

Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КУХОННОГО КОМБАЙНА НА ОСНОВІ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА

Стаття присвячена вдосконаленню системи керування електроприводом кухонних комбайнів. Методологічною і теоретичною основою дослідження слугують основні положення теорії електроприводу, прикладної механіки та основ електроніки. Теоретично обґрунтовано можливість ефективного використання вдосконаленої системи керування електродвигуном кухонного комбайну зі зворотним за швидкістю і струмом якорем. Розроблено електричну схему і визначено її необхідні електричні і конструктивні параметри, які можуть бути використані для вдосконалення конструкцій побутових комбайнів.

Ключові слова: побутова техніка, універсальний колекторний двигун, кухонний комбайн, електропривод.

D.V. STATSENKO, B.M. ZLOTENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

IMPROVEMENT OF THE FOOD PROCESSOR ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM BASED ON THE UNIVERSAL COLLECTOR ENGINE

This article is dedicated to improve the control system of food processor electric drive. Food processors are one of the most commonly used household appliances. Most of them have a traditional design. One of the directions of food processor development is the improvement of the electromechanical systems of the electric drive. Different types of food processing in kitchen utensils require their rational modes of operation at a constant, set speed. In order to regulate the speed and improve the operation of the electric drive in this work, next improvements were proposed: equipping the control system with feedback on the speed and current in the circle of the electric motor. The main principles of the theory of electric drive, applied mechanics and the foundations of electronics serves methodological and theoretical basis of the study. The theoretically proved the possibility of efficient use of an improved electric motor control system of a food processor with an inverse of the speed and current of the anchor. The electric circuit is developed and its necessary electrical and design parameters are defined, which can be used to improve the design of household combines.

Keywords: household appliances, universal collector engine, food processor, electric drive.

Вступ

Одними з пристроїв побутової техніки, які широко використовується у повсякденному житті, є кухонні комбайни. Більшість з них мають традиційну конструкцію. Основою є привод, що містить досить потужний електродвигун з передаточним механізмом, вісь якого виведена назовні. Вісь проходить через знімну чашу, на якій жорстко закріплюються різні ножі і змінні насадки. Додатково, конструкцією передбачені бічні вали для підключення різних допоміжних пристосувань. Двигуни, що приводять в рух насадки, у різних моделях мають не однакові швидкості обертання і потужність. Чим вище швидкість обертання, тим більше можливостей у апарату, також бажано враховувати плавне або ступінчасте регулювання швидкості. Продуктивність комбайна залежить від потужності двигуна і розмірів чаші, в яку закладаються продукти.

Одним з напрямків розвитку кухонних комбайнів є вдосконалення електромеханічних систем електроприводу. Різні види обробки харчових продуктів в кухонних комбайнах вимагають своїх раціональних режимів роботи приводу при постійній, заданій швидкості. Для регулювання швидкості і покращення роботи електроприводу в даній роботі запропоновано удосконалення шляхом оснащення системою керування зі зворотним зв'язком по швидкості і струму в колі електродвигуна.

Аналіз досліджень та публікацій

В приводах сучасних кухонних комбайнів використовуються електродвигуни наступних типів: 1) універсальні колекторні двигуни; 2) асинхронні електродвигуни; 3) вентильні електродвигуни. Практично в усіх сучасних моделях кухонних комбайнів використовуються універсальні колекторні двигуни (УКД) різної конструкції і потужності. Їх перевага обумовлена, в першу чергу, простотою схеми управління, оскільки тут немає необхідності використовувати дорогі частотні перетворювачі [1, 2].

Для регулювання швидкості обертання універсальних колекторних двигунів застосовують два типи схем: 1) схеми з широтно-імпульсним регулюванням частоти обертання; 2) схеми з фазовим регулюванням частоти обертання.

Більш високу ефективність мають схеми з фазовим управлінням частотою обертання, в яких як регулюючі елементи використовуються тиристори. На основі результату аналізу деяких схем визначено, що можна досягти значного їх спрощення без жодного погіршення технічних характеристик пристрою. Стабільність частоти обертання двигуна в схемі не поступається імпортним ШІМ регуляторам, а за надійністю значно перевершує їх [3].

В основу роботи схеми покладений принцип фазового регулювання частоти обертання колекторного двигуна з використанням зворотних зв'язків за струмом і напругою. Таким чином, вказана

схема дозволяє забезпечити стабільні обороти двигуна при значних коливаннях навантаження на валу, а також живлячої напруги. Виходячи з вище наведеного, можна реалізувати режим, коли при збільшенні навантаження обороти двигуна збільшуються.

Електрична принципова схема приводу кухонного комбайну представлена на рис. 1. Недоліком схеми керування кухонного комбайну є відсутність можливості контролювати швидкість обертання робочих органів при його роботі і адаптувати режими роботи під час зміни моменту опору на валу електродвигуна.

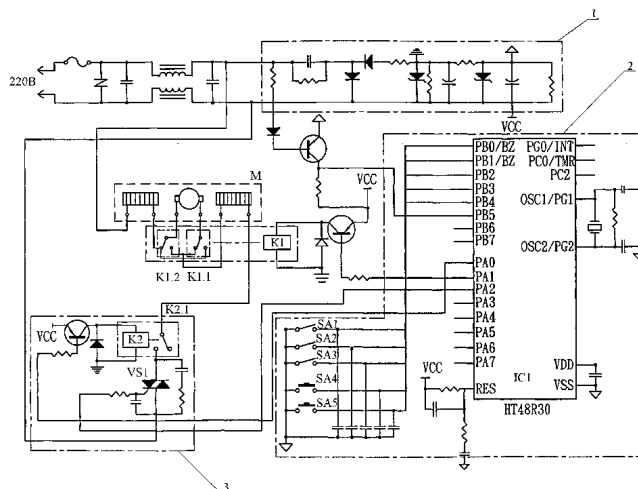


Рис. 1. Електрична принципова схема приводу кухонного комбайну

Формулювання цілей

Метою даної роботи є розробка удосконаленої системи керування електроприводом кухонних комбайнів.

Експериментальна частина

За основу розробки удосконаленої схеми електроприводу кухонного комбайну взято принцип керування швидкістю електродвигуна за допомогою симістора, при якому змінюється форма синусоїдальної напруги живлення електродвигуна. При цьому керування симістором здійснюється таким чином, що його відкриття відбувається з запізненням, тобто кут відкривання $\alpha > 0$ (рис. 2).

В приводі кухонного комбайну важливо забезпечити стабільність швидкості електродвигуна під час зміни навантаження на робочому органі машини. Для цього у розробленій схемі здійснено контроль швидкості двигуна за допомогою оптичного датчика сигнал з якого надходить на вузол керування (зворотний зв'язок).

З метою зменшення радіоперешкод, що виникають при роботі симістора в схемі передбачено індуктивно-ємнісний фільтр.

Система керування електроприводом складається з наступних блоків: 1) блок керування; 2) блок живлення; 3) блок підсилення сигналу від датчика швидкості; 4) блок перетворення «частота – напруга»; 5) блок диференціального підсилення; 6) блок порівняння рівнів сигналів (компаратор); 7) блок синхронізації; 8) блок генератора опорної напруги; 9) блок узгодження; 10) виконавчий орган (симістор); 11) вузол захисту; 12) блок розділення силової і електронної частин схеми (оптрон).

На рис. 3 наведена розроблена електрична принципова схема системи керування електроприводом побутового кухонного комбайну. Блок живлення складається з трансформатора $T1$, діодного містка $VD1$, конденсаторів $C4$, $C5$, $C7$, $C8$, що зменшують пульсацію напруги, стабілізатора опорної напруги (резистори $R8$, $R9$ і стабілітрони $VD4$, $VD5$) і транзисторів $VT1$, $VT2$.

Блок зворотного зв'язку складається з підсилювача і перетворювача «частота – напруга». Для підсилення сигналу служить операційний підсилювач $DI.1$. Перетворювач «частота – напруга» виконаний на операційному підсилювачі $DI.2$, резисторах $R5$, $R6$, $R7$, $R10$, $R11$, конденсаторах $C3$, $C6$, $C9$, стабілітронах $VD6$, $VD7$. Диференціальний підсилювач складається з резисторів $R16$, $R21$, $R14$, $R22$, операційного підсилювача $D2.1$ і конденсатора $C11$. Для порівняння рівнів сигналів служить компаратор $D2.2$.

Для синхронізації сигналів служить транзистор $VT3$ і резистори $R26$, $R23$. Блок генератора опорної напруги виконано за схемою стабілізатора струму на транзисторах $VT4$, $VT5$, стабілітрони $VD10$, конденсаторі $C15$ і резисторах $R31$, $R28$, $R30$. Блок узгодження виконано на транзисторі $VT6$, резисторах $R32$ - $R35$, оптронах $VD16$, $VD17$ і діодах $VD12$ - $VD15$. Для керування напругою служить симетричний тиристор (симістор) $VS1$, паралельно виходу з якого послідовно увімкнено ланцюг $R38$ - $C18$ для фільтрації

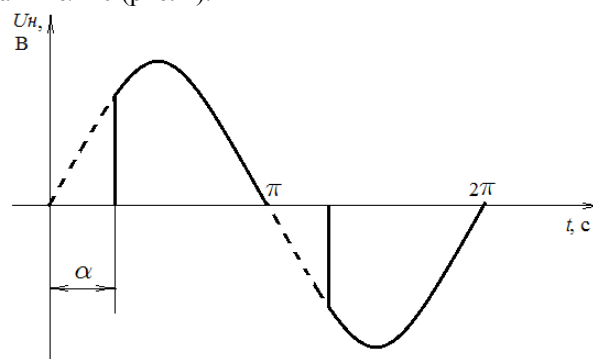


Рис. 2. Принцип фазового керування симістором

високочастотної напруги. Блок захисту виконано на операційних підсилювачах $D2.1$, $D2.2$, резисторах $R18$, $R25, R12, R15, R24$, діодах $VD8$, $VD9$, конденсаторах $C10$, $C13$, $C14$.

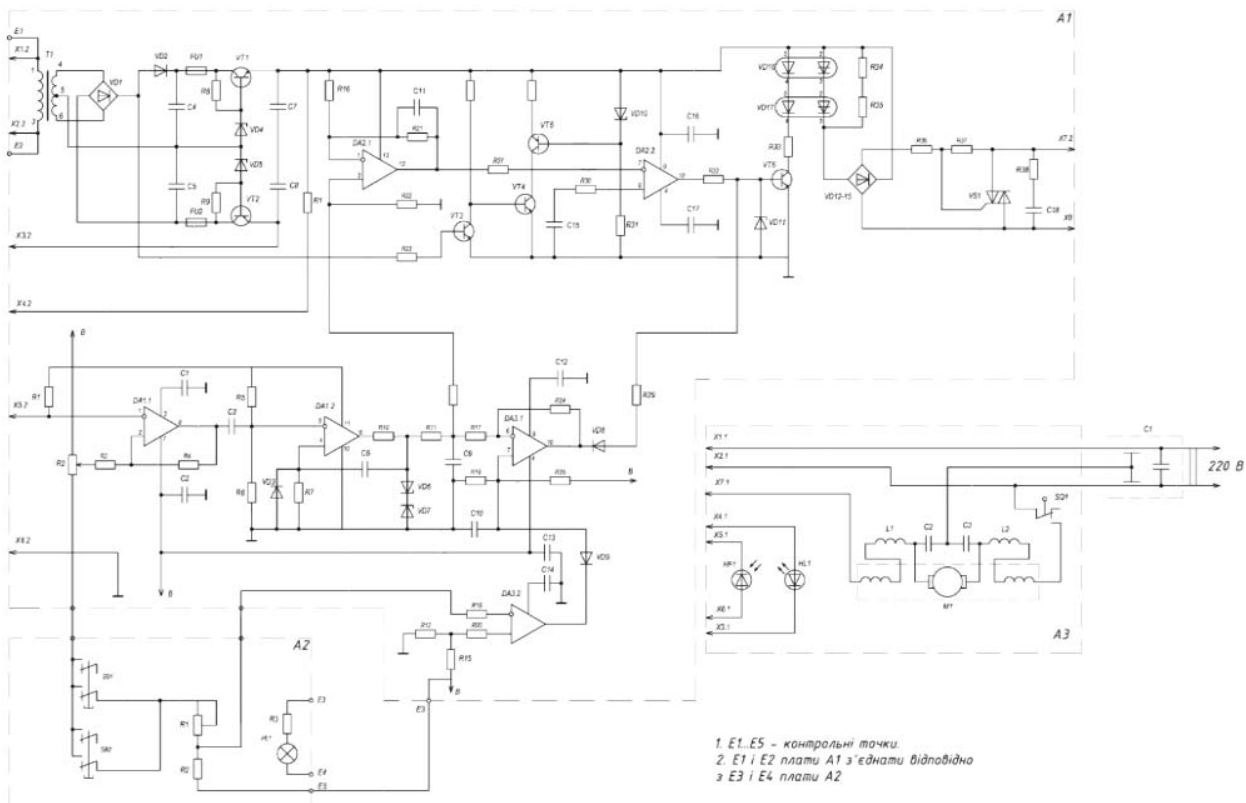


Рис. 3. Електрична схема удосконаленої системи керування електроприводом побутового кухонного комбайну

З метою підтримання постійної швидкості електродвигуна в схемі виконано контроль за частотою обертання валу на основі використання оптичного датчика. Датчик складається з світло діоду $VD16$ і фотодіоду $VD17$ і працює за принципом переривання світлового потоку перфорованим диском, який обертається разом з валом електродвигуна.

З фотодіоду $VD17$ прямокутна імпульсна напруга (меандр) подається на підсилювач $D1.1$. Після підсилення частотний сигнал від датчика швидкості за допомогою перетворювача «частота-напруга» ($D1.2$) перетворюється в постійну напругу U_{OC} , рівень якої залежить від вхідної частоти. Потім U_{OC} , що відповідає частоті обертання валу двигуна, подається на «неінвертований» вхід підсилювача $D2.1$. А на інвертований вхід підсилювача через $VD1$, $VD2$ подається постійна напруга від блоку керування, яка встановлена користувачем за допомогою змінного резистора $R1$.

Момент включення симістора визначається в результаті порівняння «пилкоподібного» сигналу від блоку генератора опорної напруги з сигналом U_{OC} .

Початок і кінець напруги «пилкоподібної» форми синхронізовані з моментами переходу через нуль напруги в мережі живлення. Інтервал зміни U_{OC} співпадає з періодом «пилкоподібної» опорної напруги, що дає змогу змінювати кут включення α симістора $VS1$ в межах усієї півхвилі напруги живлячої мережі (рис. 2).

При переході синусоїди напруги мережі 220В через нуль, блок синхронізації ($R23$, $VT3$) видає імпульс, який запускає генератор опорного «пилкоподібного» сигналу.

Напруга «пилкоподібної форми» що подається на вхід компаратора $D2.2$ формується за допомогою ключового транзистора $VT4$ і стабілізатора струму (на основі транзистора $VT5$).

Компаратор $D2.2$ формує сигнал у вигляді меандри, який через транзистор $VT6$ поступає на оптрони гальванічної розв'язки $VT16$, $VT17$.

При відхиленні частоти обертання валу електродвигуна від заданого значення «вверх» або «вниз», напруга зворотного зв'язку $U_{зз}$ збільшується або зменшується. Це призводить до відповідного змінення рівня напруги на виході підсилювача, а також до зміни кута відкриття симістора α (рис. 2), тобто до стабілізації заданої користувачем частоти обертання валу двигуна.

Для захисту двигуна при обриві зворотного зв'язку і заклинювання валу двигуна служить вузол захисту, реалізований на операційному підсилювачі $D3.1$.

Вузол захисту електродвигуна (на $D3.1$) потрібен на випадок перевантаження робочого органу комбайна до повного зупинення, і при виході з ладу системи зворотного зв'язку (в останньому випадку можливий необмежений розгін якоря електродвигуна з послідовним збудженням). В будь-якому з двох аварійних випадків блок захисту закриває симістор і двигун знеструмується.

Також в роботі проведено розрахунок найбільш раціональних параметрів кухонного комбайну з

удосконаленою системою керування, при яких його електропривод буде працювати з максимальним коефіцієнтом корисної дії. Для визначення таких параметрів потрібно знати характеристику електродвигуна і визначити при яких умовах він буде працювати з максимальним ККД. В приводі досліджуваного кухонного комбайну встановлено електродвигун ДК90-250-12 потужністю 250 Вт і частотою обертання 12000 об/хв [4]. Спираючись на дані, отримані з аналізу характеристик електродвигуна визначено, що з максимальним ККД він працює при значенні моменту 0,1...0,2 Н.м. Частота обертання при цьому становить 10000...12000 об/хв, а споживана потужність – 130...170 Вт.

Визначимо верхню границю передаточного відношення зубчастої пасової передачі приводу кухонного комбайну з умови максимального моменту при максимальній швидкості електродвигуна:

$$U_{\max} = \frac{M_{\text{оп}}}{M_{\text{ном}}} = 4,46$$

Частота обертання диску при нарізанні продуктів повинна становити 1000...1500 об/хв [4].

Визначимо нижню границю передаточного відношення зубчастої пасової передачі приводу кухонного комбайну з умови мінімальної частоти обертання двигуна. Найменша можлива стійка частота обертання електродвигуна ДК90-250-12 $n_{\text{де min}}=2825$ об/хв. Тоді мінімальне передаточне відношення:

$$U_{\min} = \frac{n_{\text{де min}}}{n_{\text{піз}}} = 2,83$$

Приймаємо середнє значення передаточного відношення, яке наближено прийемо 3,5.

При $u = 3,5$ максимальна швидкість обертання диску буде: $\omega = \frac{p * n_{\text{он}}}{30 * u} = 359$ рад/с (3429 об/хв).

Цієї швидкості буде достатньо для роботи комбайну в режимі блендера.

Теоретична максимально можлива продуктивність кухонного комбайну при різанні буде становити:

$$Q_{\max} = 0,8 * \frac{3,14}{4} * 0,04 * 0,06 * 0,0025 * 1000 * 1,3 * 10^3 = 0,51 \text{ кг/с.}$$
 При кількості ножів 2, 3, 4 теоретична

продуктивність становитиме: $Q(2) = 0,51 \frac{2}{4,71} = 0,22$ кг/с; $Q(3) = 0,51 \frac{3}{4,71} = 0,33$ кг/с; $Q(4) = 0,51 \frac{4}{4,71} = 0,44$

кг/с;

Реальна продуктивність може буде меншою через нерівномірність попадання продуктів на ножі.

Потужність при кількості ножів 2, 3, 4 становитиме:

$$N(2) = 0,446 * 359 = 160 \text{ Вт; } N(3) = 1,07 \frac{3}{4,71} \omega = 240 \text{ Вт; } N(4) = 0,892 * 359 = 320 \text{ Вт}$$

Висновки

В даній статті виконано теоретичну розробку для модернізації системи керування електроприводом кухонних комбайнів та теоретично обґрунтовано можливість ефективного використання системи керування електродвигуном кухонного комбайну зі зворотним за швидкістю і струмом якоря, розроблено електричну схему і визначено її необхідні електричні і конструктивні параметри.

Література

1. Усольцев А. А. Общая электротехника : [учебное пособие] / А. А. Усольцев. – СПб : СПбГУИТМО, 2009. – 301 с.
2. Гребенников В. И. Электропривод: учеб. пособие к курсовому проектированию / В.И. Гребенников / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2009. – 75 с.
3. Схемотехніка електронних систем : у 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої : підручник / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – 2-е вид., допов. і переробл. – К. : Вища шк. 2004. – 366 с.
4. <http://www.avtomash.ru/pred/miela/dk90i.htm>

References

1. Usoltsev A. A. Obschaya elektrotehnika : [uchebnoe posobie] / A. A. Usoltsev. – SPb : SPbGUITMO, 2009. – 301 s.
2. Grebennikov V. I. Elektroprivod: ucheb. posobie k kursovomu proektirovaniyu / V.I. Grebennikov / YUj.-Ros. gos. tehn. un-t. – Novocheerkassk : YURGTU, 2009. – 75 s.
3. Skhemitexnika elektronnykh system : u 3 kn. Kn. 1. Analohova skhemitexnika ta impulsni prystroi : pidruchnyk / V.I. Boiko, A.M. Hurzhii, V.Ia. Zhukov ta in. – 2-e vyd., dopov. i pererobl. – K. : Vyshcha shk. 2004. – 366 s.
4. <http://www.avtomash.ru/pred/miela/dk90i.htm>

Рецензія/Peer review : 21.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Бурмістенков О.П.