

УДК 681.586.773(035)

**О.М. Возняк, О.О. Дрючин, А.П. Тульчій**  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця  
кафедра метрології та промислової автоматики  
E-mail: [arlent@ukr.net](mailto:arlent@ukr.net)

## **МОСТОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ПОКРАЩЕНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

### **Abstract**

*Voznyak O.M., Dryuchin O.O., Tul'chiy A.P. Bridge transformer with the improved descriptions of transient behaviors to the electromechanic driver. Decision of problems of energy-savings and providing of the safe modes of operations of engine of direct-current by control of the optimum mode in an impulsive electromechanic driver.*

*Keywords: bridge transformer, electromechanic driver, engine of direct-current management, transitional mode.*

### **Анотація**

*Возняк О.М., Дрючин О.О., Тульчій А.П. Мостовий перетворювач з покращеними характеристиками перехідних режимів електроприводу. Вирішення проблем енергозбереження та забезпечення безпечних режимів роботи двигуна постійного струму за допомогою контролю оптимального режиму в імпульсному електроприводі.*

*Ключові слова: мостовий перетворювач, електропривод, керування двигуном постійного струму, перехідний режим.*

### **Аннотация**

*Возняк А.Н., Дрючин А.А., Тульчий А.П. Мостовой преобразователь с улучшенными характеристиками переходных режимов электропривода. Решение проблем энергосбережения и обеспечение безопасных режимов работы двигателя постоянного тока с помощью контроля оптимального режима в импульсном электроприводе.*

*Ключевые слова: мостовой преобразователь, электропривод, управление двигателем постоянного тока, переходной режим.*

### **Постановка задачі.**

Електропривод займає вагоме місце в сучасній промисловості та є одним з найбільш використовуваним на транспорті громадського призначення. Але використання таких двигунів супроводжується великими втратами енергії під час пуску, гальмування та при зміні режимів роботи двигуна. Це в свою чергу призводить до великих матеріальних затрат. Введення покращеного керування роботою електроприводів дозволить зменшити втрати енергії, або ж перевести надлишкову енергію на іншого споживача.

На сучасному етапі розвитку техніки питання щодо керування двигунами так і не вирішено до кінця. Зокрема, недоліком ряду перетворювачів є відсутність обмеження пускового струму, що створює небезпечні режими для ключів і двигуна, а також неможливість рекуперації енергії у відсутності іншого споживача при живленні від вторинної мережі живлення. Це також веде до появи небезпечних режимів

елементів приводу і збільшення втрат на двигуні. Тому актуальною задачею є вирішення проблем енергозбереження та забезпечення безпечних режимів роботи двигуна постійного струму шляхом контролю оптимального режиму в імпульсному електроприводі.

**Аналіз стану досліджень та публікацій.**

Розроблено багато перетворювачів, що вирішують дану задачу, але всі вони мають вузько направлену специфіку [1–3]. Тобто вирішуючи одну проблему вони нехтують іншою, що унеможлиблює використання такого перетворювача в іншій галузі.

**Формування цілей статті.**

В більшості приводів електродвигуни в основному працюють у перехідному режимі (наприклад для електротранспорту: пуск, гальмування, зміна швидкості), що складає близько 30% загального часу роботи. Під час таких режимів відчувається перенавантаження як двигуна, так і перетворювача електроприводу. Тому метою статті є розробка мостового перетворювача для контролю роботи електроприводу, що забезпечить безпеку режимів роботи та зменшить втрати енергії під час перехідних процесів.

**Викладення основного матеріалу.**

Відомі технічні рішення перетворювачів в яких за рахунок імпульсного керування є можливість реалізувати електродинамічне або рекуперативне гальмування [1], але проблема зменшення втрат і їх контролю залишається не вирішеною. Поставлена задача вирішується тим, що в даний перетворювач для керування двигуном постійного струму було введено додаткові елементи: додаткові діоди, елемент накопичення енергії, баластний резистор (рис. 1).

На рис. 1 наведена структурна схема перетворювача для керування двигуном постійного струму в якій використовуються наступні позначення: ЗФ — згладжувальний фільтр, МІ — мостовий інвертор, ДПС — двигун постійного струму, БК — блок керування, ЕНЕ — елемент накопичення енергії, ЕК — електронний ключ.

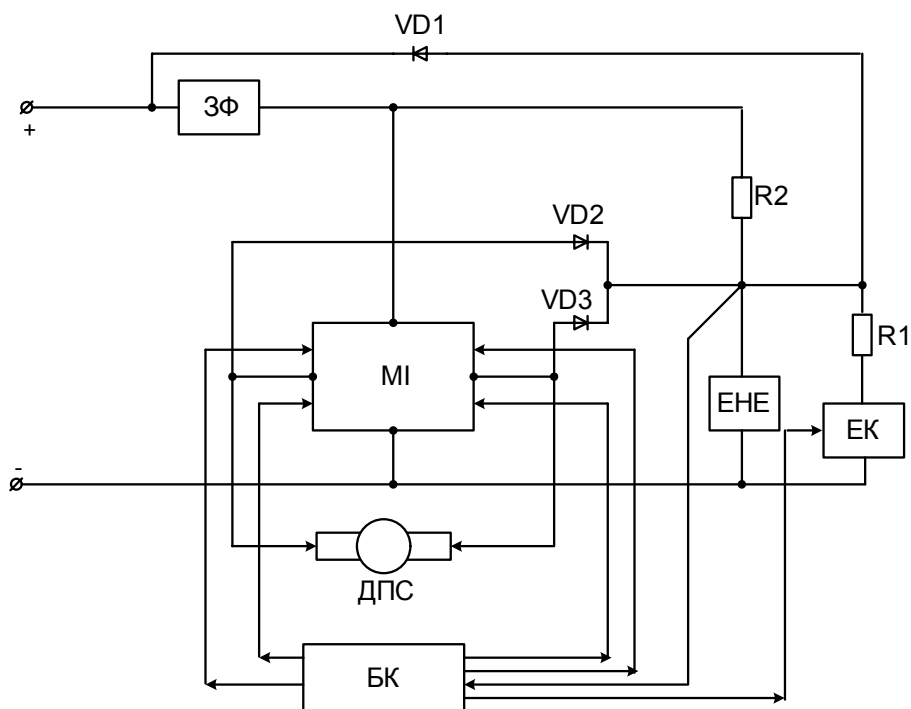


Рисунок 1 — Структурна схема перетворювача для керування двигуном постійного струму

Пристрій працює наступним чином. Після подачі живлення починається стан підготовки. Всі транзистори мостового інвертора і електронний ключ знаходяться у зачиненому стані. Ємності елемента накопичення енергії заряджуються через допоміжний резистор до напруги  $U_C$  близькій до напруги живлення перетворювача  $E$ . Якщо знехтувати часом встановлення напруги на виході згладжувального фільтру, то час підготовки  $T_0$ , в основному, визначається часом заряду реактивностей елемента накопичення енергії. При ємнісній реалізації

$$T_0 \approx 3R_D \cdot C_{ЕНЕ}, \quad (1)$$

де  $R_D$  — опір допоміжного резистору;  
 $C_{ЕНЕ}$  — ємність елемента накопичення енергії.

Напруга на виході елемента накопичення енергії контролюється по додатковому входу блоком керування і, коли вона досягає рівня близького до рівня напруги живлення  $E$ , формується сигнал, який дозволяє блоку керування перейти до стану пуску.

На стані пуску сигналами з виходів блоку керування відчиняється один із "верхніх" транзисторів мостового інвертора, в залежності від напрямку обертання двигуна постійного струму, і електронний ключ. Перший або другий додатковий діод відчиняються і до двигуна постійного струму прикладається напруга  $U_{ДПС}$ :

$$U_{ДПС} = E - U_C \approx E[1 - \exp(\frac{-t}{R_B \cdot C_{ЕНЕ}})], \quad (2)$$

де  $R_B$  — опір баластного резистора.

В виразі (2) впливом допоміжного резистора можна знехтувати, тому що його опір  $R_D$  має бути значно більше ніж опір  $R_B$  баластного резистору. За рахунок поступового розряду елемента накопичення електроенергії, напруга що прикладається до двигуна постійного струму зростає повільно, повільно зростає і пусковий струм  $I_p$ , на відміну від типових рішень, де вона миттєво зростає до напруги живлення  $E$ , що обумовлює стрибок пускового струму до величин:

$$I_{\max} \approx \frac{E}{r_{ДПС}}, \quad (3)$$

де  $r_{ДПС}$  — активний опір обмоток двигуна постійного струму.

В перетворювачі, що пропонується, навіть у відсутності проти е.р.с, величина пускового струму не може бути більше ніж:

$$I_{n\max} < \frac{E}{(r_{ДПС} + R_B)}, \quad (4)$$

тобто здійснюється обмеження пускового струму і забезпечується більш безпечний режим роботи двигуна постійного струму і ключів мостового інвертора. Крім того, обмеження струму пуску можна здійснювати і за рахунок індуктивності обмоток двигуна постійного струму при імпульсному регулюванні відчиненого стану одного з "верхніх" транзисторів мостового інвертора.

По закінченню стану пуску, при досягненні сталого обертання ротору двигуна постійного струму, починається стан робочого ходу. На цьому етапі електронний ключ зачиняється, а після підзаряду ємностей накопичувача енергії зачиняються додаткові діоди. Регулювання швидкості обертання двигуна постійного струму і напрямку обертання здійснюється попарною комутацією ключів мостового інвертора за рахунок використання будь-якого із відомих способів імпульсного регулювання. Робочий

режим відрізняється від аналогічного режиму інших приводів тим, що в паузах регулювання, при яких зачиняються всі ключі мостового інвертора, частина струму двигуна постійного струму відгалужується до елемента накопичення енергії, і підтримує напругу на його виході близьку до напруги живлення  $E$ . У випадку підключення до мережі іншого споживача, яке приведе до спаду напруги мережі, енергія, яка була накопичена в елементі накопичення енергії через діод передається до мережі, тобто в паузі можлива рекуперація енергії і збільшення к.к.д. електроприводу.

Зупинка двигуна постійного струму може бути здійснена поступово за рахунок поступового зменшення часу відкривання ключів мостового інвертора або за рахунок одного із видів електричного гальмування: електродинамічного, рекуперативного або сумісного. В будь-якому режимі гальмування "верхні" ключі мостового інвертора зачинені. При електродинамічному гальмуванні від блоку керування на вхід електронного ключа подається сигнал, який відчиняє електронний ключ і струм гальмування тече через один із додаткових діодів, в залежності від попереднього напрямку обертання, баластний резистор, електронний ключ, спільний провід (другий полюс джерела живлення) і один із "нижніх" зворотних діодів мостового інвертора. При цьому механічна енергія двигуна постійного струму витрачається на баластному резисторі, але такий режим неефективний енергетично і в перетворювачі, що пропонується, використовується тільки у відсутності у мережі живлення іншого споживача для створення безпечного режиму ключів мостового інвертору, які знаходяться в цей час в закритому стані.

Під час рекуперативного гальмування відчиняється, в залежності від напрямку обертання, один із "нижніх" ключів мостового інвертора сигналом з виходу блоку керування. Струм гальмування  $I_0$  зростає в залежності від тривалості відкритого стану ключа  $t_j$ , до потрібного значення струму  $I_{ДПС}$ :

$$I_{ДПС} \approx I_0 + \left(\frac{e}{r_e}\right) \cdot \exp\left(-t_i \cdot \frac{r_e}{L_e}\right), \quad (5)$$

де  $e$  — е.р.с. якоря;

$r_e$  — загальний активний опір обмоток, відкритого ключа і "зворотного" діоду;

$L_e$  — еквівалентна індуктивність обмоток двигуна постійного струму.

Після зачинення ключа мостового інвертора, в паузі гальмування  $t_n$  за рахунок е.р.с. відчиняється один з додаткових діодів і здійснюється заряд струмом  $I_{ДПС}$  елемента накопичення енергії, напруга  $U_{ЕНЕ}$  на виході якого зростає. В той момент, коли напруга  $U_{ЕНЕ}$  зрівняється з напругою мережі  $E$  відчиняється діод і струм гальмування замикається через опір  $R_H$  іншого споживача або через внутрішній опір  $r_i$  між першим і другим полюсами джерела живлення, тобто здійснюється рекуперація енергії двигуна постійного струму до мережі, а відповідно здійснюється і підвищення к.к.д. всього приводу. Якщо опір іншого споживача  $R_H$  менше ніж еквівалентний опір двигуна постійного струму та відкритих діодів, тобто до той же мережі підключений більш потужний споживач або внутрішній опір  $r_i$  між полюсами джерела живлення значно менше ніж той же еквівалентний опір (при живленні від акумулятора), гальмування здійснюється практично постійним струмом, як під час відкритого стану ключа  $t_i$ , так і під час паузи  $t_n$ . Це дозволяє зменшити втрати на обмотках двигуна і здійснити регулювання струму гальмування. Напруга на всіх елементах перетворювача не перебільшує напруги живлення чим створюються безпечні режими їх функціонування.

При живленні мережі від випрямляча, наприклад на електротранспорті, можлива ситуація коли до полюсів джерела одночасно з перетворювачем підключений менше

потужний споживач або він взагалі відсутній,  $R_H$  значно більше  $r_c$ . Тоді під час паузи гальмування, у відсутності контролю напруга  $\Delta U$  рекуперації на полюсах джерела живлення досягла б великих значень:

$$\Delta U \approx I_{ДПС} \cdot R_H \gg E,$$

що привело б до неприпустимо великих значень напруг на елементах перетворювача і випрямляча мережі, а також до спаду струму гальмування. Це робить взагалі неможливим режим рекуперації під час гальмування.

В перетворювачі, що пропонується, при зростанні напруги  $U_{ЕНЕ}$  на виході елемента накопичення енергії до максимально допустимого значення  $E_m$  сигналом по додатковому входу блоку керування формується сигнал, який відкриває електронний ключ і напруга  $U_{ЕНЕ}$  починає зменшуватись, за рахунок розряду елемента накопичення енергії через баластний резистор. Під час паузи, струм гальмування підтримується близьким до постійного за рахунок підзарядки елемента накопичення енергії і відгалуження на баластний резистор і до мережі. Якщо напруга  $U_{ЕНЕ}$  стане менше за напругу живлення  $E$  діод б закривається, рекуперативна складова струму зникає. Напруга  $U_{ЕНЕ}$  також буде зменшуватись за рахунок розряду елемента накопичення енергії через баластний резистор і коли вона досягне мінімально допустимого значення  $E_m$  сигналом по додатковому входу блока керування сформується сигнал, який зачиняє електронний ключ. З цього моменту струмом гальмування здійснюється зарядка елемента накопичення енергії, напруга  $U_{ЕНЕ}$  на його виході зростає, знов відчиняється діод і здійснюється рекуперація. В момент, коли  $U_{ЕНЕ}$  досягає максимально допустимого значення  $E_m$ , знов відчиняється електронний ключ і процеси повторюються. Таким чином здійснюється підвищення к.к.д. всього приводу.

#### **Висновки.**

Таким чином, введення додаткових діодів, елемента накопичення енергії, допоміжного і баластного резисторів дозволяють повільно регулювати і обмежувати пусковий струм, що дозволяє зменшити втрати на обмотках двигуна постійного струму і забезпечити безпечні режими елементів електроприводу. Також за рахунок того, що напруга на елементах перетворювача контролюється додатковим входом блока керування і ніколи не перебільшує максимально допустимих значень забезпечується безпечний режим роботи елементів перетворювача і випрямляча мережі. Ці обставини і підтверджують виконання задачі, що поставлена.

#### **Література**

1. Микроэлектронные системы. Применение в радиоэлектронике / [Ю.И. Конев, Г.Н. Гулякович и др.]; под ред. Ю.И. Конева. — М.: Радио и связь, 1987. — 240 с.
2. Поджаренко В. О. Оптимізація імпульсного регулювання гальмування двигуна постійного струму / Поджаренко В. О., Дрючин О. О., Васілевський О. М. // Вісник національного університету „Львівська політехніка”. Серія: „Автоматика, вимірювання та керування”. — 2005. — № 530. — С. 106–110.
3. Пат. 47111А Україна, МКІ Н02 Р3/08. Спосіб гальмування двигуна постійного струму та пристрій для його реалізації / О. О. Дрючин; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. — опубл. 17.06.02, Бюл. №6.

Здано в редакцію:  
05.03.2009р.

Рекомендовано до друку:  
д.т.н, проф. Зорі А.А.