

## Висновки

1. Запропонована система частотно-керованого асинхронного електропривода формує статичні тягові характеристики з обмеженням максимального моменту без застосування функціональних перетворювачів
2. Дослідження шляхом математичного моделювання показали задовільну якість перехідних процесів регульованих координат при пуску та накиді навантаження в розробленій системі електропривода.

1. Лисовская И.С. Выбор характеристик регулирования асинхронного двигателя троллейбуса / И.С. Лисовская, В.К. Миледин, Б.Н. Начинкин // *Электротехническая промышленность. Сер. Тяговое и подъемно транспортное оборудование.*—1980.—Вып. 5[71].—С. 8. 2. Ефремов И.С. Перспективы применения асинхронного электропривода на городском транспорте / И.С. Ефремов., Л.С. Калошкина, С.И. Карасев // *Электричество.*—1984.—№ 10. — С. 21–26. 3. Зачек О.І. Програмно-комп'ютерна система керування в тяговому асинхронному електроприводі / О.І. Зачек // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка".* — 1999.—№ 372: *Електроенергетичні та електромеханічні системи.* — С. 59–64. 4. Карплюк Л.Ф. Вибір системи регулювання для електроприводів транспортних механізмів / Л.Ф. Карплюк // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка".* — 1997. — № 334: *Електроенергетичні та електромеханічні системи.*—С. 57–59. 5. Карплюк Л.Ф. Система керування для тягового частотно-керованого асинхронного електроприводу / Л.Ф. Карплюк, Б.Я. Панченко, Б.Л. Карплюк // *Вісник Національного технічного університету "ХПИ".* — 2003. — Вип. 10. 6. James N. Nash. Direct Torque Control, Induction Motor Vector Control Without an Encoder / James N. Nash // *IEEE Trans. Ind. Electronics, vol. 33, NO.2, p. 333-341, March/April 1997.*

УДК 681.5.01

А.І. Ковальчук, М.В. Хай, Б.М. Харчишин  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедри ЕАП, ЕМА, СКБ ЕМС

## МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ВАКУУМНОЇ ПЕЧІ ДЛЯ ВИПАЛЮВАННЯ МЕТАЛОКЕРАМІКИ

© Ковальчук А.І., Хай М.В., Харчишин Б.М., 2012

**Запропоновано розв'язання задачі здешевлення автоматизованих вакуумних печей з електроприводом на базі вентильних електродвигунів через заміну системи керування електропривода.**

**Ключові слова:** *автоматизована вакуумна піч, система керування електроприводу.*

**Offered solution to reduce the price of automatic vacuum oven with electrical drive, based on Brushless DC motors, by means of changing electrical drive's control system.**

**Key words:** *automatic vacuum oven, electrical drive's control system.*

## Вступ

Останнім часом позначилася тенденція до застосування спеціалізованої техніки, у якій сукупність електромеханічного перетворювача (ЕМП) та електронного блока керування розглядають як механотронну систему. Такий підхід за наявності певного типу електромеханічного перетворювача дає можливість синтезувати вентильний двигун, кроковий двигун тощо.

У Спеціальному конструкторському бюро електромеханічних систем Національного університету "Львівська політехніка" розроблено електромеханічний перетворювач, який в поєднанні з серійною мікросхемою ML4425 та матрицею силових транзисторів працює як вентильний двигун. Функціональна схема двигуна показана на рис. 1.

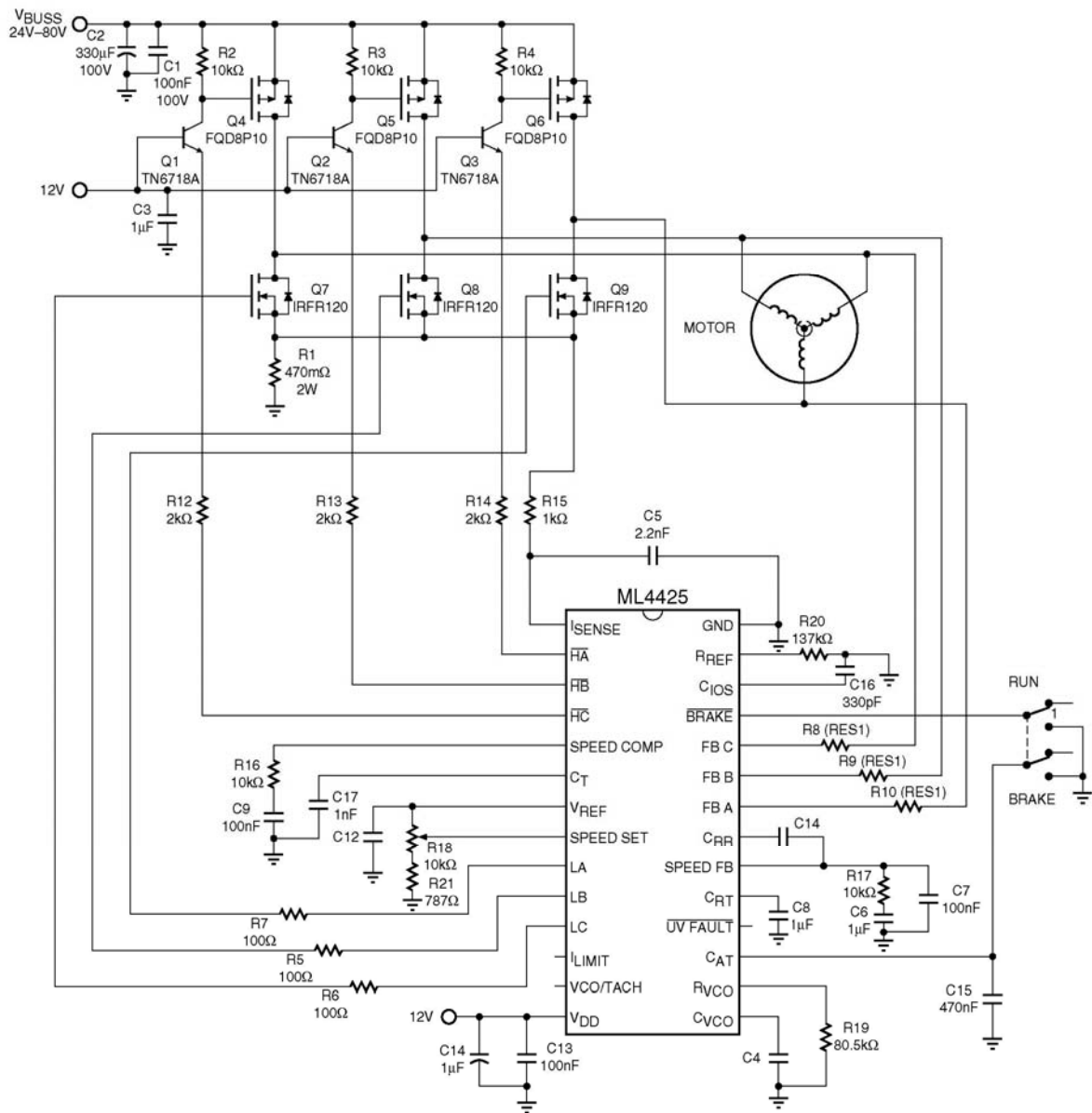


Рис. 1. Функціональна схема вентильного двигуна, керованого мікросхемою ML4425

Двигун є компонентом приводу підняття робочого столика автоматизованої вакуумної печі для випалювання металокераміки.

У статті розв'язується задача модернізації механотронної системи шляхом заміни серійної мікросхеми ML4425 на дешевший однокристальний мікроконтролер Atmega8 фірми Atmel з переводом електромеханотронного перетворювача з режиму вентильного двигуна у кроковий.

### Виклад основного матеріалу

Особливістю серійної мікросхеми ML4425 є наявність багатьох навісних елементів, функцією яких є задання різних параметрів, необхідних для старту та робочого режиму двигуна. Очевидно, додаткові елементи знижують надійність та ускладнюють процес налагодження системи.

Структурна схема модернізованої автоматизованої системи зображена на рис. 2. У ній двигун виступає як кроковий.

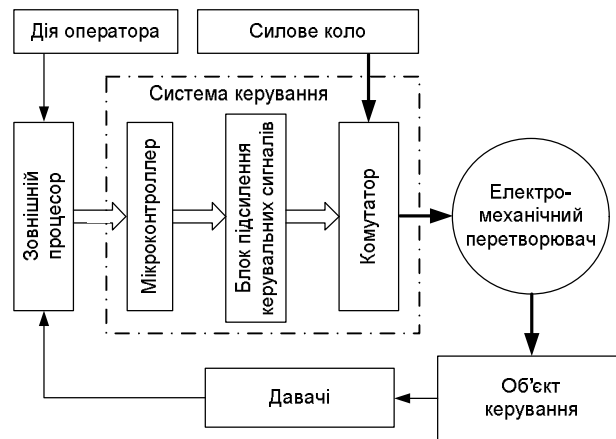


Рис. 2. Структурна схема модернізованої системи

У системі залишено електро-механічний перетворювач, матрицю силових транзисторів, які утворюють комутатор і уведено інший тип мікросхеми (мікроконтролер з блоком підсилення керувальних сигналів).

Розглянемо роботу системи на підставі функціональної схеми, поданої на рис. 3.

Для підсилення сигналів мікросхеми Atmega8 у схему вводяться додаткові транзистори VT1 – VT6 з відповідним об'ємуванням.

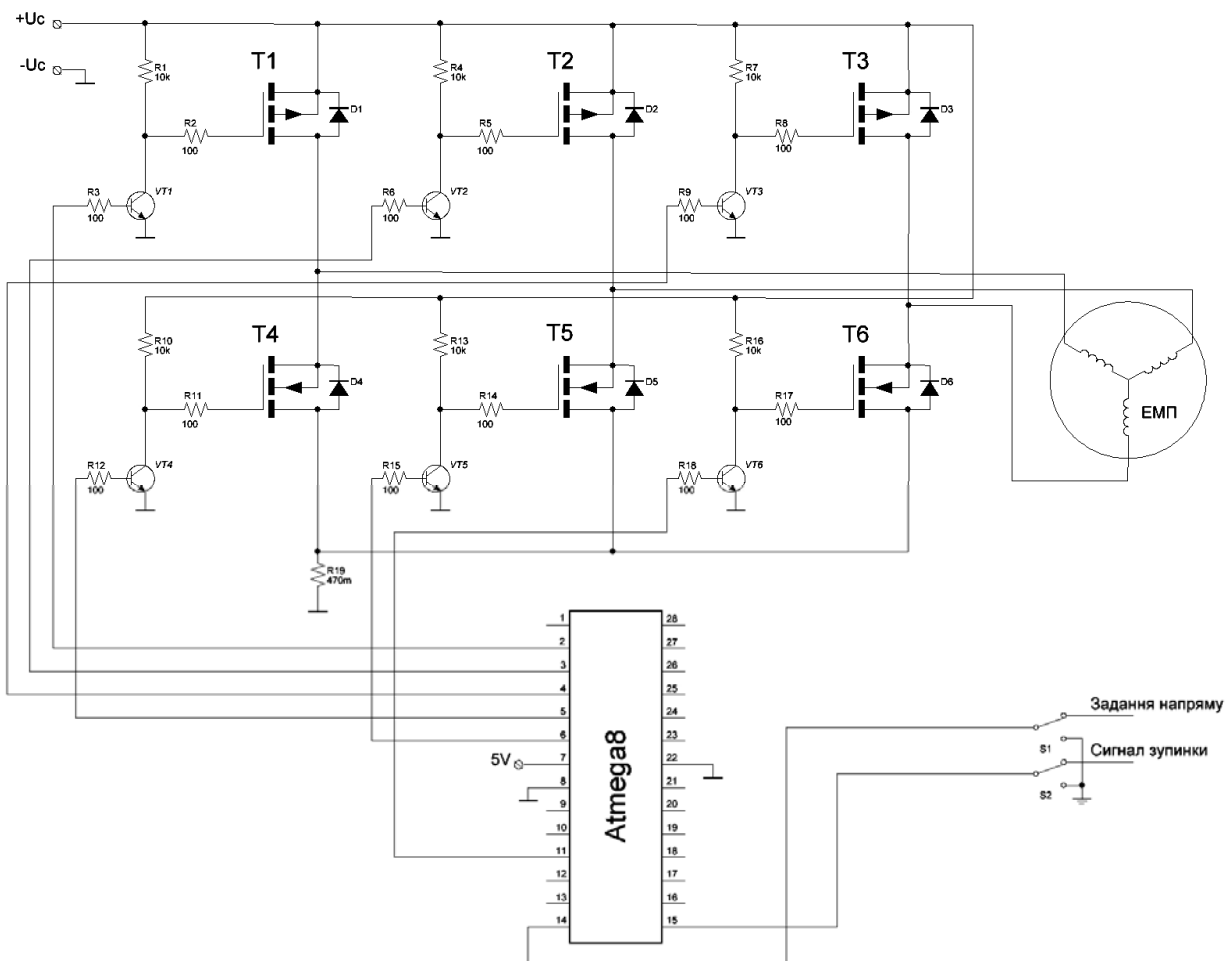


Рис. 3. Функціональна схема модернізованої мехатронної системи

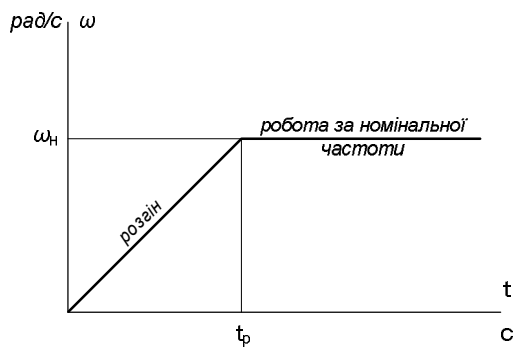


Рис. 4. Частотний пуск двигуна

У модернізованій системі керування, як і у вихідній, використовують два сигнали ("напря́м" та "зупинка"), що надходять з зовнішнього процесора, який має увідний модуль у вигляді клавіатури для задання необхідних режимів запікання металокерамічних мас.

Схема керування дає змогу програмно здійснити частотний пуск двигуна та забезпечити його розгін при максимальному навантаженні на робочому столику печі. За час розгону  $t_p$  двигун розганяється до номінальної частоти обертання  $\omega_n$  (рис. 4), що забезпечує вихід столика до заданого положення.

У кроковому режимі завжди живляться одночасно дві фази. Цей час називають тактом. Для того, щоб не втратити кроків при пуску ЕМП, що зв'язано з поняттям "частота сприймання", при частотному пуску мікроконтролер формує сигнали керування роботою комутатора так, щоб час наступного такту був меншим за попередній ( $t_{N-1} > t_N$ ). При досягненні двигуном номінальної частоти обертання тривалість тактів починає дорівнювати ( $t_{N-1} = t_N$ ). Часова діаграма сигналів керування роботою комутатора зображена на рис. 5.

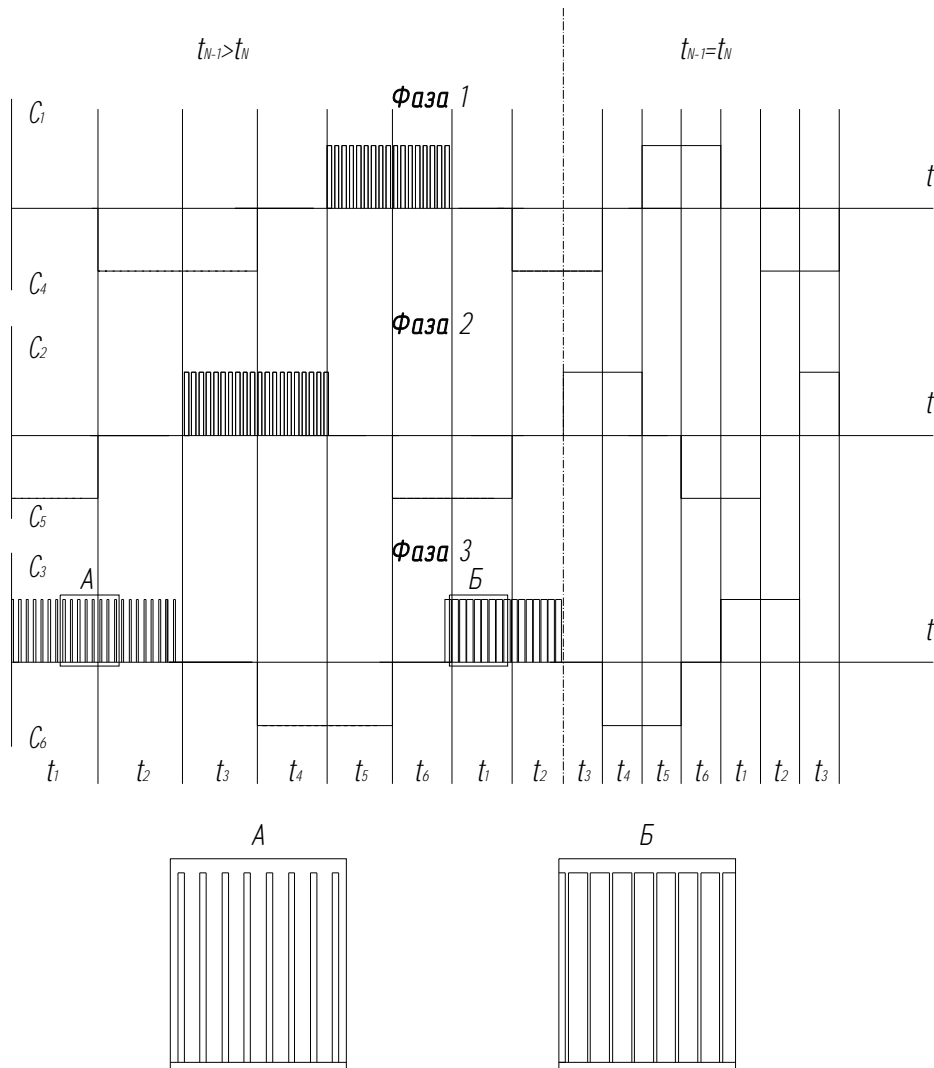


Рис. 5. Часова діаграма сигналів керування роботою комутатора:  
 $C_1, C_2 \dots C_6$  – сигнали керування транзисторами  $T1, T2 \dots T6$  відповідно

Часовій діаграмі відповідає програма комутації, наведена в табл. 1.

Таблиця 1

### Програма комутації

№ фази \ № такту	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>
Фаза 1	0	-	-	0	+	+
Фаза 2	-	0	+	+	0	-
Фаза 3	+	+	0	-	-	0

Примітка. "+" – на фазу подається напруга  $+U_c$ ; "-" – на фазу подається напруга  $-U_c$ ; "0" – фаза не живиться.

Згідно з програмою комутації складено таблицю станів ключів комутатора (табл. 2).

Таблиця 2

### Стани ключів комутатора

№ ключа \ № такту	1	2	3	4	5	6
T1	0	0	0	0	1	1
T2	0	0	1	1	0	0
T3	1	1	0	0	0	0
T4	0	1	1	0	0	0
T5	1	0	0	0	0	1
T6	0	0	0	1	1	0

Примітка. "1" – відповідає увімкненому стану ключа; "0" – відповідає вимкненому стану ключа.

Фази двигуна з'єднані за схемою "зірка" без виведення середньої точки. Під час роботи одна з фаз не заживлюється, а дві інші під'єднуються до напруги різної полярності. Для обмеження пускових струмів, сигнали, які керують роботою транзисторів у верхньому плечі комутатора (T1, T2, T3), модулюються (рис. 5). Для створення максимального моменту при виході двигуна на номінальну частоту обертання  $\omega_n$  шпаруватість широтно-імпульсної модуляції дорівнює 1.

Перемикання фаз з одного такту на інший завжди призводить до появи комутаційних перенапруг. Для їх зменшення вмикання наступної фази проводиться з випередженням. Тобто при під'єднаних фазах  $\Phi_1$  та  $\Phi_3$  вмикається фаза  $\Phi_2$ , а тільки після цього фаза  $\Phi_3$  відмикається (рис. 6).

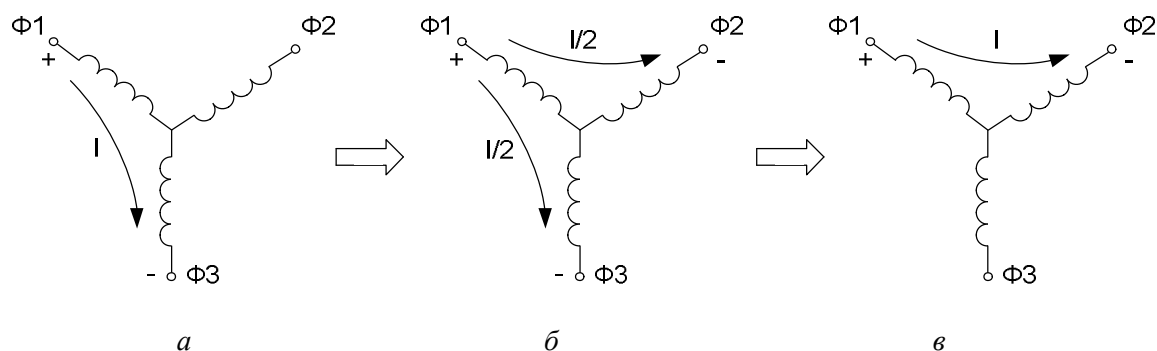


Рис. 6. Перемикання фаз:

a – робота на такті N; б – вмикання з випередженням фази  $\Phi_2$ ; в – робота на такті N+1

Особливість модернізованої схеми керування полягає у тому, що для відкриття польових транзисторів у верхньому плечі комутатора (Т1, Т2, Т3) необхідно на порті мікроконтролера, який відповідає одному з даних ключів, встановити логічну "1" (напругу 5В), а для транзисторів з нижнього плеча (Т4, Т5, Т6) – логічний "0" (напругою 0В).

Активний ротор електромеханічного перетворювача забезпечує синхронізувальний момент для утримання робочого столика печі у нерухомому положенні за відсутності струму в обмотках. Це важливо для підтримання печі у працездатному стані за короткочасної відсутності напруги.

### **Висновки**

Зазначимо, що, працюючи у кроковому режимі, схема керування не вимагає зворотного зв'язку за положенням ротора, а відмова від використання мікросхеми ML4425 та застосування програмованого мікроконтролера Atmega8 дає змогу здешевити та підвищити надійність автоматизованої вакуумної печі для випалювання металокераміки. Запропоноване розв'язання задачі є простим технологічно та зручним для налагодження.

Провівши одноразові витрати для розробки програми мікроконтролера, простежується тенденція до майбутнього здешевлення виробу. Керування електроприводом характеризується простотою, функціональною та апаратною надійністю і не вимагає змін у силовому блоці електропривода.

1. Осідач Ю.В., Ткачук В.І., Макачук О.В. Особливості роботи й основні характеристики вентильного двигуна з зосередженими обмотками якоря // Вісн. Держ. ун-ту „Львівська політехніка”. – 1998. – № 347. – С. 124–130.
2. Макачук О.В. Особливості роботи вентильного двигуна з постійними магнітами без давача положення ротора // Технічна електродинаміка. – 2006. – № 3. – С. 30–35.
3. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega // Руководство пользователя. – М., 2007. – 587 с.