

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

УДК 62-83-52:681.325-181.4

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.68.081>

ПЕРЕТВОРЮВАЧ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Р.А. Чепкунов, канд. техн. наук

Науково-виробниче підприємство «Електронік, ЛТД», ТОВ,

вул. Руставі, 5 - 204, Запоріжжя, 69055, Україна

e-mail: elektronick.ltd@gmail.com

Розглянуто перетворювач, який може забезпечувати керування як асинхронного електропривода, так і електропривода постійного струму. В асинхронному електроприводі керування трифазним перетворювачем частоти здійснюється за реактивною потужністю, в електроприводі постійного струму напруга якоря формується шляхом широтно-імпульсної модуляції двох плечей перетворювача частоти, а напруга обмотки збудження – широтно-імпульсною модуляцією третього плеча. Забезпечується якісне керування електроприводами. Бібл. 10, рис. 3.

Ключові слова: асинхронний електропривод, реактивна потужність, двигун постійного струму.

Вступ. Асинхронний електропривод (ЕП) останнім часом витісняє ЕП постійного струму в більшості промислових застосувань [1]. Переважно ЕП постійного струму залишилися в реверсивних ЕП, особливо металургійних: у прокатних станах і відвідних рольгангах, при переміщенні електродів в сталеплавильних печах, також вони ще використовуються в електротранспорті – електропоїздах, трамваях, тролейбусах, електромобілях; в крановому, верстатному та інших електроприводах. З вирішенням питання якості регулювання в реверсивних асинхронних ЕП [2] з'явилася можливість заміни ЕП постійного струму на більш надійний і дешевший асинхронний ЕП. Однак у вже працюючих механізмах ця заміна може бути дорогою. Тому виникає необхідність використання нового, більш якісного ЕП постійного струму. У нових ЕП виникає потреба використання асинхронного ЕП та ЕП постійного струму. У працюючих ЕП заміна ЕП постійного струму на асинхронний може проводитися в два етапи: на першому замінюється перетворювач з відпрацюванням технології його використання, а на другому можлива заміна двигуна. Тому доцільно мати універсальний перетворювач, який може керувати як асинхронним двигуном, так і двигуном постійного струму. Водночас у разі заміни ЕП схема перетворювача залишається незмінною, а змінюється тільки програма мікропроцесорного керування.

Метою роботи є опис універсального перетворювача для асинхронного ЕП і ЕП постійного струму, його силової частини і системи керування.

Виклад основного матеріалу. Структурна схема універсального ЕП показана на рис. 1, де кола підключення двигуна постійного струму до інвертора перетворювача частоти (ПЧ) позначені пунктиром. Випрямляч, який може бути загальним для ряду ЕП, на рисунку не показано. Якщо асинхронний двигун підключений до трьох фаз інвертора ПЧ, то якір двигуна постійного струму – до двох фаз, а обмотка збудження – між третьою фазою і загальною точкою кола постійного струму. Від двигунів позначені зв'язки до датчика швидкості, якщо такий передбачено. Оскільки його може і не бути, його кола позначені також пунктиром.

Схема регулювання асинхронного ЕП відповідає регулюванню за реактивною потужністю [2]. Така схема забезпечує безінерційний реверс й оптимальне за швидкістю регулювання швидкості двигуна.



$$\begin{aligned}
 I_{RV} &= -I_a \cos \theta_{-a} + \frac{1}{\sqrt{3(I_a + 2I_c) \sin \theta_{-a}}}, & I_{XV} &= I_a \sin \theta_{-a} + \frac{1}{\sqrt{3(I_a + 2I_c) \cos \theta_{-a}}}; \\
 I_{RV} &= I_c \cos \theta_c + \frac{1}{\sqrt{3(2I_a + I_c) \sin \theta_c}}, & I_{XV} &= -I_c \sin \theta_c + \frac{1}{\sqrt{3(2I_a + I_c) \cos \theta_c}}; \\
 I_{RV} &= [(I_a + I_c) \cos \theta_{-b} + \frac{1}{\sqrt{3(I_a - I_c) \sin \theta_{-b}}}, \\
 I_{XV} &= [-(I_a + I_c) \sin \theta_{-b} + \frac{1}{\sqrt{3(I_a - I_c) \cos \theta_{-b}}}.
 \end{aligned}$$

Струм I дорівнює:

$$i = \sqrt{I_{RV}^2 + I_{XV}^2}$$

Таким чином, зменшується похибка визначення струму, його активної і реактивної складових і підвищується якість регулювання в області низьких частот.

Функціональні блоки виконують такі операції: F_1 – визначає значення заданої реактивної потужності, де L_c, L_r – індуктивності статора і ротора, $\Psi_{r,z}$ – значення потокозчеплення ротора, що задається, $\omega = 2\pi f$; F_2 – визначає активну складову струму ротора.

$$I_{RE} = \sqrt{I^2 - \frac{UI_{XV} - I^2 \omega L_c}{\omega L_r}}$$

Значення I_{RE} обчислюється без урахування знаку. Знак струму I_{RE} залежить від заданого напрямку обертання АД і від того, в якому режимі він працює, двигунному чи генераторному.

На рис. 1 також позначено: КЗІ – керований задатчик інтенсивності, який керує частотою f_z , пропорційною до заданої швидкості n_z : обмежує темп її зміни за високої швидкості зміни частоти, яка задається на вході задатчика інтенсивності F_z , забороняє її збільшення в разі перевищення струмом I допустимого значення або знижує її в разі великого перевищення, забороняє її зниження в разі перевищення вхідною напругою інвертора U_d допустимого значення; k_{IR} – коефіцієнт ІR-компенсації, який збільшує напругу перетворювача на величину падіння напруги на внутрішніх опорах АД за струму I ; $\sim k_i$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за змінною складовою струму I_{XV} для забезпечення стійкості системи автоматичного регулювання на низьких частотах ПЧ.

У представленому в схемі інтегральному регуляторі з коефіцієнтом k_{int} вихідний сигнал не змінюється у визначеному інтервалі малих частот навколо нульового значення $f_{min} \leq f \leq f_{max}$.

Під час роботи перетворювача на двигун постійного струму сигналами зворотного зв'язку є струм якоря I_a і струм обмотки збудження I_{ϕ} (сигнали ЕП постійного струму показано пунктиром). Обмеження за струмом і обмеження за напругою на керованому задатчику інтенсивності КЗІ і ІR-компенсація аналогічні. Після ІR-компенсації задане значення швидкості помножується на коефіцієнт Φ і надходить на вхід регулятора, де порівнюється з напругою якоря, яка визначається як добуток напруги U_d на коефіцієнт модуляції k_{mod} , і після множення на коефіцієнт посилення регулятора напруги K_U подається на регулятор струму. На рисунку він пропорційно-інтегральний з постійними часу T_1, T_0 . КЗІ також формує задане значення струму обмотки збудження $I_{\phi,z}$, яке визначає роботу ЕП у першій зоні регулювання у разі постійного потокозчеплення ротора, або в другій зоні – у разі зменшення $I_{\phi,z}$ і збільшення швидкості двигуна n .

Особливістю регулятора струму є вузол обмеження струму на граничному рівні $I_{гран}$, який може бути близьким до номінального. При $I < I_{гран}$ від'ємний зворотний зв'язок за струмом відключається, що підвищує швидкодію системи регулювання [3].

Наступною особливістю системи регулювання є подвоєння частоти модуляції напруги якоря відносно частоти переключення транзисторів мостового широтно-імпульсного перетворювача постійної напруги [5], що дає змогу в два рази знизити пульсації напруги і струму без збільшення втрат у транзисторах перетворювача у разі їхніх переключень.

На транзистори кожного плеча перетворювача VT1, VT2 і VT3, VT4 (рис. 2) із невеликою затримкою, необхідною для відновлення запираючих властивостей транзисторів, які виходять із роботи, подають протилежні керуючі сигнали, а напруга навантаження перетворювача U_H тієї чи іншої полярності визначається керуючими сигналами на діагонально розміщених транзисторах перетворювача.

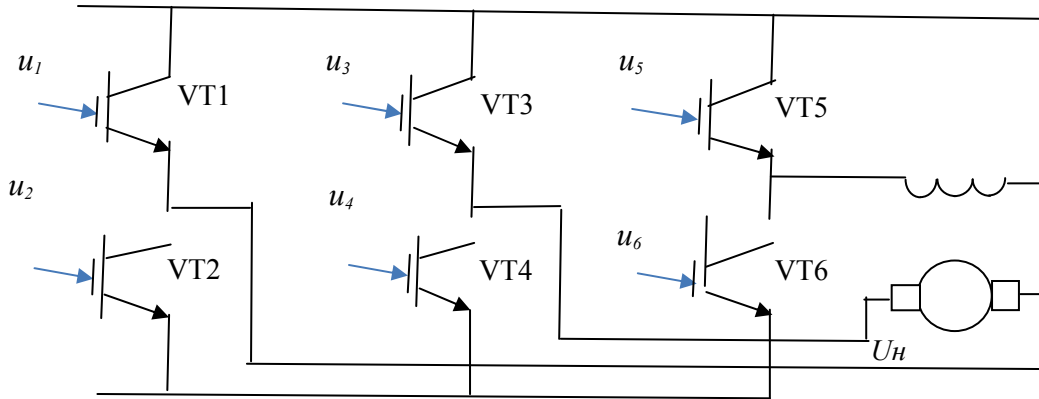


Рис. 2. Протилежні керуючі сигнали, що подаються на транзистори кожного плеча перетворювача VT1, VT2 і VT3, VT4

У відомому способі керування [6, 7] ці сигнали подають синхронно, і частота імпульсів напруги навантаження дорівнює частоті включення транзисторів.

У новому способі керування ці сигнали подають зі зміщенням один відносно другого на половину періоду їхнього слідування, що дає змогу збільшити у два рази частоту слідування імпульсів напруги навантаження відносно частоти включення транзисторів. Це видно з діаграми керуючих сигналів u_1 , u_2 , u_3 , u_4 на транзисторах плечей VT1, VT2 і VT3, VT4 (рис. 3). Вихідна напруга перетворювача U_H утворюється за однойменної наявності відпираючих сигналів u_1 , u_4 на діагонально розміщених транзисторах VT1, VT4 (сигналів високого рівня, затримка сигналів у разі переключення транзисторів на рисунку не показана через її малість). З огляду на те, що керуючі сигнали на транзисторах VT1, VT4 зміщені один відносно другого на половину періоду їхнього слідування, утворюються дві паузи у вихідній напрузі перетворювача, а не одна, як у відомому способі. У разі подвоєння числа пауз у напрузі навантаження відповідно подвоюються число і частота слідування імпульсів напруги U_H . Діаграма на рисунку зверху демонструє формування керуючих сигналів на транзисторах. Паузи у вихідній напрузі перетворювача утворюються під час виходу модулюючого сигналу u_m , який змінюється від нуля до одиниці і навпаки, за зону, яка визначається сигналами u_{y1} , u_{y2} . Водночас число пауз у напрузі U_H і частота слідування імпульсів напруги U_H подвоюються. Таким чином, частота модуляції напруги якоря відносно частоти переключення транзисторів збільшується у два рази.

Для обмотки збудження з великою індуктивністю збільшення частоти модуляції для зменшення пульсацій струму не вимагається, і вона живиться від одного плеча перетворювача на транзисторах VT5, VT6.

Такий перетворювач випробувано на Запорізькому електроапаратному заводі під час роботи перетворювача для асинхронного електропривода ЕКТ4-100 на електродвигун постійного струму трамвая.

Тиристорні ЕП постійного струму, які широко застосовуються [8–10], поступаються за якістю регулювання ЕП постійного струму з широтно-імпульсною модуляцією транзисторів, на них можна реалізовувати більш швидкодіючі системи регулювання [8]. У них відсутні протипаралельні мости, і вони не потребують спеціальних мір захисту [9, 10], тому вони більш надійні. Але попри розглянуті нові рішення порівняно з відомими, ЕП постійного струму з широтно-імпульсною модуляцією транзисторів все одно можуть поступатися асинхронним ЕП за якістю, надійністю і вартістю. У перспективі процес заміни

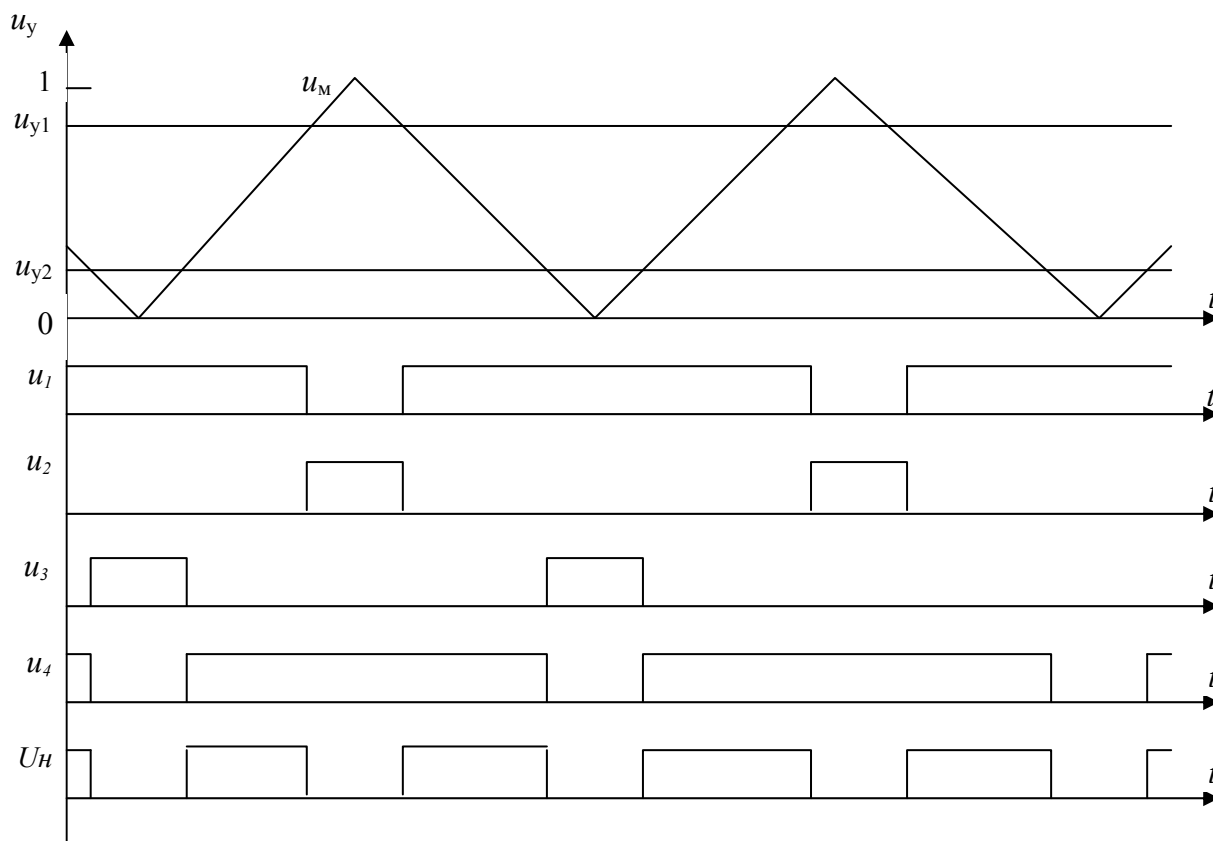


Рис. 3. Діаграми керуючих сигналів u_1 , u_2 , u_3 , u_4 на транзисторах плечей VT1, VT2 і VT3, VT4

електроприводів буде продовжуватися, а розглянутий перетворювач може бути використаний у поетапній заміні – спочатку замінюється тільки перетворювач з відпрацюванням технологічних особливостей конкретного електропривода, а потім і електродвигун. Можливе і продовження роботи ЕП постійного струму з новим перетворювачем або використання його в нових ЕП постійного струму, які ще можуть бути. У будь-якому випадку є сенс використання такого універсального перетворювача, в якому для керування асинхронним двигуном і двигуном постійного струму змінюється тільки програма мікропроцесорного керування, а його схема залишається такою ж самою.

Висновки. Запропонований перетворювач забезпечує якісне регулювання і може поставитися як для асинхронного електропривода, так і для електропривода постійного струму. У разі заміни електроприводів постійного струму на асинхронний електропривод перетворювач дає змогу відпрацювати режими роботи електропривода до заміни електродвигунів.

1. Пересада С.М., Ковбаса С.М., Крижановский В.П., Бовкунович В.С. Система управления моментом асинхронного двигателя для тяговых электроприводов. *Промислова електроенергетика та електротехніка*. 2007. № 1. С. 66–70.
2. Чепкунов Р.А. Реверсивный асинхронный электропривод с управлением за реактивной мощностью. *Технічна електродинаміка*. 2024. № 1. С. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2024.01.046>
3. Чепкунов Р. Регулирование электроприводов с косвенным измерением скорости. Saarbrücken, Deutschland: LAP Lambert Academic Publishing, ISBN-13: 978-3-659-37144-8. 2015. 204 с.
4. Потапенко Е.М., Потапенко Е.Е. Робастые алгоритмы векторного управления. Запорожье: ЗНТУ, 2009. 352 с.
5. Чепкунов Р.А. Спосіб керування мостовим широтно-імпульсним перетворювачем постійної напруги. Патент на винахід України №119390, опубл. 10.06.2019. Бюл. № 11.
6. Чиженко И.М. Справочник по преобразовательной технике. Киев. Техника. 1978. 447 с.
7. Калінов А.П., Мельников В.О. Элементы автоматизованого електропривода. Кременчуг. 2014. 274 с.

8. Чепкунов А.І. Цифро-аналогові і мікропроцесорні системи управління силових напівпровідникових перетворювачів. Запоріжжя: ЗДІА, 2007, 119 с.
9. Перельмутер В.М., Сидоренко В.А. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока. Москва: Энергоатомиздат, 1988. 304 с.
10. Андриенко П.Д. Защита реверсивных тиристорных преобразователей. Киев. Техніка. 1977. 144 с.

CONVERTER OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE AND DC CURRENT ELECTRIC DRIVE

R.A. Chepkunov

Science-industrial enterprise “Elektronik, LTD”,
st. Rustavy, 5 - 204, Zaporizhzhia, 69055, Ukraine
e-mail: elektronick.ltd@gmail.com

A converter is considered that can provide control of both asynchronous electric drive and a DC electric drive. In an asynchronous electric drive control of a three-phase frequency converter by reactive power; in a DC electric drive the armature voltage is formed by PWM modulation of two arms of the frequency converter, and the voltage of the field winding is PWM modulated by the third arm of the converter. Ensures high-quality control of electric drives.

Ref. 10, fig. 3.

Keywords: asynchronous electric drive, reactive tension, direct current motor.

1. Peresada S.M., Kovbasa S.N., Krizhanovskiy V.P., Bovkunovich V.S. Control system for moment of induction motor of pull electric driver. *Industrial Electronics and Electronics*. 2007. No 1. Pp. 66–70. (Rus)
2. Chepkunov R.A. Reversible asynchronous electric drive with reactive power control. *Technichna elektro-dinamika*. 2024. No 1. Pp. 46–52 (Ukr). DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2024.01.046>
3. Chepkunov R. Regulation of electric drives with indirect measuring of speed. Saarbrücken, Deutschland: LAP Lambert Academic Publishing, ISBN-13: 978-3-659-37144-8. 2015. 204 p. (Rus)
4. Potapenko E.M., Potapenko E.E. Robust algorithms of the vector control of electric drive. Zaporohzje: ZNTU. 2009. 352 p. (Rus)
5. Chepkunov R.A. Method of control of bridge with impulse converter. Patent of innovation №119390, Ukraine, publish 10.06.2019. Bull. No 11. (Ukr)
6. Chizhenko I.M. Handbook of converter engineering. Kiev. Tehnika. 1978. 447 p. (Rus)
7. Kalinov A.P., Melnikov V.O. Elements of automatization electric drive. Kremenchuk, 2014. 274 p. (Ukr)
8. Chepkunov A.I. Digital-analog and microprocessor control systems of power semiconductor converters. Zaporohzje: ZDIA. 2007. 119 p. (Ukr)
9. Perelmuter V.M., Sidorenko V.A. Control systems of thyristor electric drives of direct current. Moscow: Energoatomizdat, 1988. 304 p. (Rus)
10. Andrienko P.D. Protection of the reversible thyristor converters. Kiev. Tehnika. 1977. 144 p. (Rus)

Надійшла: 13.05.2024

Прийнята: 05.07.2024

Submitted: 13.05.2024

Accepted: 05.07.2024