

УДК 621.314.54

## КАСКАДНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

**М. Л. Антонов**Запорізький національний технічний університет  
вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна. E-mail: nickanto@mail.ru

Проведено аналіз переваг та недоліків існуючих класичних та багаторівневих перетворювачів частоти. Виявлено спосіб підключення асинхронного двигуна за каскадною схемою. Розглянуто переваги отриманої силової частини приводу. Намічено подальші напрями досліджень.

**Ключові слова:** каскадний перетворювач частоти, асинхронний електропривод.

## КАСКАДНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

**Н. Л. Антонов**Запорожский национальный технический университет  
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина. E-mail: nickanto@mail.ru

Проведен анализ преимуществ и недостатков существующих классических и многоуровневых преобразователей частоты. Вывявлен способ подключения асинхронного двигателя по каскадной схеме. Рассмотрены преимущества полученной силовой части привода. Намечены дальнейшие направления исследований.

**Ключевые слова:** каскадный преобразователь частоты, асинхронный электропривод.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Перетворювачі частоти на основі автономного інвертора напруги (АІН) отримали широке розповсюдження в частотно-регульованому асинхронному електроприводі (ЧРАЕП). Вони використовуються як в електроприводах малої потужності, так й надпотужних високовольтних. Однак залишається актуальною проблема високого значення похідної напруги на виході перетворювача частоти (ПЧ). Ця задача вирішується шляхом застосування пасивних елементів (реакторів та конденсаторів). Недоліком цього методу є неможливість використання багатьох способів керування ЧРАЕП та дещо нижче значення надійності привода в цілому. Альтернативою є використання багаторівневих ПЧ (БПЧ), які зі збільшенням кількості рівнів інвертування мають великі масогабаритні та вартісні показники. Тобто велика кількість силових напівпровідникових ключів (СНПК) і конденсаторів призводить до ускладнення системи та керування, а також технічної реалізації електропривода в цілому.

Останні досягнення перетворювальної техніки в

області багаторівневих перетворювачів надано в роботах [1, 2]. У [2] показано ПЧ, який дозволяє значно зменшити похідну за напругою на виході ПЧ, але потребує великої кількості незалежних джерел живлення. Отже, створення ЧРАЕП на основі ПЧ зі зменшеною кількістю СПНК та джерел живлення у поєднанні зі зменшеним значенням похідної за напругою є актуальною. Метою даної роботи є отримання ЧРАЕП з покращеними масогабаритними та вартісними показниками.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.**

Новим напрямом розвитку силових напівпровідникових перетворювачів, які працюють на трифазне навантаження, є застосування двох АІН [1]. Кожен з цих АІН підключається до початків (А, В, С) та кінців (х, у, z) трифазного навантаження відповідно. Цей метод підключення пропонуємо використовувати в ЧРАЕП, де замість навантаження буде ввімкнено асинхронний двигун (АД). Електричну схему силової частини одного з варіантів такого електропривода показано на рис. 1.

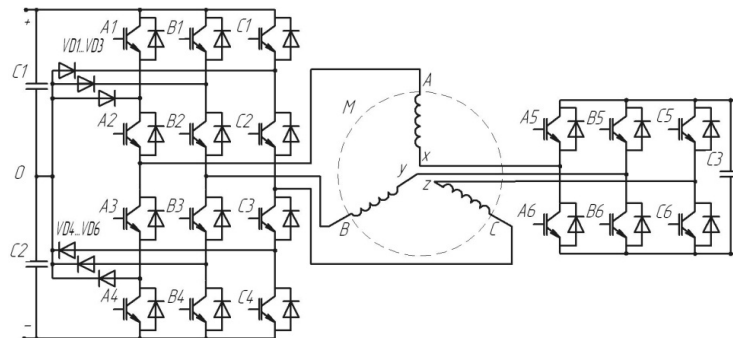


Рисунок 1 – Каскадний 3/2 перетворювач частоти

Такий спосіб підключення називають каскадним включенням ПЧ [1]. При цьому кожен ПЧ може бути реалізований як за класичною схемою на шести СНПК, так й у вигляді БПЧ. Все це однозначно розширює можливості електропривода в цілому.

Як відомо, кількість СНПК визначається за виразом

$$n_{ki} = 6(n_{ri} - 1), \quad (1)$$

де  $n_k$  – кількість СНПК в АІН;  $n_r$  – кількість рівнів інвертування ПЧ;  $i$  – номер ПЧ.

Аналогічно визначається й кількість конденсаторів у колі постійного струму ПЧ:

$$n_{Ci} = n_{ri} - 1. \quad (2)$$

Для визначення результуючого рівня інвертування каскадного перетворювача частоти (КПЧ) необхідно знайти добуток рівнів інвертування кожного ПЧ. При цьому кількість СНПК та конденсаторів знаходиться як сума. Отже, при збільшенні рівнів інвертування кожного з ПЧ отримуємо зменшену кількість СНПК та конденсаторів у КПЧ,

ніж у класичному БПЧ. Порівняння різних варіантів побудови КПЧ зводимо до табл. 1. З аналізу табл. 1 видно, що при двох джерелах живлення КПЧ можливо отримати значно меншу кількість керованих ключів та недостатньо надійних елементів – конденсаторів постійного струму. Схема на рис. 1 відповідає другій строчці табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння каскадних та БПЧ

Кількість рівнів			Кількість СНПК		Кількість конденсаторів	
ПЧ1	ПЧ2	БПЧ	КПЧ	БПЧ	КПЧ	БПЧ
2	2	4	12	18	2	3
2	3	6	18	30	3	5
2	4	8	24	42	4	7
3	3	9	24	48	4	8
3	4	12	30	66	5	11

На рис. 2 зображено векторні діаграми вихідних напруг ПЧ, наведеного на рис. 1. Як видно, вони повністю відповідають шестирівневому ПЧ. При цьому кількість СНПК зменшена на 12, а конденсаторів – на два. Незважаючи на свої переваги, для даної схеми неможливо використати відомі методи керування, оскільки це пов'язано з подачею імпульсів керування на два різні ПЧ. Також неможливо використовувати відомі математичні моделі АД [3], оскільки вони не враховують необхідності підключення джерел живлення до кінців обмоток. Виходом з даної ситуації є створення нових або адаптація відомих математичних моделей АД, які дозволять підключення ПЧ з двох сторін обмоток статора. Також можна перенести конденсатор С3 (відповідно до рис. 1), який є джерелом постійної напруги в колі постійного струму другого ПЧ, у коло між першим перетворювачем та двигуном за особливим алгоритмом.

При використанні імітації роботи конденсатора С3 як алгоритму керування амплітудним способом отримано результат, який показує високу ефективність. Тобто, коефіцієнт гармонік за струмом при максимальній амплітуді вхідного просторового вектора не перевищує 1 % та 4 % – при половині від максимальної амплітуди. При цьому частота комутації силових ключів не перевищувала 1 кГц.

CASCADE CONVERTERS IN ASYNCHRONOUS DRIVE

M. Antonov

Zaporizhzhya National Technical University  
vul. Zhukovskoho, 60, Zaporizhzhya, 69063, Ukraine. E-mail: nickanto@mail.ru

Advantages and disadvantages of the existing classical and multi-level converters are analyzing. Ways to connect the induction motor in a cascade scheme are found. Advantages of power part of electrical drive are obtained. Future directions of research are scheduled.

**Key words:** cascade converter, asynchronous electrical drive.

REFERENCES

1. Timothy L. Skvarenina., The power electronics handbook (Industrial electronics series) // *Purdue University West Lafayette, Indiana.* – 2001. – 673 p.  
2. Shavyolkin A. Ulanov R. Multilevel inverters with an amplitude of output voltage regulation // *Electrical machinery and electrical equipment.* – 2006. – Iss. 66. – PP. 42–43. [in Russian]

3. Volkov A., Antonov N. The digital model of a direct frequency converter with pulse-width modulation for induction motor is loaded // *Electrotechnics and electroenergetics.* – 2003. – № 2. – PP. 67–71. [in Russian]

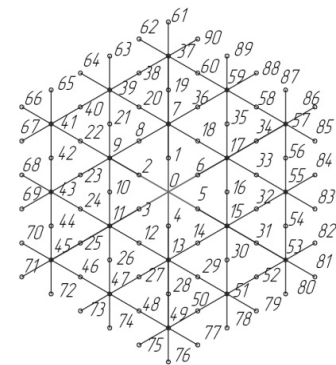


Рисунок 2 – Векторні діаграми вихідних напруг

**ВИСНОВКИ.** Вищезазначене показує необхідність проведення подальших досліджень КПЧ. По-перше, виявлення оптимального способу реалізації силової частини приводу у відомому програмному забезпеченні, яке б урахувало більшість особливостей АД (наприклад, відсутність запасу за напругою тощо). По-друге, запропонувати відповідні закони керування електроприводом у цілому, які б ураховували сумісну комутацію СНПК двох ПЧ. По-третє, надання рекомендацій щодо кількості рівнів інвертування двох ПЧ для різних потужностей та класів напруг, а також частот комутації СНПК. Також планується провести дослідження щодо можливості використання як ПЧ матричних та безпосередніх дволанкових ПЧ за різними схемами виконання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Timothy L. Skvarenina. The power electronics handbook (Industrial electronics series) // *Purdue University West Lafayette, Indiana.* – 2001. – 673 p.  
2. Многоуровневые преобразователи частоты с амплитудным регулированием выходного напряжения / А.А Шавёлкин, Р.В. Уланов // *Электромашиностроения та електрообладнання.* – 2006. – Вип. 66. – С. 42–43.  
3. Цифровая модель непосредственного преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией, нагруженного на асинхронный двигатель / А.В. Волков, Н.Л. Антонов // *Электротехника та електроенергетика.* – 2003. – № 2. – С. 67–71.

Стаття надійшла 25.07.2012.  
Рекомендовано до друку  
к.т.н., доц. Гладирем А.І.