

**ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНИХ ПРИВОДІВ**

*В роботі запропонований блок комутації частотно-імпульсного привода, який дозволяє зменшити споживання електроенергії за рахунок введення в нього системи рекуперації електромагнітної енергії, що з'являється під час дії зворотного імпульсу.*

*Ключові слова: кроковий двигун, імпульс, обмотка, рекуперація, електромагнітна енергія, джерело живлення*

O.M. SYNYUK, M.Y. SKYBA  
Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

**REDUCTION OF ELECTRICITY LOSSES FOR PULSE-FREQUENCY DRIVES**

*In the work proposed block commutation frequency drive. It allows the consumption of electricity has decreased in numbers due to the use of electromagnetic energy recovery system. Electromagnetic energy occurs during the reverse pulse. This block commutation can be used in all modern devices that use return stepper motors (sewing, knitting, embroidery and washing machines in electromagnetic presses, paint application in devices, grips, etc.)*

*Keywords: stepper motor pulse coil, recovery, electromagnetic energy, the power supply*

**Мета.** Розробка енергозберігаючої системи споживання електроенергії частотно-імпульсними приводами, які можуть бути використані в транспорті, в сервісному обслуговуванні, в сучасних обладнаннях промислового виробництва та легкої промисловості (в швейних, в'язальних, вишивальних та пральних машинах, в електромагнітних пресах, в пристроях для клеймування і нанесення фарби, в маніпуляторах тощо).

**Проблема.** Сьогодні частка електроенергії в собівартості продукції як енергоємних промислових підприємств, так і підприємств легкої промисловості досягає близько 20...30 %. Тому як в світі, так і в Україні все гостріше стоїть проблема створення енергозберігаючих систем споживання електричної енергії.

В останній час широке розповсюдження отримали частотно-імпульсні технології, що лежать в основі крокових двигунів та серводвигунів. Використання даних технологій дозволяє підвищити ефективність за рахунок резервування енергії для підтримки споживання на короткий період часу. Однак при використанні частотно-імпульсних приводів спостерігається низька ефективність, двигун споживає багато електроенергії незалежно від навантаження, і низька потужність порівняно з розміром і вагою.

Сьогодні відомий спосіб керування кроковим електродвигуном, який передбачає збудження магнітного поля, що переміщується уздовж поверхні статора при послідовному перемиканні обмоток електромагнітів статора, і що діє на гнучкий магніточутливий елемент ротора, забезпечуючи передачу зусилля за допомогою силового механічного елемента на вихідний вал [1]. В цьому способі забезпечують живлення імпульсами струму прямокутної форми від керованого комутатора обмоток електромагнітів статора, які встановлені на протилежних його сторонах, при якому виникає притягнення двох протилежних ділянок гнучкого магніточутливого елемента ротора без проковзування до поверхні статора, після чого вмикаються обмотки електромагнітів, що суміжні відносно напрямку обертання до раніше увімкнених, і відключаються обмотки електромагнітів, суміжні відносно напрямку, протилежного обертання, при якому відбувається поворот вала за рахунок переміщення у тангенціальному напрямку ділянок магніточутливого елемента шляхом їх взаємодії з механічним силовим елементом ротора [2]. Недоліком даного приводу є не повне використання електроенергії, що виникає в наслідок перехідних процесів.

**Основний зміст.**

Під час використання сучасних частотно-імпульсних приводів, наприклад в швейних машинах, має місце таке явище як перенапруження, що виникає внаслідок зняття з ключа (К) керуючої напруги (рис. 1).

Існуючі способи обмеження перенапружень (рис. 1) відрізняються тільки елементами, що сприймають енергію, яка накопичується навантаженням [2]. Якщо навантаження шунтоване зустрічним діодом  $D_1$  (рис. 1 а), то коефіцієнт використання буде дорівнювати:

$$k_e = \frac{U_1}{U_{к.макс}} = \frac{U_1}{U_1 + U_2} = 1, \quad (1)$$

де  $U_1$  – напруга джерела живлення;  $U_2$  – напруга додаткового джерела живлення, що виникає внаслідок зняття з ключа керуючої напруги.

В цьому випадку вся енергія, що накопичена магнітним полем розсіюється в активному опорі, тобто котушці. Недоліком даного способу є те, що шунтування навантаження зустрічним діодом дозволяє тільки усунути перенапруження на елементах приводу, при цьому процес спадання току затягується. При введенні послідовно із шунтуючим діодом  $D_2$  резистора  $R_p$  коефіцієнт використання  $k_e$  буде визначатися таким виразом:

$$k_e = \frac{U_1}{U_{к.макс}} = \frac{R}{R + R_p} < 1 \quad (2)$$

де  $R$  – сумарний опір котушки ;  $R_p$  – опір на додатковому резисторі, що підключений послідовно із шунтуючим діодом  $D_2$  (рис. 1а).

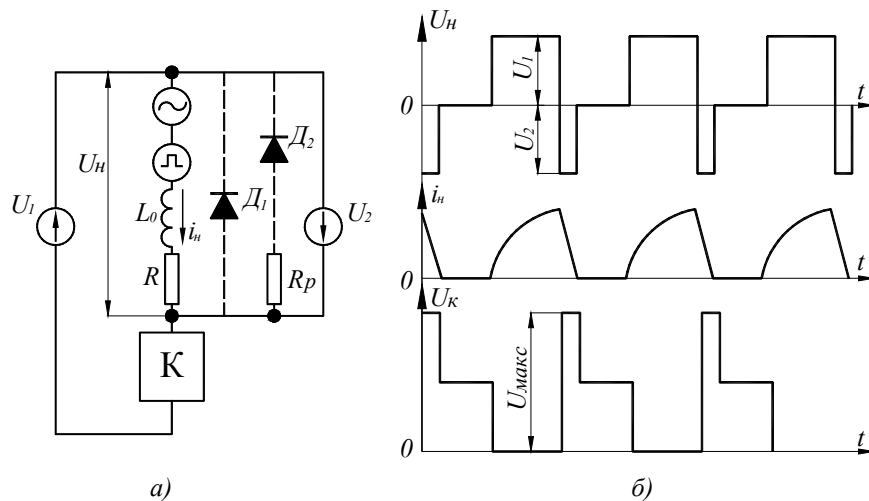


Рис.1. Схема способів обмеження перенапружень (а) і часові діаграми токів і напруг (б):  $i_H$  – ток навантаження;  $U_H$  – напруга на навантаженні;  $U_K$  – напруга на ключовому елементі

Енергія, що накопичена магнітним полем, розділяється пропорційно опорам  $R$  (котушки) і  $R_p$  (резистора). Цей спосіб трохи пришвидшує спадання току і дозволяє використовувати енергію, що з'являється внаслідок зняття з ключа керуючої напруги, для живлення, наприклад систем охолодження, нагрівання, освітлення і т.д.

Але найдосконалішим, на нашу думку, є спосіб повторного використання енергії, що з'являється внаслідок зняття з ключа керуючої напруги (або іншими словами від'ємної ЕДС), як додаткового джерела живлення. Цей спосіб доцільно використовувати в тих пристроях та обладнаннях, які використовують частотно-імпульсні приводи. Зменшення споживання електричної енергії здійснюється шляхом акумулювання електроенергії, що виникає в процесі комутації індуктивних навантажень, і використання її для додаткового живлення частотно-імпульсних приводів.

Запропонована енергозберігаюча система споживання електроенергії складається з системи формування частоти, системи керування та частотного приводу, системи відбору електроенергії та системи накопичення електроенергії (рис. 2), в якій вона акумулюється і звідки вона повертається назад у систему, де використовується повторно.

Система формування частоти живиться від джерела електроенергії формує електричний сигнал під контролем системи керування та передає його на частотний привід [3]. Частотний привід отримуючи електричний сигнал перетворює його в магнітне поле, яке, в свою чергу, перетворюється в механічний рух. В кінці кожного імпульсу, що використовується для створення електромагнітного поля, в частотному приводі, виникає зворотній імпульс. Цей імпульс за допомогою системи відбору електроенергії акумулюється в системі накопичення електроенергії звідки накопичена електроенергія повторно використовується як додаткове джерело електроенергії.

#### Опис запропонованої енергозберігаючої системи.

До обмотки крокового двигуна в перші моменти часу прикладається підвищена напруга для форсування наростання струму. Особливістю більшості крокових двигунів в швейних машинах є живлення однополюсними імпульсами струму. Силова схема для даного виконання представлена на рис. 3. Регулювання напруги на фазах крокового двигуна забезпечується формуванням процесів наростання і спаду струму в моменти комутації фаз. Керуючий сигнал надходить на вхід розподільника імпульсів і на одновібратор ОВ. Одновібратор формує імпульс тривалістю  $t_\phi$ , який відмикає на цей час ключ К7.

Розподільник імпульсів відповідно до алгоритму управління відкриває один з транзисторів К1 ... К6. На фазу крокового двигуна, що підключається до джерела живлення, для форсованого наростання струму фази подається підвищена напруга  $U$ . Струм фази наростає до номінального значення. По закінченні часу форсування  $t_\phi$  транзистор К7 закривається і до обмотки крокового двигуна прикладається напруга  $U_1$ , величина якої забезпечує протікання номінального струму фази. Діод Д0 запобігає коротке замикання джерела  $U$  при включенні К7. Після зняття з ключа (К1 ... К6) керуючого напруги відповідна фаза відключається від джерела живлення. Запас електромагнітної енергії рекуперується через діоди Д1...Д6, трансформатор Т та акумулюється на конденсаторі С, який відіграє роль додаткового джерела електроенергії.

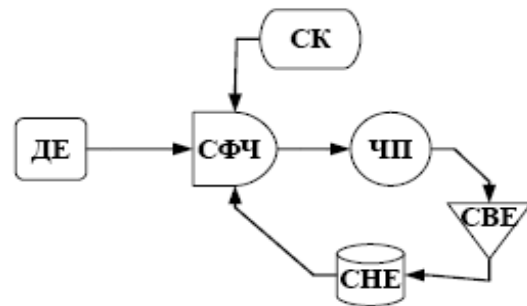


Рис. 2. Схема способу рекуперації електроенергії: СК – система керування; ДЕ – джерело електроенергії; СФЧ – система формування частоти; ЧП – частотний привід; СНЕ – система накопичення електроенергії; СВЕ – система відбору електроенергії

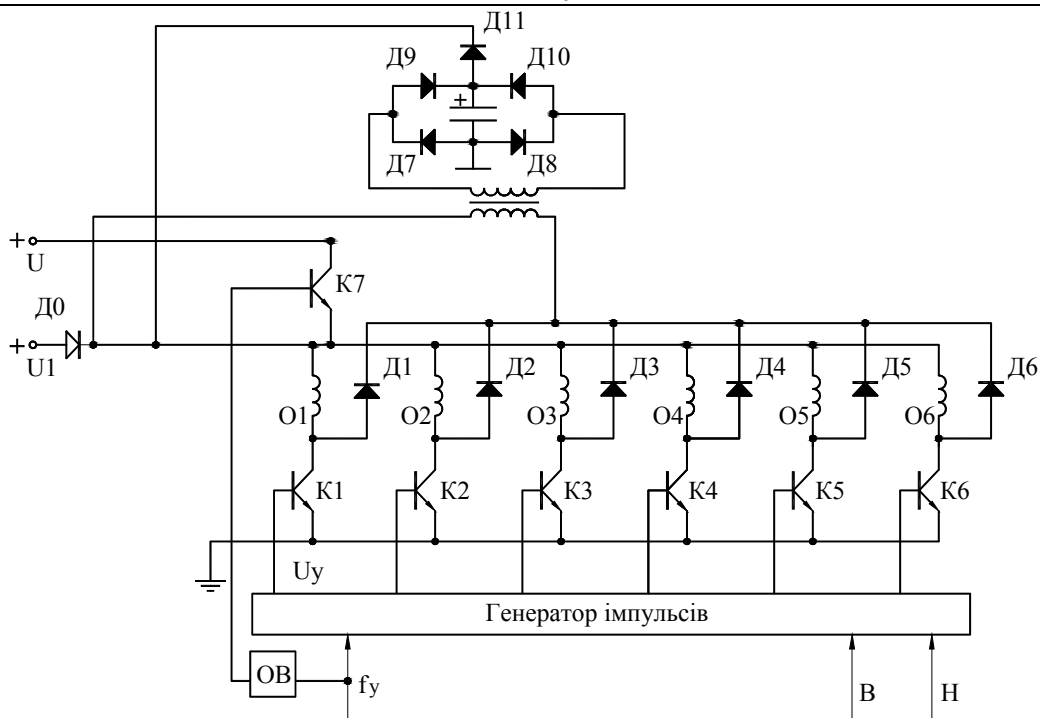


Рис. 3. Силова схема для управління кроковим двигуном

Електромагнітна енергія (енергія перенапруження), що виникає внаслідок зняття з ключа керуючої напруги може бути визначена за таким рівнянням:

$$W_D = \frac{L \cdot I_{расч}^2 \cdot U_{к.макс}}{2(U_1 + U_{к.макс}) \cdot n} \cdot f_y \cdot \tau, \quad (3)$$

де  $L$  – індуктивність котушки;  $f_y$  – частота вхідного сигналу (визначає частоту обертання двигуна);  $n=6$  – кількість тактів комутації;  $\tau$  – час зняття керуючої напруги;  $I_{расч}$  – максимальний струм через ключовий елемент, коли вектори е.д.с. і напруги співпадають по фазі.

Максимальний струм через ключовий елемент можна визначити з такого рівняння:

$$I_{расч} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{\frac{C_k}{L_k}}}{k_g}, \quad (4)$$

Тут коефіцієнт використання вибирається з діапазону 1,5...2,0.

#### Експериментальне дослідження процесу

У результаті проведення експериментальних досліджень (рис. 4) було встановлено, що під час дії зворотного імпульсу виділяється електроенергія (лінії спрямовані до низу), що не використовується з користю. На основі чого, нами вдосконалено блок комутації частотно-імпульсного привода, що дозволило відібрати та накопичити додаткову електроенергію, а потім повторно використати її в живленні привода, що зменшило витрати загальної електроенергії.

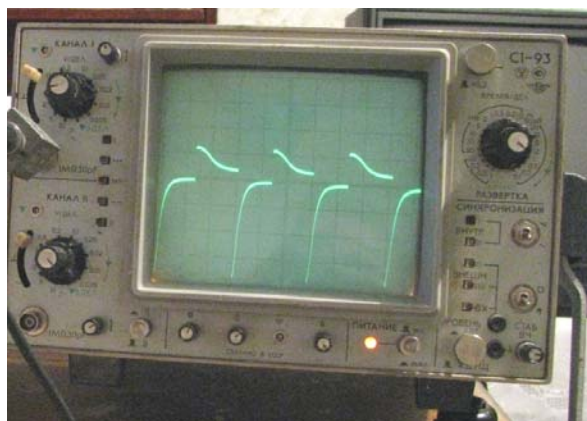


Рис. 4. Осцилограма імпульсів, що виникають в процесі комутації котушок

У процесі експериментальних досліджень вимірювалася енергія, що створювалася зворотними імпульсами. Параметри, що варіювалися: частота імпульсів; амплітуда імпульсів; тривалість імпульсів.

Результати досліджень були оброблені за допомогою програмного комплексу для пошуку оптимальних параметрів нелінійних моделей [4].

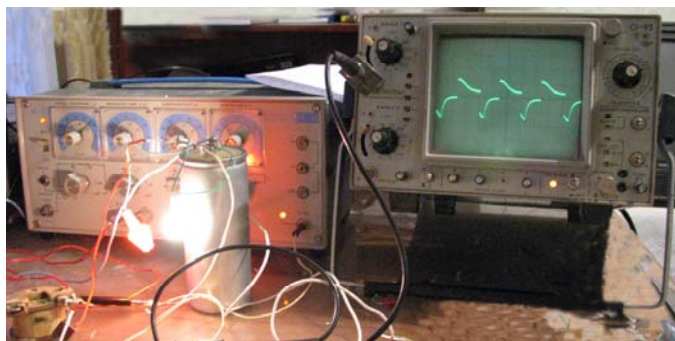


Рис. 5. Осцилограма імпульсів, що виникають в процесі комутації котушок, при використанні резистора (лампи)

Як видно з рис. 5 енергія, що накопичена магнітним полем, частково витрачається на котушку і частково на резистор (в даному випадку на лампочку).

У результаті розрахунку і аналізу характеристик частотно-імпульсних приводів були визначені оптимальні параметри частотно-імпульсного приводу, при яких забезпечується максимальна економія загальної електричної енергії, а, відповідно, і збільшення ККД системи на 18 %.

**Висновки.** Запропоновано методи збільшення економії електричної енергії в процесі роботи транспорту, технологічного обладнання важкого машинобудування, легкої промисловості та сервісного обслуговування, що використовують частотно-імпульсні приводи. У результаті комутації індуктивних навантажень, що досить часто вмикаються і вимикаються в процесі роботи обладнання, утворюється додаткова енергія, яку можна накопичувати і додатково використовувати в процесі роботи технологічного обладнання, що дозволить значно зменшити витрати загальної електричної енергії.

#### Література

1. Патент України № 74979, кл. H02K 41, Спосіб керування хвильовим електродвигуном. Опубл. 15.02.2006 р., Бюл. № 2.
2. Чиликин М.Г. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / М.Г. Чиликин. М.: Энергия, – 1991. – 624 с.
3. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Т. Кенио. М.: Энергоатомиздат, – 1987. – 200 с.
4. Скиба М.Є., Михайловський Ю.Б., Філіпченко Є.О. Розробка методики пошуку оптимальних параметрів для нелінійних моделей // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – Т. 1. – № 2. – С. 176–180.

#### References

1. Patent Ukraine № 74979, kl. H02K 41, Sposib keruvannya khviljovim elektrodvignom. Opubl. 15.02.2006 r., Byul. № 2.
2. Chilikin M.G. Diskretniy ehlektroprivod s shagovihmi dvgatelayami / M.G. Chilikin. M.: Ehnergiya, – 1991. – 624 s.
3. Kenio T. Shagovihe dvgateli i ikh mikroprocessornihe sistemih upravleniya / T. Kenio. M.: Ehnergoatomizdat, – 1987. – 200 s.
4. Skiba M.E., Mikhayjlovskiy Yu.B., Filipchenko E.O. Rozrobka metodiki poshuku optimaljnikh parametriv dlya nelinejnykh modeley // Visnik Khmel'nicjckogo nacional'jnogo universitetu. – 2006. – T. 1. – № 2. – S. 176–180.

Рецензія/Peer review : 19.11.2013 р. Надрукована/Printed :21.11.2013 р.

Рецензент: Параска Г.Б., д.т.н., проф., проректор з наукової роботи  
Хмельницького національного університету