УДК 612.313

М. Л. Антонов, канд. техн. наук

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НА ОСНОВІ ТРИРІВНЕВОГО БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ЗІ СКАЛЯРНИМ КЕРУВАННЯМ

Анотація. *Розглянуто принцип побудови перетворювача частоти на основі дворівневого реверсивного випрямляча та трирівневого інвертора напруги, що не містить кола постійного струму. Розроблена математична модель зазначеного перетворювача частоти навантаженого на асинхронний двигун. За допомогою зазначеної моделі проведенні дослідження, виконаний аналіз та запропонований метод керування перетворювачем.*

Ключові слова: *Асинхронний електропривод, трирівневий безпосередній перетворювач частоти, скалярне керування, математичне моделювання, перехідний процес*

M. Antonov, PhD.

ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE BASED ON THREE-LEVEL DIRECT FREQUENCY CONVERTER WITH A SCALAR CONTROL

Abstract. *Principles of construction of the frequency converter based on two-level bidirectional rectifier and three-level inverter voltage range does not include DC are discussed. The mathematical model of frequency converter for asynchronous motor loaded are designed. The analyses by this model are testing. The methods of control are proposed.*

Keywords: *Asynchronous electric drive, three-level direct frequency converter, scalar control, mathematical modeling, transition process*

Н. Л. Антонов, канд. техн. наук

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ОСНОВЕ ТРЕХУРОВНЕВОГО НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Аннотация. *Рассмотрен принцип построения преобразователя частоты на основе двухуровневого реверсивного выпрямителя и трехуровневого инвертора напряжения, который не содержит цепи постоянного тока. Разработана математическая модель указанного преобразователя частоты, нагруженного на асинхронный двигатель. С помощью указанной модели проведены исследования, выполнен анализ и предложен метод управления преобразователем.*

Ключевые слова: *Асинхронный электропривод, трехуровневый непосредственной преобразователь частоты, скалярное управление, математическое моделирование, переходный процесс*

Вступ. Останнім часом активно розвиваються напівпровідникові прилади. На їх основі створюються нові типи статичних перетворювачів частоти (ПЧ) [1]. Серед них велику частку займають безпосередні ПЧ (БПЧ) [2]. БПЧ на сучасній елементній базі (IGBT-транзистори) мають підвищену надійність через відсутність ланки постійного струму та забезпечують рекуперацію електричної енергії в мережу живлення. [3 – 5]. Широке розповсюдження серед БПЧ отримав матричний перетворювач частоти (МПЧ), який випускається серійно багатьма закордонними компаніями. БПЧ та МПЧ не вирішують проблему великого значення похідної напруги на обмотках статора [6 – 8]. Одним з дієвих способів зниження значення похідної напруги на обмотках статора є використання багаторівневих перетворювачів частоти. Однак всі відомі схемотехнічні рішення багаторівневих перетворювачів частоти містять електролітичні конденсатори для створення різних рівнів напруги в колі постійного струму. Отже, метою статті є поєднання властивостей багаторівневих та безпосередніх ПЧ в одному схемотехнічному рішенні.

© Антонов М. Л., 2014

Матеріал дослідження. МПЧ, створений за принципом матриці 3x3, має в своїх вузлах повністю керовані силові напівпровідникові ключі, які складаються з двох IGBT-транзисторів шунтованих зворотними діодами та з'єднаних зустрічно-послідовно [8]. Тобто МПЧ містить 18 IGBT-транзисторів. Як зазначалося, МПЧ відноситься до БПЧ, тобто напруга на обмотках статора асинхронного двигуна формується безпосередньо з вхідної напруги мережі. Система керування має обрати відповідний рівень вхідної лінійної напруги: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}. Ці значення мають широкий діапазон зміни й не можуть завжди використовуватися для побудови декількох рівнів напруги. Наприклад, якщо напруга U_{AB} має максимальне значення за модулем, то напруги U_{BC} та U_{CA} рівні між собою за модулем, що створює передумови для отримання двох рівнів вхідного сигналу в колі постійного струму. В свою ж чергу, якщо напруга U_{AB} дорівнює нулю, то напруги U_{BC} та U_{CA} теж рівні між собою за модулем, але не можуть формувати різні значення напруги в колі постійного струму [9 – 10].

Методом створення постійно існуючої дворівневої напруги в колі постійного струму є формування нульової точки у поєднання з класичною трифаз-

ною мостовою схемою випрямлення змінної напруги. Все це дозволить використати трирівневий автономний інвертор напруги в якості перетворювача постійного напруги в змінну. Запропонована силова частина електричної схеми трирівневого безпосереднього перетворювача частоти (ТБПЧ) представлена на рис. 1. Принцип роботи запропонованого ТБПЧ полягає в тому, що в полі постійного струму формується три різні потенціали. Максимальний (P) та мінімальний (N) потенціали формуються за допомогою активного випрямляча (АВ) виконаного на основі реверсивної за струмом трифазної мостової схеми. Нульова точка (0) формується за допомогою фільтра мережі (ФМ), який складає з трьох ідентичних конденсаторів змінного струму з'єднаних за схемою «зірка». Отже, маючи три потенціали в колі постійного струму можна використовувати трирівневий автономній інвертор напруги (ТАІН).

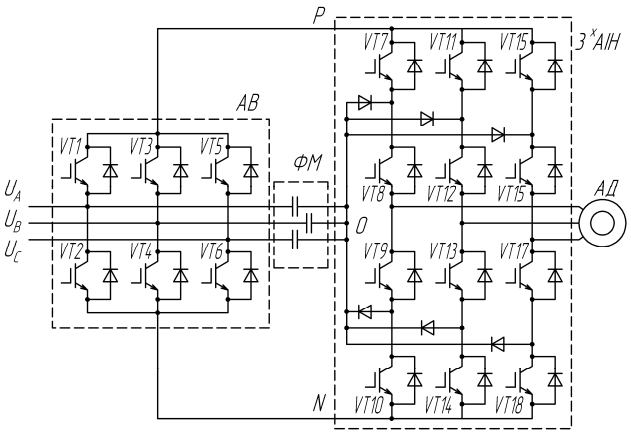

Рис. 1. Силова частина ТБПЧ

З аналізу впливу вхідної напруги U_A, U_B, U_C на потенціали точок P, 0 та N можна отримати напруги U_{PO}, U_{ON}, U_{PN} в колі постійного струму.

Виходячи з можливих комбінацій ТАІН та опираючись на напруги U_{PO}, U_{ON}, U_{PN} в колі постійного струму можна побудувати векторну діаграму можливих узагальнених векторів вихідної напруги ТАІН. Отже, пульсація випрямленої напруги вносить суттєві коливання узагальненого вектора вихідної напруги ТАІН.

В якості способу керування асинхронним електроприводом використаємо скалярне керування з опорний сигналом, що має частоту 1 кГц. Перехідні процеси з використання асинхронного двигуна 4А132М6У3 наведені на рис. 2. На рис. 2, а показує, що перехідний процес запуску двигуна, з додаванням номінального активного навантаження в 0,5 с, повністю відповідає нормованому [6, 10]. Напруга та струм в одній з фаз асинхронного двигуна показані на рис. 2, б. Форма напруги має більш наближену форму до синусоїдальної з ТАІН у порівнянні з АІН. Коефіцієнт гармонік за струмом становить менше 2 %.

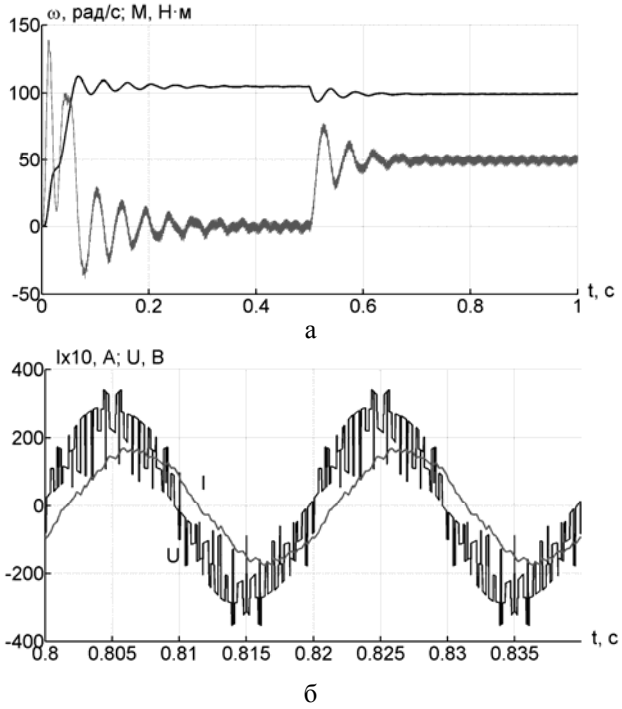

Рис. 2. Перехідні процеси в ТБПЧ

Зазначений результат досягається вибором найближчого узагальненого вектора вихідної напруги ТАІН до заданого вектора з відомим значення амплітуди та кута. Завдяки несталому значенню напруг U_{PO}, U_{ON}, U_{PN} в колі постійного струму узагальнений вектор вихідної напруги ТАІН буде мати траєкторію, наведену на рисунку 3.

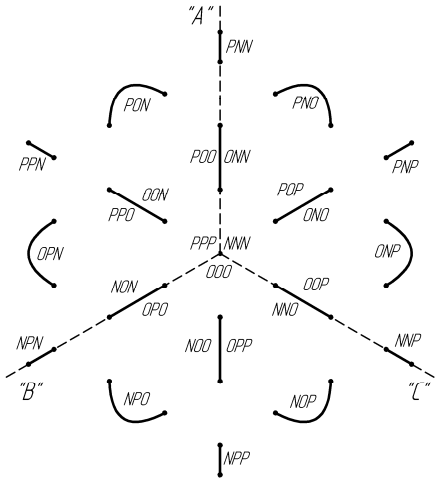

Рис. 3. Траєкторія руху узагальненого вектора вихідної напруги ТАІН

Висновок. Розглянутий ТБПЧ показує можливість побудови асинхронного електропривода на його основі. ТБПЧ зі скалярним керуванням має покращені енергетичні показники у порівнянні з АІН. Відомі векторні принципи керування неможливо використати через значні пульсації напруги в ланці постійного струму. Все це показує доцільність подальших досліджень з різними принципами та структурами керування.

Список використаної літератури

1. Klumpner C.A., Lee M., Wheeler P., (2006), New Three-Level Sparse Indirect Matrix Converter, *Proceedings of IEEE Industrial Electronics Conference.* – Nov. 2006, pp. 1902 – 1907.

2. Чехет Э. М. Непосредственные преобразователи частоты для электропривода [Текст] / Э. М. Чехет, В. П. Мордач, В. Н. Соболев. – К. : Наук. думка, 1988. – 224 с.

3. Ефимов А. А. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока [Текст] / А. А. Ефимов, Р. Т. Шрейнер. – Новоуральск : Изд. НГТИ, 2001. – 250 с.

4. Изосимов Д. Б. Улучшение качества энергопотребления полупроводниковыми преобразователями с ШИМ [Текст] / Д. Б. Изосимов, С. Е. Рывкин // Электричество. – 1996. – № 4. – С. 48 – 55.

5. Шрейнер Р. Т. Концепция построения двухзвенных непосредственных преобразователей частоты для электроприводов переменного тока [Текст] / Р. Т. Шрейнер, А. А. Ефимов, А. И. Калыгин, К. Н. Корюков, И. А. Мухаматшин // Электротехника. – 2002. – № 12. – С. 30 – 39.

6. Пивняк Г. Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией [Текст] / Г. Г. Пивняк, А. В. Волков. – Дніпропетровськ : НГУ, 2006. – 470 с.

7. Полищук П. И. Электропривод переменного тока с IGBT-транзисторным преобразователем: электромагнитная совместимость и качество электроэнергии [Текст] / П. И. Полищук // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія та практика. – Дніпродзержинськ : ДДТУ. – 2007. – С. 403 – 406.

8. Чехет Э. М. Тенденции развития матричных преобразователей для асинхронного электропривода [Текст] / Э. М. Чехет, В. Н. Соболев, В. М. Михальский и др. // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія та практика: Вісник НТУ-ХПІ. – 2005. – Вип. 45. – С. 32 – 37.

9. Шрейнер Р. Т. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода [Текст] / Р. Т. Шрейнер, А. А. Ефимов // Электричество. – 2000. – № 3. – С. 46 – 54.

10. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты [Текст] / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург : Изд-во УРО РАН, 2000. – 654 с.

Отримано 17.07.2014

References

1. Klumpner C.A., Lee M., and Wheeler P., (2006), New Three-Level Sparse Indirect Matrix Converter, *Proceedings of IEEE Industrial Electronics Conference,* Nov. 2006, pp. 1902 – 1907 (In English).

2. Chekhet E.M., Mordach V.P., and Sobolev V.N. Neposredstvennye preobrazovateli chastoty dlya elektroprivoda [Direct Frequency Converters for Electric Drives], (1988), Kiev, Ukraine, *Naukova Dumka*, 224 p (In Russian).

3. Efimov A.A.,and Shreiner R.T. Aktivnye preobrazovateli v reguliruemykh elektroprivodakh peremennogo toka [AC Drives Controlled by Active Converters], (2001), Novoural'sk, Russian Federation, *NGTI*, 250 p (In Russian).

4. Izosimov D.B., and Ryvkin S.E. Uluchshenie kachestva energopotrebleniya poluprovodnikovymi preobrazovatelyami s ShIM [Improving the Quality of Power Semiconductor Converters with PWM], (1996), *Elektrichestvo*, Russian Federation, No. 4, pp. 48 – 55 (In Russian).

5. Shreiner R.T., Efimov A.A., Kalygin A.I., Koryukov K.N., and Mukhamatshin I.A. Kontseptsiya postroeniya dvukhzvennykh neposredstvennykh preobrazovatelei chastoty dlya elektroprivodov peremennogo toka [Concept of Building Direct Frequency Converters for AC Drives], (2002), *Elektrotekhnika*, Russian Federation, No. 12, pp. 30 – 39 (In Russian).

6. Pivnyak G.G., and Volkov A.V. Sovremennye chastotno-reguliruemye asinkhronnye elektroprivody s shirotno-impul'snoi modulyatsiei [Modern Variable Speed Asynchronous Electric Drives with PWM], (2006), Dnipropetrovs'k, Ukraine, *NGU*, 470 p (In Russian).

7. Polishchuk P.I. Elektroprivod peremennogo toka s IGBT-tranzistornym preobrazovatelem: elektromagnitnaya sovmestimost' i kachestvo elektroenergii [AC Drives with IGBT-Transistor Inverter: Electromagnetic Compatibility and Power Quality], (2007), *Problemi Avtomatizovanogo Elektroprivoda. Teoriya ta Praktika*, Dniprodzerzhins'k, Ukraine, pp. 403 – 406 (In Russian).

8. Chekhet E.M., Sobolev V.N., and Mikhal'skii V.M. Tendentsii razvitiya matrichnykh preobrazovatelei dlya asinkhronnogo elektroprivoda [Trends Matrix Converters for Asynchronous Electric Drives], (2005), *Problemi Avtomatizovanogo Elektroprivoda. Teoriya ta Praktika*, Kharkiv, Ukraine, Is. 45, pp. 32 – 37 (In Russian).

9. Shreiner R.T., and Efimov A.A. Aktivnyi fil'tr kak novyi element energosberegayushchikh sistem elektroprivoda [Active Filter as a new Element of Energy-Efficient Electric Drive Systems], (2000), *Elektrichestvo*, Russian Federation, No.3, pp. 46 – 54 (In Russian).

10. Shreiner R.T. Matematicheskoe modelirovanie elektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty [Mathematical Modeling of AC Drives with Solid State Frequency Converters], (2000), Ekaterinburg, Russian Federation, *Izd-vo URO RAN*, 654 p (In Russian).

Антонов
Микола Леонідович,
канд. техн. наук. каф. електропривода та автоматизації промислових установок Запорізького нац. технічного ун-ту.
Тел.: +38 (050) 484-06-83.
E-mail: nickanto@mail.ru