

МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД ЯК ОСНОВА РОБОТИ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА

В.В. Концур, Д.С. Комарчук

Запропоновано метод магнітно-імпульсної передачі енергії за допомогою індуктора до плоскої пластини, що дозволяє виділяти значну миттєву потужність з подальшим перетворенням її в механічну енергію.

Ключові слова: магнітно-імпульсний метод, поршневий двигун, накопичувач енергії, електричне поле, електромагнітна сила, енергоефективність

МАГНІТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД КАК ОСНОВА РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.В. Концур, Д.С. Комарчук

Предложен метод магнитно-импульсной передачи энергии при помощи индуктора к плоской пластине, что позволяет выделять значительную мгновенную мощность с дальнейшим преобразованием ее в механическую энергию.

Ключевые слова: магнитно-импульсный метод, поршневой двигатель, накопитель энергии, электрическое поле, электромагнитная сила, энергоэффективность

681.513.2

ПРИВОД КРОКОВОГО ДВИГУНА 2L110M

І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, кандидати технічних наук

*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*

*А.В. Торопов, кандидат технічних наук
ТОВ "ЦІТ Альтера"*

e-mail: toropov@sv-altera.com

Описано регульований електропривод на базі крокового двигуна. Досліджено роботу силового драйвера, наведено основні параметри та їх характеристики. Розглянуто особливості створення мікрокрокового режиму роботи двигуна та алгоритми керування силовим драйвером.

Ключові слова: кроковий двигун, контролер, силовий драйвер, імпульси, мікрокрок, піковий струм, діючий струм, стопорний струм

Кроковий двигун – електромеханічний пристрій, який перетворює електричні імпульси в дискретні механічні переміщення. Ці двигуни вже давно та успішно застосовуються в таких пристроях – дисководах, принтерах, плоттерах, сканерах, факсах, а також у різноманітному промисловому і спеціальному обладнанні. Нині випускається багато різних типів крокових двигунів. Однак важливо, не тільки правильно вибрати тип двигуна, а і вірно вибрати схему драйвера та алгоритм роботи, який найчастіше визначається програмою мікроконтролера.

Крокові двигуни використовуються в приводах машин і механізмів у стартозупному режимі або в приводах неперервного руху, де керуюча дія задається послідовністю електричних імпульсів [1]. На противагу сервоприводам крокові приводи дозволяють отримувати точне переміщення без використання зворотного зв'язку від датчиків кутового положення.

До складу електропривода з кроковим електродвигуном входить власне двигун (рис.1), силовий блок керування (драйвер) та зовнішній контролер. При невеликому запланованому ході платформи може використовуватися двигун із подовженим нарізаним валом, по якому рухається платформа з інструментом або деталлю. Це дозволяє здешевити систему крокового двигуна за рахунок виключення кульково-гвинтової пари або іншого пристрою перетворення обертального руху в поступальний.

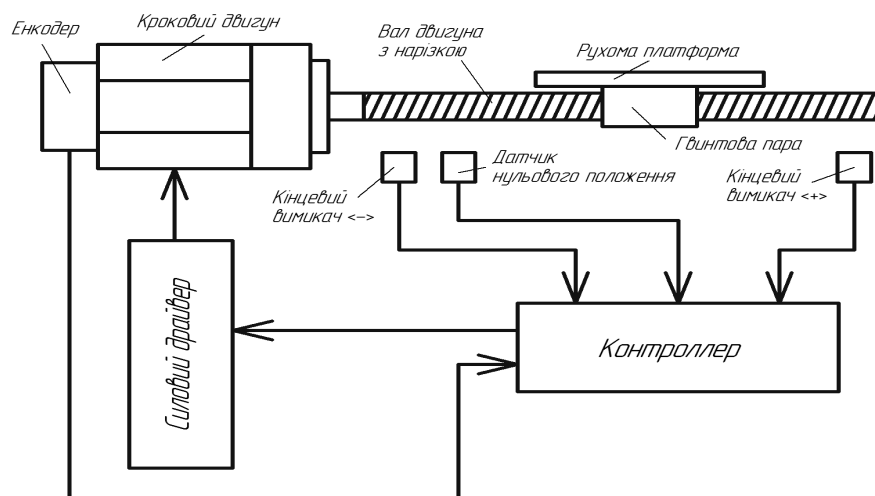


Рис. 1. Електрична схема керування кроковим приводом

Мета досліджень – підвищення ефективності використання системи керування кроковим двигуном.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз роботи напівпровідникового силового блоку проводився з використанням положень теорії електропривода і силової електроніки та паспортних даних пристрою.

Результати досліджень. Для керування приводом потрібен спеціальний драйвер крокового двигуна, зокрема для гібридного двигуна серії 23HS може бути використано драйвер 2L110M [2] (рис. 2).

Драйвер являє собою силовий напівпровідниковий перетворювач з вбудованим найпростішим інтерфейсом, що забезпечує відпрацювання вхідних імпульсів напруги. Силовий драйвер крокового двигуна це ще й підсилювач потужності, який перетворює імпульси від зовнішньої системи керування в переміщення вала. При цьому кожен імпульс викликає переміщення вала на 1 мікрокрок, що дозволяє двигуну працювати плавніше з меншою вібрацією і шумом. Керування струмом двигуна за трьома рівнями, а саме рівнем пікового струму при перемиканні, робочим струмом при перемиканні, а також струмом утримання вала при стопорінні, забезпечує оптимальну роботу двигуна з точки зору перегрівання. Величина заданого струму визначається комбінацією DIP-перемикачів SW1–SW3 (див. рис. 2), а рівень струму під час стопоріння двигуна – перемикачем SW4. Так, при жорстких вимогах до моменту утримання вала струм повинен бути номінальним. В інших випадках допускається зниження результуючого струму до 50 % від номінального. Крім того, силовий драйвер має захист від перенапруги, імпульсів напруги, перевантаження за струмом, перегріву силових транзисторів і короткого замикання.

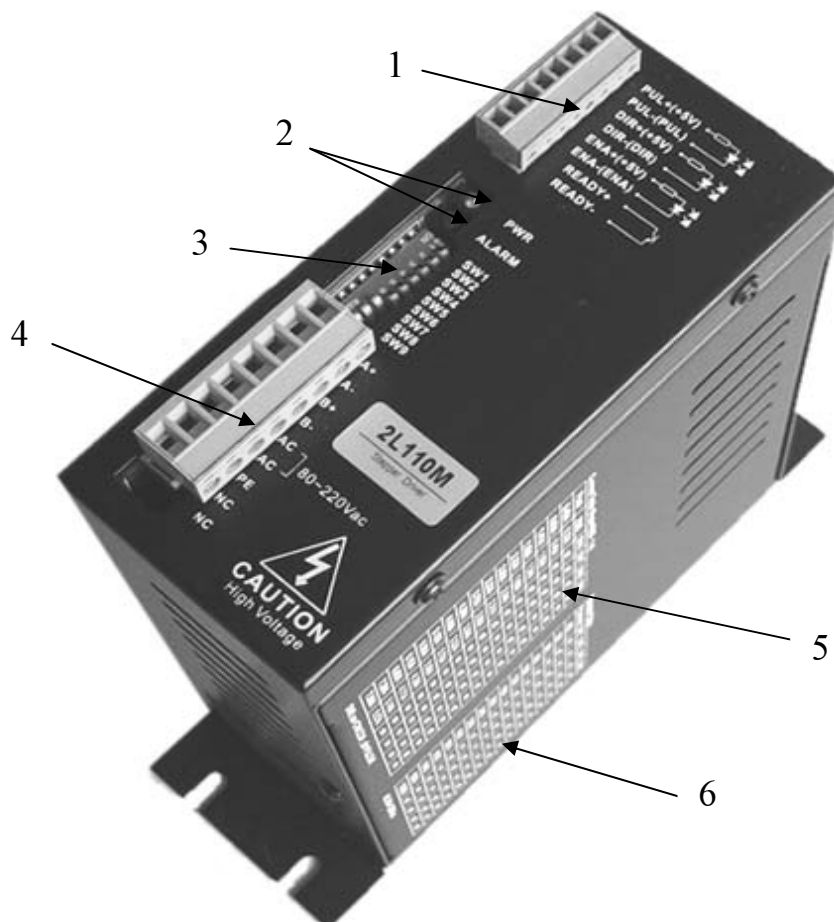


Рис 2. Силовий драйвер 2L110М:

- 1 – з'єднувач драйвера P1; 2 – світлодіодні індикатори; 3 – DIP-перемикачі SW1–SW9; 4 – з'єднувач драйвера P2; 5 – таблиця установки значення мікрокроку; 6 – таблиця установки значення струму

Важливою і суттєвою перевагою цього драйвера є можливість роботи при підвищеній напрузі змінного струму, тобто користувачеві не потрібно встановлювати додатковий випрямляч, вартість якого іноді перевищує навіть сам привод. У той же час наявність вбудованого джерела підвищеної напруги дозволяє забезпечити підвищені швидкості обертання без зменшення моменту обертання.

В таблицях 1 та 2 описано функції сигналів, що подаються на контакти з'єднувачів P1 та P2.

1. Сигнали керування контактів з'єднувача P1

| Призначення клеми | Опис функції |
|-------------------------|---|
| PUL+(+5 V) PUL-(PUL) | Сигнал PULSE: в режимі роботи з одноканальним частотним входом (імпульс/напрямок) на цей вхід подається імпульсний сигнал, який відпрацьовується приводом за кожним переднім фронтом. В режимі роботи з двоканальним частотним входом (імпульс/імпульс) на цей вхід подається імпульс обертання за годинниковою стрілкою (CW). Для гарантованого спрацювання ширина імпульсів повинна бути більшою ніж 1,2 мкс |
| DIR+(+5 V) DIR-(DIR) | Сигнал DIR: в режимі роботи з одноканальним частотним входом цей вхід сприймає низький/високий рівні напруги, що відображують два напрямки обертання двигуна. В режимі роботи з двоканальним частотним входом (встановлюється перемикачем SW5), це вхід для подачі імпульсів руху проти годинникової стрілки (CCW), які відпрацьовуються за кожним переднім фронтом. Для гарантованого спрацювання команди переміщення сигнал визначення напрямку руху повинен бути надісланий не пізніше, ніж за 5 мкс до імпульсу переміщення |
| ENA+(+5 V) ENA-(ENA) | Сигнал Enable: використовується для вмикання/вимикання керування вихідними транзисторами драйвера. Високий рівень сигналу застосовується для активації ключів, а низький – для вимикання. Зазвичай цей вхід залишається як правило непідключеним (керування транзисторами активоване) |
| READY+ | Додатний вихід сигналу аварії: READY є виходом оптопари з відкритим колектором, активним при нормальній роботі привода. Максимальна допустима напруга 30 В DC, максимальний вихідний струм 20 мА. Зазвичай підключається до клем входів програмованого логічного контролера |
| READY- | Від'ємний вихід сигналу аварії |

Примітки: 1. Стан ON перемикача SW5 відповідає режиму PUL/DIR (імпульс/напрямок), стан OFF – режиму CW/CCW (імпульс/імпульс).

Для керування силовим драйвером використовують зовнішній контролер серії PMC, який може створювати два основні типи завдання переміщення: PUL/DIR – "крок/напрямок" та CW/CCW – "імпульс/імпульс" (рис. 3).

2. Силові контакти з'єднувача P2

| Призначення клеми | Опис функції |
|-------------------|--|
| AC | Вхід змінного струму. Напруга може бути в межах 80...220 В. |
| AC | Рекомендується працювати при напрузі 180 В, тобто приєднувати силовий драйвер до мережі через потужний знижувальний трансформатор. |
| Phase A | Обмотки А двигуна (підключити до А+ і А- двигуна) |
| Phase B | Обмотки В двигуна (підключити до В+ і В- двигуна) |
| PE | Підключення клеми заземлення |

У режимі роботи з двоканальним частотним входом "імпульс/імпульс" імпульси подаються на обидва частотні входи PUL (CW) і DIR (CCW) залежно від необхідного напрямку обертання. При перемиканні привода в режим роботи з одноканальним частотним входом "крок/напрямок" напрямок руху визначається рівнем напруги на вході DIR. Для гарантованої обробки внутрішнім мікроконтролером тривалість високого і низького рівня імпульсу повинна бути не менше 1,5 мкс.

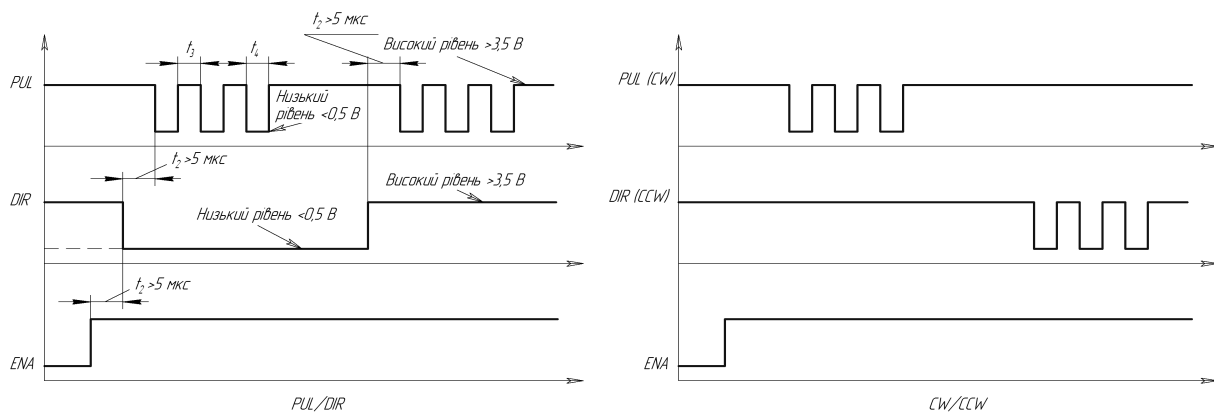


Рис. 3. Діаграма послідовності сигналів керування

2. Напрямок руху також залежить від схеми підключення приводного двигуна. Зміна місцями двох проводів однієї обмотки призведе до реверсу руху (наприклад, підключення клем А+ і А- двигуна до клем А- і А+ драйвера призведе до зміни напрямку руху).

Силова частина драйвера складається з восьми транзисторів VT1–VT8 (рис. 4), які працюють у режимі ШІМ зі стабілізацією струму в обмотках. Ширина імпульсу визначається різницею між реальним значенням струму та струмом, заданим за допомогою DIP-перемикачів. У більшості існуючих схем кожний із силових транзисторів шунтується зворотним діодом для зменшення перенапруги (на схемі не показано). Величини струмів в обмотках вимірюються датчиками струму в кожній обмотці двигуна.

На входи In1–In4 надходять імпульси з вбудованого в драйвер мікроконтролера. Частота перемикання пар ключів VT1–VT8 визначається частотою імпульсів, що надходять на вхід PUL у режимі роботи з одноканальним частотним входом та входи PUL/DIR у режимі роботи з

двоканальним частотним входом. Імпульси з мікроконтролера надходять на операційні підсилювачі $DA1 - DA8$, а з них - на керування силовими ключами $VT1-VT8$. За функціональними характеристиками підсилювачі $DA3, DA4, DA7, DA8$ у схемі використані з функцією "Заборона", а $DA1, DA2, DA5, DA6$ - з функцією логічного множення "І".

Сигнал дозволу роботи $ENA+$ і $ENA-$ є апаратним дозволом роботи і забезпечує гарантоване вимкнення ключів при надходженні сигналу з нульовим потенціалом. Таке схемне рішення використовується для забезпечення вимог з електробезпеки щодо ураження персоналу електричним струмом.

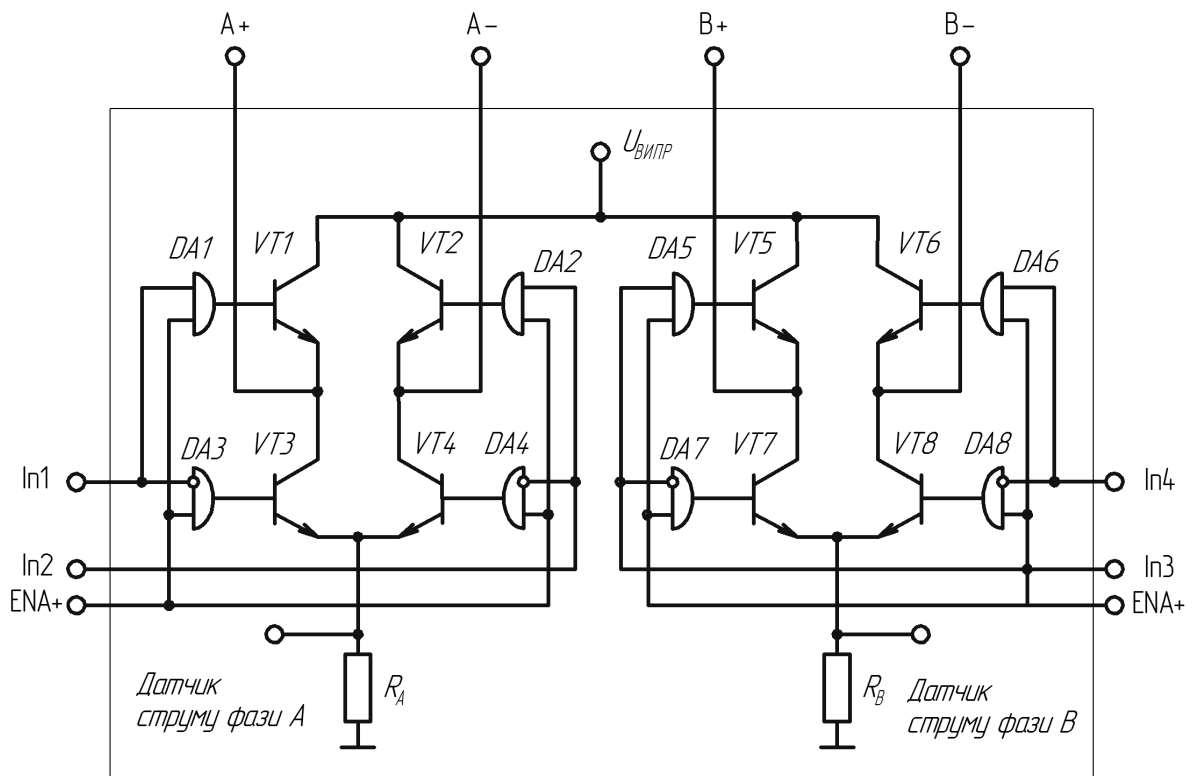


Рис. 4. Електрична схема силової частини драйвера

Розглянемо алгоритм роботи привода в напівкроковому режимі. В початковий момент роботи за відсутності сигналів на $In1-In4$ відкриті транзистори $VT3, VT4, VT7, VT8$. Коли сигнал надходить на $In1$, $VT3$ закривається, а $VT1$ вмикається. В цьому випадку до обмотки A прикладається випрямлена напруга живлення драйвера. Потім імпульс подається на вхід $In3$, вмикається $VT5$ і вимикається $VT7$. Обмотка B отримує напругу живлення і вал двигуна обертається на півкроку. Після цього знімається сигнал з $In1$ і двигун обертається в тому ж напрямку знову на півкроку, оскільки під напругою залишається лише обмотка B . Слід зазначити, що при живленні обох обмоток у напівкроковому режимі струм у кожній обмотці стабілізується на рівні $0,707$ від номінального.

При мікрокроковому режимі роботи векторна сума струмів в обмотках A і B (рис. 5) формує результуючий вектор струму з амплітудою, номінальною для підключеного двигуна, та кутом, кратним

$$\alpha = \frac{360^\circ}{p_{II}N},$$

де p_{II} – число пар полюсів, N – число перемикачів обмоток двигуна.

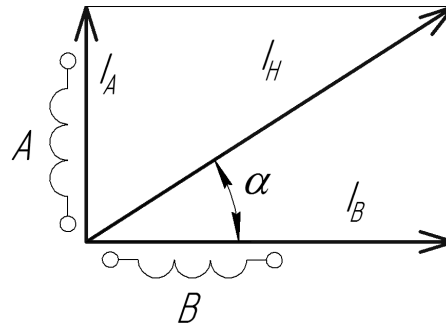


Рис. 5. Векторна діаграма струмів в обмотках двигуна

Кратність мікрокроку також виставляється за допомогою DIP-перемикачів.

Висновки

Силовий драйвер є джерелом постійного струму, який не тільки керує роботою крокового двигуна, а й здійснює захист від аварійних режимів.

Мікрокроковий режим створюється зміною співвідношення значень струму в обмотках A та B . Результуюча векторна сума відповідає номінальному значенню струму, заданому DIP-перемикачами.

Список літератури

1. Кулиниченко Г.В. Оценка характеристик мехатронного модуля на базе шагового двигателя / Г.В. Кулиниченко, В.А. Багута, А.Г. Коробов // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків, 2013. – №51(1024). – С. 43 – 53.
2. Two-phase hybrid stepper motor driver. Model 2L110M. Електронний ресурс [http://www.motionking.com/download/2L110M Instruction Rev.E.pdf](http://www.motionking.com/download/2L110M%20Instruction%20Rev.E.pdf)

ПРИВОД ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ 2L110M

И.М. Голодный, Ю.Н. Лавриненко, А.В. Торопов

Описан регулируемый электропривод на базе шагового двигателя. Исследована работа силового драйвера, приведены основные параметры и их характеристики. Рассмотрены особенности создания микрошагового режима работы двигателя и алгоритмы управления силовым драйвером.

Ключевые слова: шаговый двигатель, контроллер, силовой драйвер, импульсы, микрошаг, пиковый ток, действующий ток, стопорный ток

DRIVE OF STEPPER MOTOR 2L110M

I. Golodnyi, Y. Lavrinenko, A. Toropov

Described the regulated electric drive based on stepper motor. Work of power drivers are the key parameters and their characteristics. The features create a microstepping mode of the engine and power control algorithms driver.

Keywords: *stepper motor, controller, power driver, pulses, mikrostep, peak current, continuous current, retaining current*

УДК 621.313

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО ПОЛЯ СТРУМІВ ОБМОТКИ СТАТОРА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА

А.В. Жильцов, доктор технічних наук
В.В. Ликтей, аспірантка*
e-mail: azhilt@mail.ru

Виведено аналітичні формули для розрахунку плоскопаралельного стаціонарного магнітного поля струмів, розміщених у пазах криволінійної трапецеїдальної форми статора вентильного двигуна.

Ключові слова: *вентильний двигун, обмотка статора, магнітне поле*

Аналіз магнітного поля вентильних двигунів є важливою частиною у вирішенні завдань проектування та обґрунтованого вибору електромагнітних навантажень електричних машин. Попередньо у роботі [1] було розроблено математичну модель вентильного двигуна з постійними магнітами, яка дозволяє провести розрахунок характеристик магнітного поля із урахуванням неоднорідності магнітних властивостей матеріалу. Її реалізацією на першому етапі є розрахунок поля обмотки статора. У загальному випадку це потребує застосування методів чисельного інтегрування закону Біо-Савара-Лапласа, що призводить до виникнення похибки при розрахунку компонент магнітного поля. У деяких випадках при певній геометрії обмоток статора вентильного двигуна допускається отримання аналітичних виразів для компонент магнітної індукції, що вони створюють.

Мета досліджень — розрахунок магнітного поля струмів обмотки статора у вентильному двигуні з неявнополюсним статором за умов прийняття його плоскопаралельним.

* Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов