дотику до струмовідних частин у нормальному режимі установки // Енергетика і електрифікація. – 2002. – № 8. – С. 47–51. 4. Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчёт электрической ёмкости. – М.: Энергия, 1969.

УДК 621.313

Й.Р. Селепина
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ТЗЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З НЕЛІНІЙНОСТЯМИ В КОЛІ СТАТОРА

© Селепина Й.Р., 2007

Розглянуто характеристики асинхронного електропривода на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і включенням у роз’єднання спільної точки статора несиметричного мостового випрямляча.

In this article are considered the characteristics of the electric drive on the basis of the asynchronous engine with a short-circuited rotor, with the asymmetrical bridge rectifier, which is included in the disconnected general point of stator.

Постановка проблеми. У технічних пристроях автоматики технологічних механізмів використовують асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором, що працюють у короткотривалих режимах роботи як виконавчі механізми. Для підвищення техніко-економічних показників роботи пристроїв їх частота обертання (частота обертання ротора АД) повинна бути керованою. Регулювання частоти обертання АД з короткозамкненим ротором здійснюють, використовуючи різні способи, зокрема, застосуванням перетворювачів частоти на базі транзисторних інверторів з регулюванням напруги і частоти статора двигуна за заданим законом, застосуванням регуляторів змінної напруги статора тощо. Одним із засобів регулювання частоти обертання ротора в діапазоні від нуля до номінального значення є включення нелінійних опорів (діодів та тиристорів), з’єднаних у вигляді шестипульсної схеми, вхід якої з’єднується з кінцями обмотки статора, а вихід закорочується через тиристор або резистор (включення моста в роз’єднання загальної точки статора). Проблема регулювання частоти в технологічних пристроях є актуальним завданням, тому що дозволяє покращити режими роботи всього технологічного обладнання, з яким працює такий АД, та зменшує втрати енергії у всій системі. Тому дуже актуальним є дослідження характеристик АД при різних способах регулювання частоти обертання його ротора з урахуванням вартості, складності перетворювачів і техніко-економічних показників роботи всієї системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процеси в електромашинних системах з напівпровідниковими перетворювачами ґрунтовно досліджені в роботах О.Г. Плахтини. Спеціальні режими роботи асинхронних двигунів досліджували в роботах Л.П. Петрова, П.Ф. Вербового, А.П. Заболотного. Проте ці дослідження стосуються роботи електромашинних систем у тривалих режимах роботи під час застосування автономних перетворювачів зі складними системами керування або стосуються досліджень тільки пускових чи спеціальних режимів АД. У виконавчих електроприводах автоматики, що працюють у короткочасному режимі, необхідно мати прості, надійні схеми, які дозволяють здійснювати не тільки пуск двигуна, але й регулювання частоти обертання до заданого значення (нижче від номінального чи такого, що дорівнює номінальному) .

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Задачі досліджень. Враховуючи необхідність регулювання частоти обертання короткозамкнених АД і недостатність інформації про поведінку схем для регулювання частоти обертання АД з включенням у роз'єднання спільної точки статора мостового випрямляча, необхідно:

дослідити механічні характеристики в системі електропривода на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і включенням у роз'єднання спільної точки статора несиметричного мостового випрямляча;

одержати якісні характеристики струмів та напруг в системі електропривода з регулюванням частоти обертання АД від 0 до номінального значення.

Виклад основного матеріалу. Для плавного пуску АД з короткозамкненим ротором використовують включення мостових випрямлячів у роз'єднання спільної точки статора [3, 4]. Така схема дозволяє експлуатувати АД при частих пусках і гальмуванні. Дослідження режимів роботи проводилося в [1]. У [2] запропонована схема електропривода змінного струму, яка дозволяє здійснювати не тільки пуск та відімкнення АД з короткозамкненим ротором подачею імпульсів керування на тиристорну групу включеного в роз'єднання спільної точки статора АД несиметричного мостового випрямляча, а й здійснювати регулювання частоти обертання ротора від нуля до номінального значення з достатньо високою жорсткістю характеристик, яка визначається параметрами і коефіцієнтами схем зворотного зв'язку за частотою обертання ротора двигуна ω. Принципова схема системи електропривода зображена на рис. 1. Система імпульсно-фазового керування (СІФК), яка працює за вертикальним принципом, реалізована на трифазному трансформаторі, вторинні обмотки якого включені через діоди VD7-VD9 в коло керуючих електродів тиристорів VD4-VD6 (рис. 2). Керування кутом α здійснюється зміною напруги U_r від додаткового джерела постійної напруги $\pm E$. Така схема СІФК практично забезпечує кут керування α тиристорами мостового випрямляча в межах 0–80°, що достатньо для регулювання середнього значення напруги на обмотці статора в межах від максимального значення до нуля.

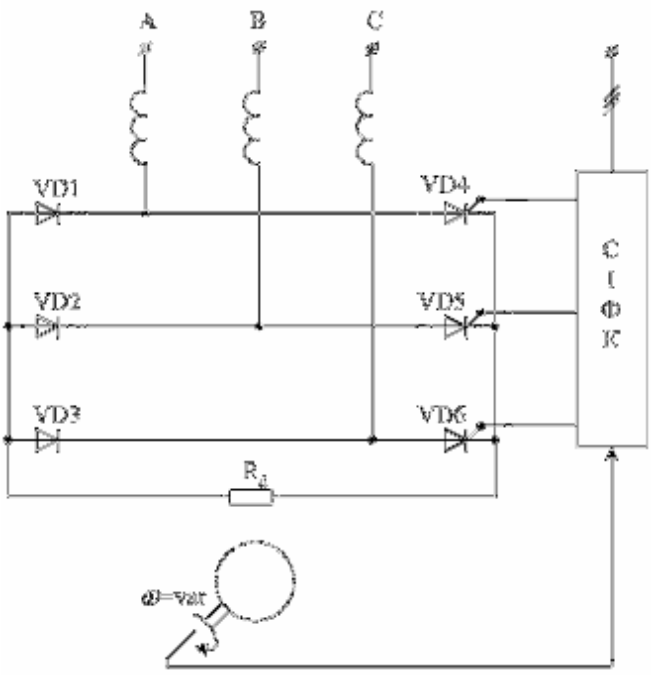

Рис. 1. Принципова схема електропривода

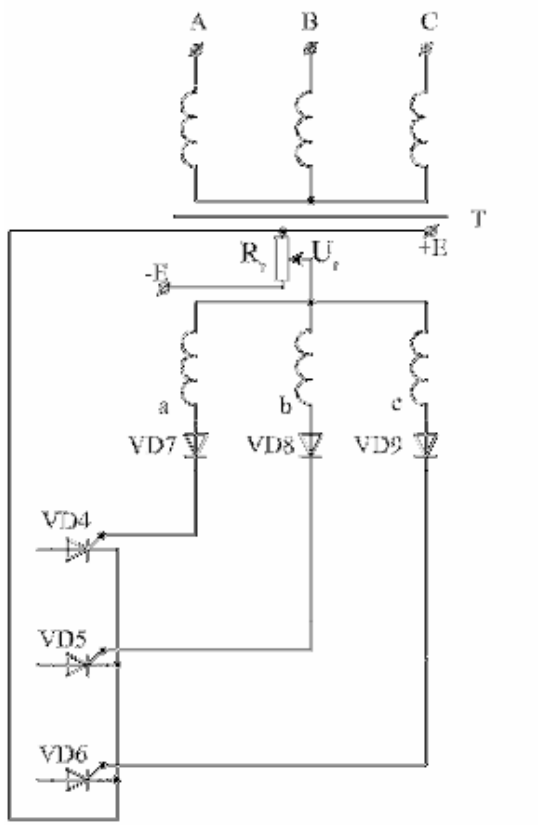

Рис. 2. Схема СІФК

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

При подачі напруги на СІФК утворюються імпульси з певним кутом керування α, які подаються на тиристорну групу випрямляча, що включений в роз'єднану спільну точку статора АД. При цьому двигун запускається і досягає усталеної частоти обертання. Для забезпечення стабільності частоти обертання ротора вводиться зворотний зв'язок за частотою обертання ω.

Розглянемо характеристики АД під час роботи цієї схеми. Пуск двигуна є прямим, тобто до статора АД підмикається повна напруга мережі, середнє значення якої регулюється кутом керування α. Отже, механічні характеристики АД під час пуску аналогічні механічним характеристикам двигуна при зміні напруги живлення. Під час збільшення опору R_d, на який замкнена катодна й анодна група випрямляча, механічні характеристики АД тотожні з механічними характеристиками АД з фазним ротором [4].

Експериментальні механічні характеристики АД типу 4А80А4 У3 з такими номінальними даними: $P_n = 1{,}1$ кВт, $n_n = 1420$ об/хв, зображені на рис. 3. Механічні характеристики знімалися на лабораторній установці, в якій досліджуваний двигун був ввімкнений за системою Г-Д. Як випливає з наведених характеристик, при збільшенні опору R_d значення критичного ковзання АД збільшується, але одночасно зменшується і критичний момент двигуна. При збільшенні кута керування α значення критичного ковзання залишається незмінним, а значення критичного моменту зменшується. Отже, змінюючи кут керування α, можна одержати сімейство механічних характеристик АД з заданою жорсткістю.

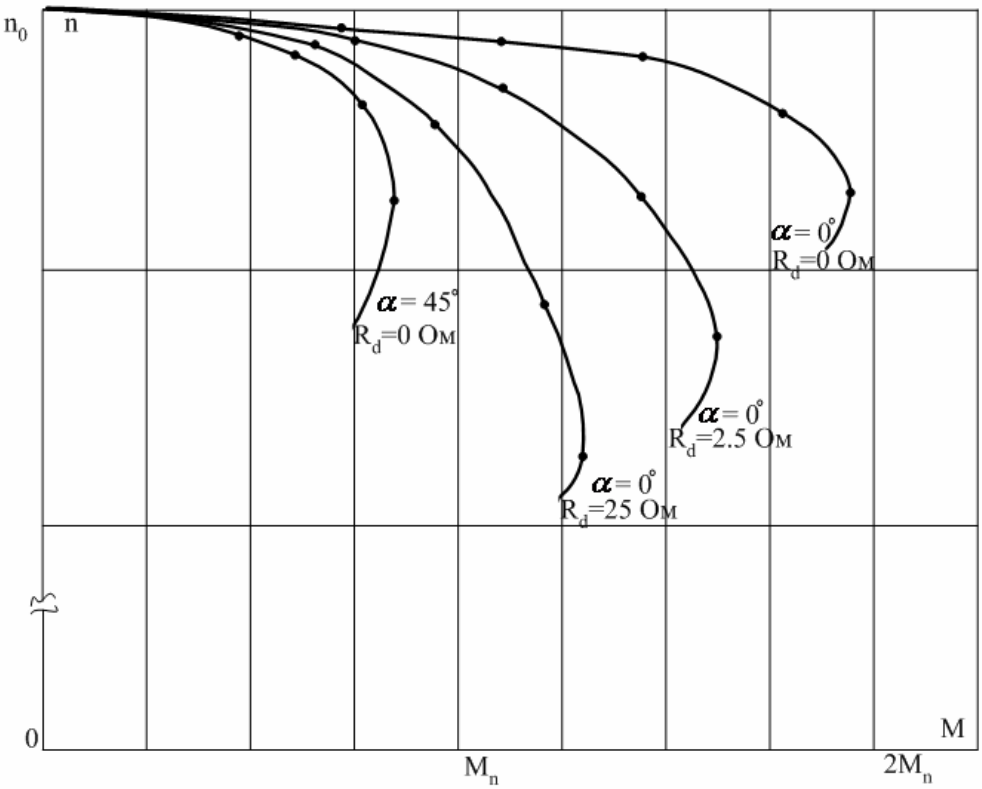

Рис. 3. Експериментальні механічні характеристики АД типу 4А80А4 У3

Розглянемо криві фазного стуму та напруги (рис. 4), які показують, що в режимі неробочого ходу та при додатковому опорі $R_d = 0$ криві струму та напруги практично синусоїдні. Проте в кривій напруги (рис. 4, *в*) при збільшенні опору R_d виникають несинусоїдні ділянки, що спричинює виникнення несинусоїдного струму та напруги особливо під час збільшення навантаження на валу двигуна (рис. 4, *г*). Такі несинусоїдні режими роботи спричинюють вплив на електромагнітний момент та змінюють температуру обмоток АД. Для кількісної оцінки несинусоїдності розкладемо ці криві напруги та струму фази статора АД в ряд Фур'є та визначимо порядок і кількісний склад гармонік. Розклад проведемо графо-аналітичним методом.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Оскільки криві напруги та струму симетричні щодо осі абсцис, у них відсутні постійна складова і парні гармоніки.

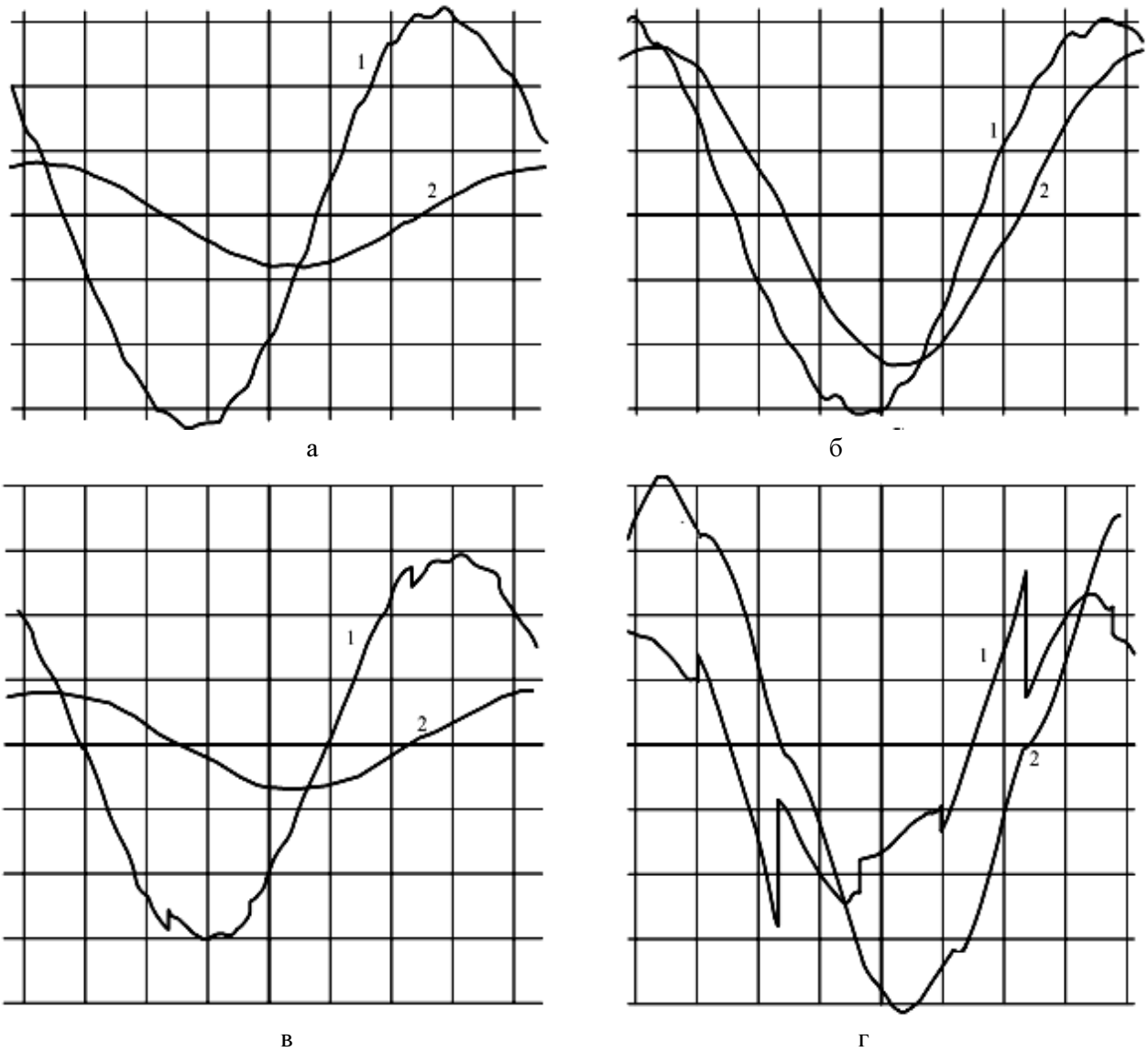

Рис. 4. Форма кривих фазної напруги (1) та струму (2) в одній з фаз обмотки статора АД

Амплітуда синусної та косинусної складової k -ї гармоніки ряду:

$$A_k^{'} = \frac{2}{n}\sum_{p=1}^{n} f_p(x)\sin_p kx, \tag{1}$$

$$A_k^{''} = \frac{2}{n}\sum_{p=1}^{n} f_p(x)\cos_p kx. \tag{2}$$

де $p = 1...n$ – номер дискрети; $x = (p - 0{,}5)\frac{2\pi}{n}$ – середина інтервалу під час розбиття графіка на n -частин; $f_p(x)$ – значення функції в середині p -го інтервалу.

Загальна амплітуда k -ї гармоніки:

$$A_k = \sqrt{\left(A_k^{'}\right)^2 + \left(A_k^{''}\right)^2}. \tag{3}$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Результати гармонічного розрахунку показані на рис. 5.

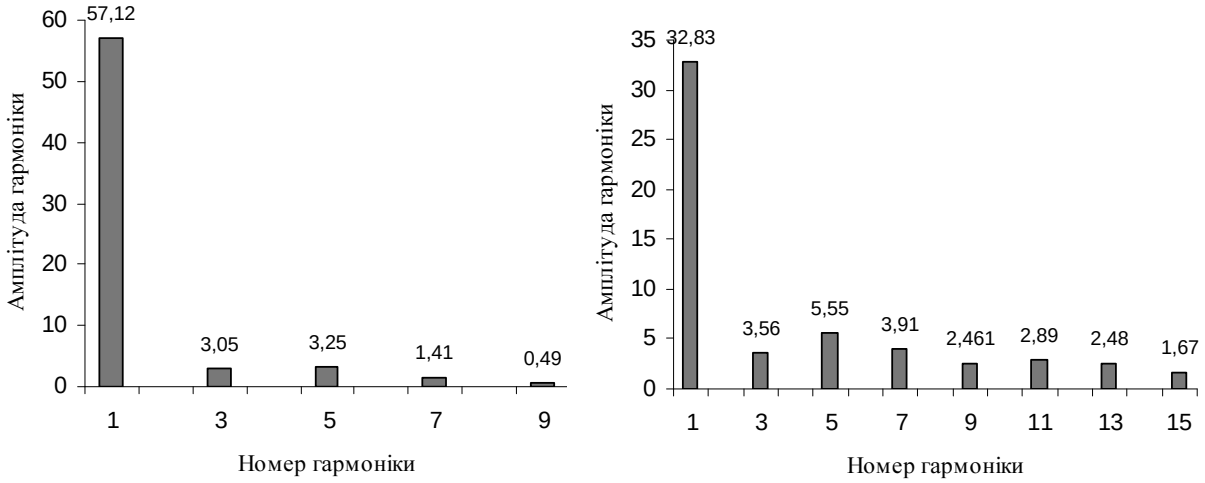

Рис. 5. Гармонічний склад кривих струму (а) та напруги (б)

Наявність третьої гармоніки вказує на те, що в статорі АД є несиметрія, яка виникає частково через незначну несиметрію напруги лабораторії, частково через включення нелінійних приладів у коло статора. Включення нелінійностей (діодів, тиристорів) в коло статора асинхронного двигуна призводить до роботи електропривода в спеціальному режимі, за якого виникають несиметрія та несинусоїдні струми статора, що впливають на механічні характеристики АД та температуру його обмоток.

Висновки. 1. Досліджено характеристики асинхронного електропривода на базі АД з короткозамкненим ротором з нелінійностями в колі статора. Показано, що частоту обертання ротора від нуля до номінального значення змінюють кутом керування α тиристорів та зміною опору, включеного між катодною і анодною групою випрямляча.

2. Цей електропривід можна використовувати для плавного пуску, регулювання частоти обертання ротора та зупинення двигуна шляхом зміни кута керування α. Причому електропривід можна використовувати у подальшому дослідженні режимів його роботи як виконавчий електропривід пристроїв автоматики або інших технологічних механізмів з короткотривалим режимом роботи.

1. Вербовой П.Ф., Заболотной А.П., Сьянов А.М. Асинхронные двигатели для тиристорного электропривода. НАН Украины, Ин-т электодинамики. – К.: Наук. думка, 1994. – 224 с. 2. Пат. України 19002. Електропривід змінного струму. 3. Петров И.И., Мейстель А.М. Специальные режимы работы асинхронного электропривода. – М.: Энергия, 1968. – 264 с. 4. Плахтына Е.Г. Матетическое моделирование электро-машинно-вентельных систем. – Львов: Вища шк., 1986. – 164 с. 5. Танатар А.И. Методы регулирования скорости асинхронных двигателей. – К.: Техника, 1968. – 157 с.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua