]. Крім того, момент опору може суттєво збільшуватися в разі пуску повністю завантаженого скребкового конвеєра. Отже, властивості існуючих засобів реалізації функції «Kick-start» при виконанні керованого пуску такої установки можуть бути недостатніми.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз відомих способів керованого пуску асинхронних електроприводів гірничих машин свідчить про те, що ні частотне регулювання, ні реостатний, ні каскадний способи не дозволяють здійснити пуск при дотриманні фіксованого рівня зменшеної швидкості з підвищенням електромагнітного моменту до значення, більшого за критичний рівень [3]. Жоден з цих способів не дозволяє і реверсувати АД без контакторних переключень в ланцюгах живлення статора.

Мета статті. Обґрунтування способу управління асинхронним електроприводом гірничої машини, при якому в режимі «Kick-start» досяга-

тиметься перевищення пусковим моментом АД критичного значення при стійкій роботі зі зменшеною кутовою швидкістю.

Результати дослідження. Прийнятними показниками відрізняється квазичастотне управління параметрами асинхронного електроприводу [4]. Відповідно до цього способу формування системи напруги досягається переключенням груп тиристорів трифазного регулятора по черзі у відповідності із діаграмою станів (таблиця 1). Умовою формування напруги, симетричної у фазах та півхвилях є дотримання тривалості Δt формування відпираючих імпульсів для кожної групи (по одному тиристорі у фазі):

$$\Delta t = 1 / (6f_{mod});$$

$$f_{mod} = f_M / (6n = 1), \quad (1)$$

де f_{mod} – частотна модуляції квазисинусоїдальної напруги;

f_M – промислова частота мережі ;

n – число натурального ряду;

знаки «+» та «-» відповідають прямому та зворотному порядку фазної квазисинусоїдальної напруги.

Таблиця 1

Інтервали комутації	Ввімкнені тиристири											
	Прямий порядок фаз						Зворотний порядок фаз					
	VS1	VS2	VS3	VS4	VS5	VS6	VS1	VS2	VS3	VS4	VS5	VS6
1		X	X		X			X	X		X	
2		X		X	X			X	X			X
3	X			X	X		X		X			X
4	X			X		X	X			X		X
5	X		X			X	X			X	X	
6		X	X			X		X		X	X	

Приклад формування фрагменту квазисинусоїдальної напруги $u_{квА}$; $u_{квВ}$; $u_{квС}$ на інтервалі Δt наведений на рисунку 1. Значення напруги на фазах навантаження ($u_{квА}$; $u_{квВ}$; $u_{квС}$) та у нульовій точці («зірці») навантаження (u_0) на окремих часових інтервалах $t_0 - t_1$; $t_1 - t_2$; $t_2 - t_3$ визначаються виразами таблиці 2.

Таким чином, прийнявши $n = 1$ у виразі (1), можна отримати системи квазисинусоїдальної напруги частоти $f_{mod} = (50/7) = 7,14$ Гц прямого порядку слідування у фазах та частоти $f_{mod} (50/5) = 10$ Гц зворотного порядку.

Нашими дослідженнями [4] встановлено, що АД в цьому разі розвиватиме пусковий момент у двічі більший, ніж критичний момент (рисунок 2). Це створює сприятливі умови для підвищення ефективності режиму «Kick-start», зокрема при зрушенні з місця елементів трансмісії завантаженого електропривода, що зазнав стопоріння.

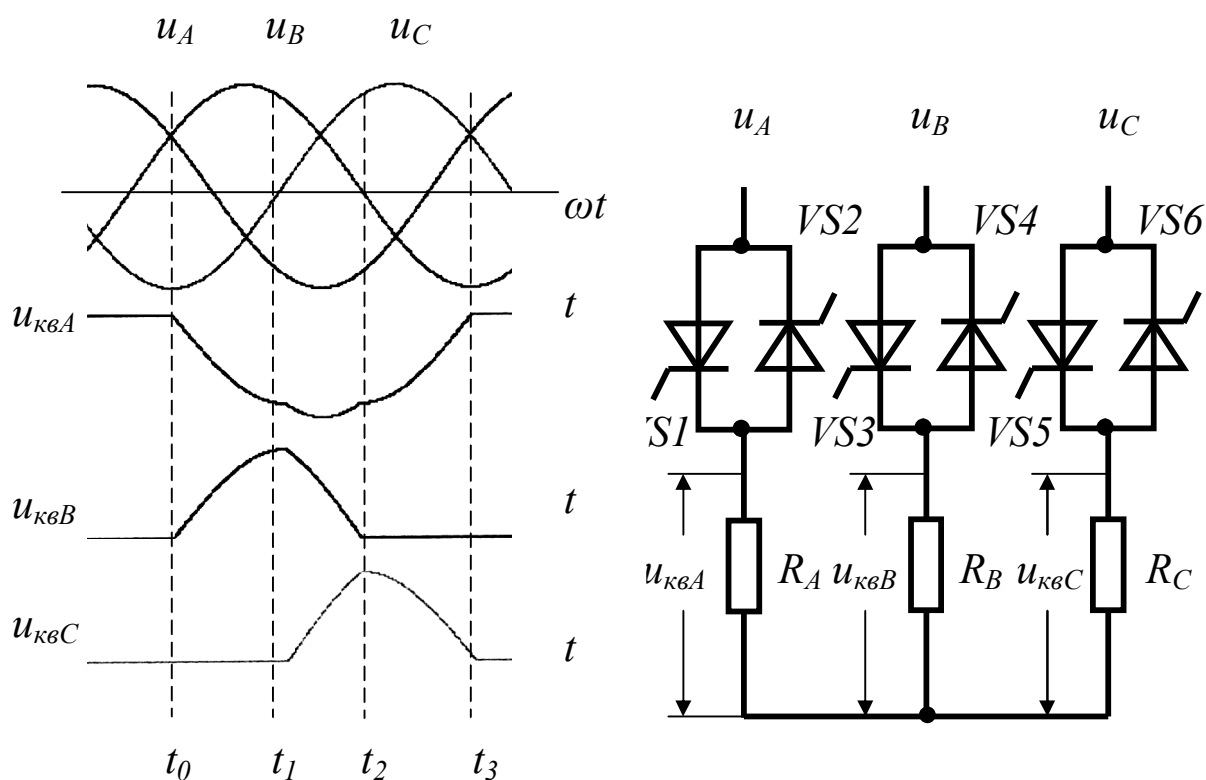


Рисунок 1 – Діаграма формування фрагментів квазисинусоїдальної напруги на активних резисторах R_A , R_B , R_C навантаження на часовому інтервалі $t_0 - t_3$ (у відкритому стані група тиристорів VS_2 ; VS_3 ; VS_5)

Таблиця 2

Напруга на елементах навантаження	Вирази напруги на протязі часових інтервалів		
	$t_0 - t_1$	$t_1 - t_2$	$t_2 - t_3$
u_{kvA}	$(u_A - u_B) / 2$	$U_m \sin \omega t$	$(u_A - u_C) / 2$
u_{kvB}	$(u_B - u_A) / 2$	$U_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$	0
u_{kvC}	0	$U_m \sin(\omega t + 2\pi/3)$	$(u_C - u_A) / 2$
u_o	$u_A - (u_A - u_B) / 2$	0	$u_A - (u_A - u_C) / 2$

Ефект підвищення удвічі критичного моменту АД при живленні квазисинусоїдальним струмом низької частоти підтверджений в результаті ек-

спериментальних досліджень шляхом виміру розтягуючого зусилля (F) в застопеному скребковому ланцюзі конвеєра при його пуску (живлення експериментальної установки здійснювалось від джерела з номінальною лінійною напругою 380 В частоти 50 Гц). При цьому встановлені наступні співвідношення [4]:

а) розтягуючих зусиль в сталому стані при квазичастотному управлінні ($f_{\text{мод}} = 7,14$ Гц) та при живленні АД номінальною напругою промислової частоти : 180 кН / 90 кН;

б) пускового струму при квазичастотному управлінні ($f_{\text{мод}} = 7,14$ Гц) та при живленні АД номінальною напругою ($f_m = 50$ Гц): $I_{\text{КВ.П.}} / I_{\text{Н.П.}} = 1,019$;

в) відношення діючого струму АД в рухомому ($I_{\text{РВХ}}$) та нерухомому ($I_{\text{СТОП}}$) стані ротора при квазичастотному управлінні ($f_{\text{мод}} = 7,14$ Гц): $I_{\text{РВХ}} / I_{\text{СТОП}} = 1,234$.

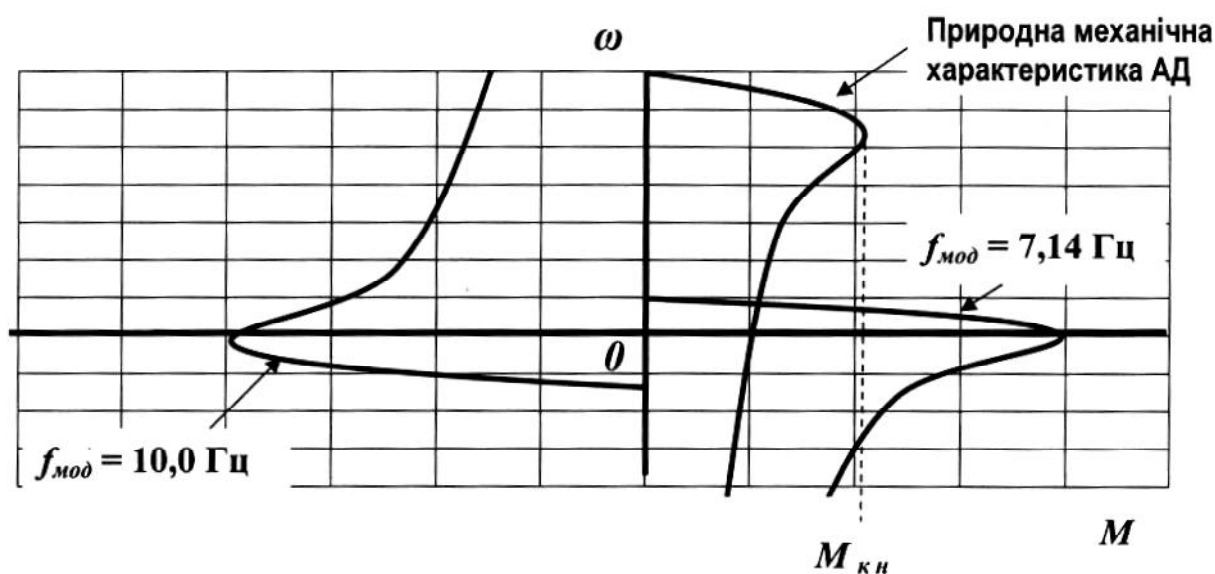


Рисунок 2 – Механічні характеристики асинхронного двигуна: природна та штучні при квазичастотному електроживленні з частотами модуляції напруги $f_{\text{мод}} = 7,14$ Гц прямого порядку фаз та $f_{\text{мод}} = 10,0$ Гц зворотного порядку фаз

Останнє ілюструється осцилограмами (рисунок 3) та діаграмами (рисунок 4) і пояснюється впливом зворотної електрорухомої сили (ЕРС) АД схеми тиристорного регулятора, у наслідок чого збільшуються інтервали провідності тиристорів при формуванні середнього та останнього фрагментів квазисинусоїдальної напруги кожної півхвилі [4].

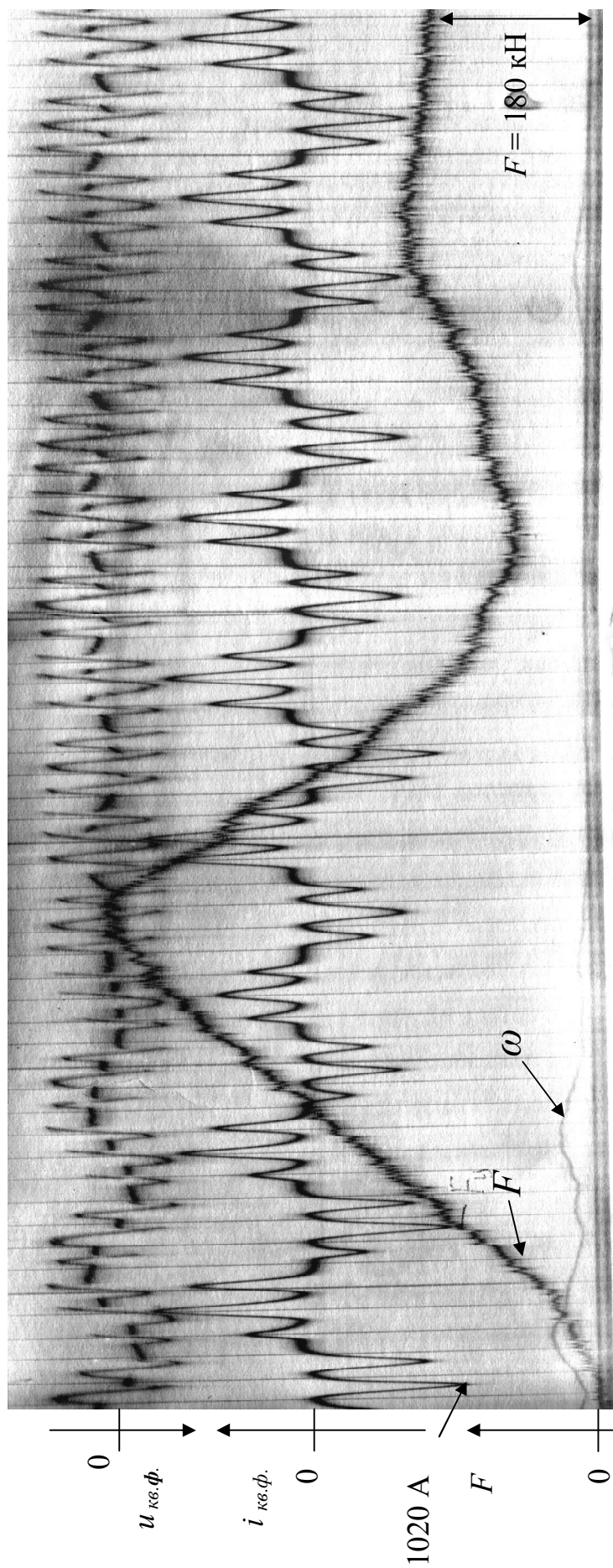


Рисунок 3 – Осцилограми фазної квазисинусоїдальної напруги $U_{кв.ф}$ та струму $I_{кв.ф}$ асинхронного двигуна потужністю 32 кВт, а також розтягуючого зусилля F у скребковому ланцюзі конвеєра при пуску в стані стопоріння ланцюга на відстані 4 м від приводного валу; $f_{мод} = 7,14\text{ Гц}$; ω – параметр кутлової швидкості ротора АД

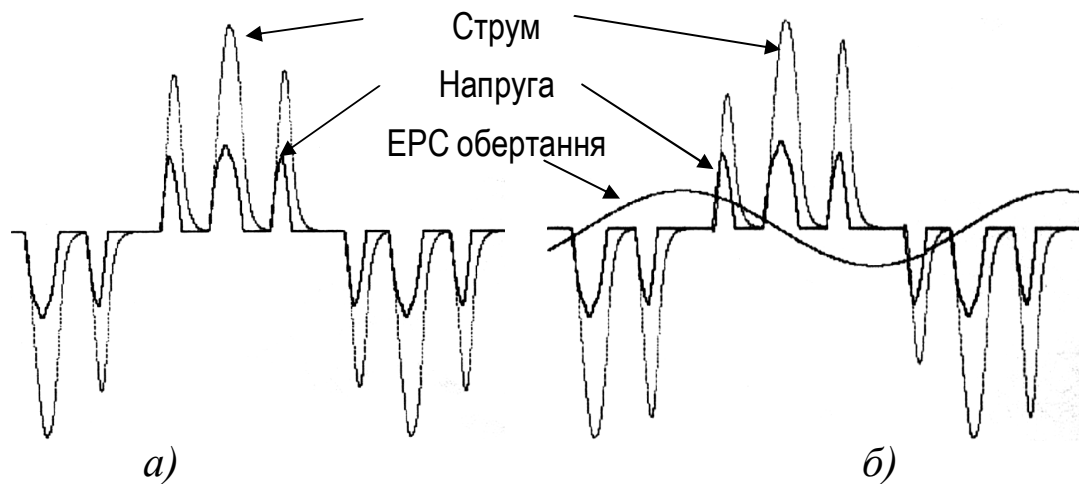


Рисунок 4 – Діаграми фазних струму, напруги і ЕРС обертання АД, а – ротор нерухомий; б – ротор обертається

Висновки. При обґрунтуванні способу управління асинхронним електроприводом гірничої машини з урахуванням функції «Kick-start» встановлено:

1. Квазичастотним управлінням АД забезпечується стійкий рух ротора зі зменшеною кутовою швидкістю при підвищеному удвічі критичному моменті.

2. Напрямок обертання ротора визначається порядком переключення груп тиристорів трифазного регулятора в ланцюзі статора АД. Процес супроводжується підвищенням споживаного струму (що є фактором обмеження тривалості застосування квазичастотного режиму для електроживлення АД).

3. Позитивні властивості квазичастотного режиму можуть бути використані для запровадження надійного зрушення завантаженого, заштибованого або застопеного асинхронного електроприводу гірничої машини.

Список літератури

1. Савицкий В.Н. Взрывозащищённое устройство плавного пуска КУВПП-250 М УХЛ5 [Электронный ресурс] / В.Н.Савицкий, В.Л.Митрохин.– Режим доступа: <http://ukrniive.com.ua/ru/article/soft-start.htm>

2. Леусенко А.В. Скребковые конвейеры / А.В.Леусенко, Г.В.Высоцкий, Б.А. Эйдерман . – М.: Недра, 1993. – 221 с.

3. Автоматизований електропривод машин і установок шахт і рудників: навч. посіб. для вузів / [К.М. Маренич, Ю.В. Товстик, В.В. Турупалов, та ін.]; під ред. К.М. Маренича. – Донецьк: ДонНТУ, 2012.– 245 с.

4. Маренич К.Н. Асинхронный электропривод горных машин с тиристорными коммутаторами /К.Н.Маренич. – Донецк: ДонГТУ, 1997. - 64 с.