

Фирма ZAKLAD ENERGOELEKTRONIKI «TWERD»  
Национальный университет «Львівська політехніка»

## ТРЕХУРОВНЕВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С НУЛЕВОЙ ТОЧКОЙ И ШИМ-УПРАВЛЕНИЕМ ФИРМЫ «TWERD» ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

**Введение.** В современных условиях перспективным направлением является разработка высоковольтных регулируемых электроприводов переменного тока большой мощности. Целью реализации данного проекта является разработка, производство и внедрение в системы автоматизированного электропривода оригинального преобразователя частоты (ПЧ), построенного по трехуровневой схеме с нулевой точкой и ШИМ (анг. NPC - Neutral Point Clamped Converter).

**Постановка задачи исследования.** Схема силовой части преобразователя частоты, построенного по трехуровневой схеме с нулевой точкой, показана на рис. 1. Идея разработки структуры преобразователя состоит в предложенной топологии трехфазного инвертора, построенного по мостиковой схеме, в котором за счет увеличения количества полностью управляемых коммутирующих элементов можно в несколько раз увеличить выходное напряжение такого преобразователя. Главным преимуществом преобразователей с нулевой точкой, по сравнению с другими многоуровневыми преобразователями, является небольшое количество конденсаторов, используемых в схеме. Несмотря на то, что в такой схеме необходимо включать дополнительные обратные диоды, ее преимуществом также является небольшое количество активных элементов, что снижает капиталовложения и аварийность. Дополнительным преимуществом является то, что схема инвертора подключается к одному промежуточному каскаду, что невозможно в случае каскадного инвертора, построенного на мостиках типа H.

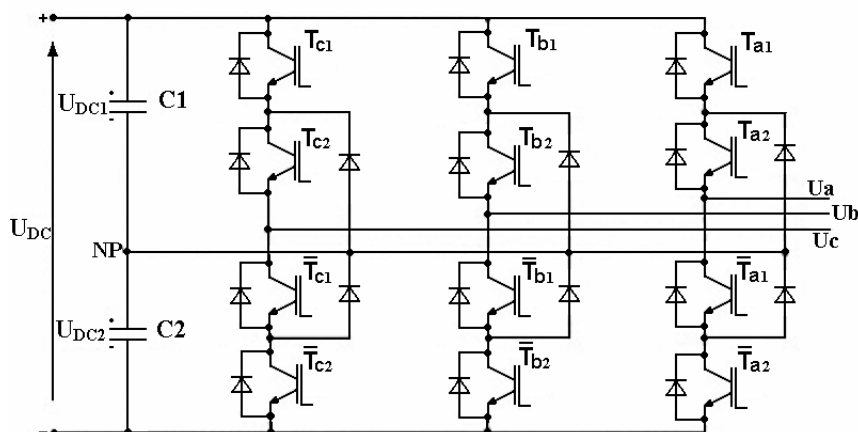


Рис. 1. Структура трехуровневого преобразователя с ШИМ и нулевой точкой.

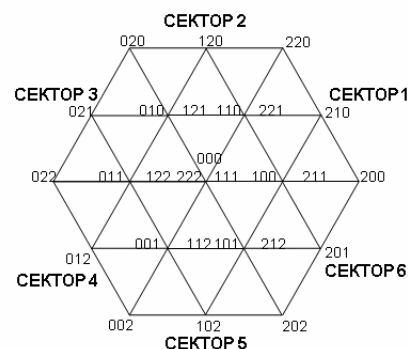


Рис 2. Разделение плоскости  $\alpha\beta$  с разбивкой на секторы длинными векторами и на зоны с помощью коротких и средних векторов.

**Материал исследования.** При разработке ПЧ использован самый распространенный метод двухмерной SVM (пространственной векторной модуляции), который основывается на проекции куба, созданного базовыми векторами  $a$   $b$   $c$ , на плоскость  $\alpha\beta$ . При этом вектор напряжения можно перевести в полярную систему координат согласно следующих выражений:

$$U_{ref} = \sqrt{U_{\alpha}^2 + U_{\beta}^2} \quad ,$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{U_{\beta}}{U_{\alpha}}\right).$$

На рис 2. показано, реализуемое в таком трехуровневом преобразователе, разделение плоскости  $\alpha\beta$  с разбивкой на секторы - длинными векторами и на зоны - с помощью коротких и средних векторов, что дает возможность получить пространственные векторы. При этом такой преобразователь (инвертор) генерирует 27 базовых векторов (рис.2):

- 3 нулевые (000, 111, 222),
- 12 коротких (100, 211, 110, 221, 010, 121, 011, 122, 001, 112, 101, 212),
- 6 средних (210, 120, 021, 012, 102, 201)
- 6 длинных (200, 220, 020, 022, 002, 202).

Состояние вектора определяется тремя позициями. Первая из них касается транзисторов в цепи фазы а (Рис. 1), вторая – транзисторов цепи фазы b, третья – транзисторов фазы с. Режимы включения транзисторов, которые формируют определенные состояния вектора, обеспечивает система управления.

С целью улучшения энергетических показателей ПЧ, в нем предусмотрено автоматическое переключение топологии силовой схемы: при частотах выходного напряжения ( $f_{пч}$ ) ниже 25 Гц схема включается по двухуровневой топологии, а при  $f_{пч}$  выше 25 Гц – по трехуровневой.

Применение трехуровневого DC / AC преобразователя обеспечит его хорошие статические характеристики при малой частоте переключений транзисторов преобразователя. Следует обратить внимание на низкое содержанием высших гармоник, генерируемых на выходе такого преобразователя, благодаря трехуровневой топологии. Это позволяет снизить индуктивность фильтра на выходе преобразователя и, следовательно, уменьшить его размеры (что особенно важно, например, в нефтедобычи) а также сократить расходы.

Модуль системы управления преобразователя реализован при использовании нового драйвера на базе 32-битного сигнального процессора TMS320F2812. Применение таких процессоров позволяет реализовать сложный алгоритм управления ШИМ и повысить эффективность преобразователя. Разработанный в Институте проблем управления и промышленной электроники (Варшава) способ управления ШИМ [1,2] снижает потери на переключения IGBT при одновременном обеспечении выравнивания напряжений на конденсаторах промежуточного звена постоянного тока.

Серия ПЧ с трехуровневой топологией, которым присвоен фирменный символ MFC810M, предназначена для управления асинхронными двигателями с номинальным напряжением до 1140В. Корпус ПЧ имеет относительно небольшие размеры со степенью защиты IP00 и предусматривает установку в шкафу или другом корпусе, в котором также устанавливаются электрические аппараты защиты и дополнительные элементы автоматизации. В ПЧ предусмотрено охлаждение жидкостью, но его можно адаптировать к принудительному воздушному охлаждению.

Приоритетом при разработке ПЧ была малогабаритная конструкция и модульное исполнение с целью упрощения его обслуживания в сложных условиях нефте- и горнодобывающей промышленности. Все внутренние и внешние соединения реализованы таким образом, чтобы время, необходимое для монтажа и демонтажа всего ПЧ или его части (модуля), было как можно короче. В ПЧ предусмотрены следующие виды защиты: от короткого замыкания, от пониженного или повышенного напряжения, от перегрузки по току и от превышения температурой допустимого уровня. ПЧ типа MFC810M имеет много общих схемотехнических решений с ПЧ серии MFC710, а именно: интерфейс пользователя, аппаратное и программное обеспечения, включая панель оператора.

Предполагается разработка серии преобразователей частоты MFC810M мощностью от 50кВт до 630 кВт для использования в электроприводах конвейеров, вентиляторов, насосов и т.п. В пределах проекта в настоящее время разработан коммерческий вариант трехуровневого ПЧ (такое решение продиктовано высокими затратами на изготовление преобразователя) со следующими параметрами:

- мощность - 630 кВт;
- постоянное напряжение промежуточной цепи -1800В;
- выходное напряжение -1150В;
- диапазон регулирования напряжение/частота  $0 \dots U_n [В] / 0,0 \dots 400 [Гц]$ .

В модуле системы управления, кроме платы сигнального процессора TMS320F2812, находится главная (материнская) плата с блоком питания, устройствами измерения и управления, а также схемами ввода-вывода, имеющимися в распоряжении пользователей. Модуль системы управления питается от источника переменного напряжения 230В, который гальванически развязан от источника, питающего силовые модули ПЧ (3x1140В).

Силовая часть такого ПЧ (Рис.4) состоит из трех одинаковых силовых модулей (MFC810-WMX - по одному на каждую фазу) и модуля управления (MFC810-WM). Силовые модули связаны друг с другом шинами цепи постоянного тока, которые расположены на лицевой части преобразователя. В дополнение к традиционной гальванической развязке, применяемой, в частности, в цепях измерения выходных токов, температуры радиатора а также схем управления первоначальной зарядкой конденсатора, в MFC810M для передачи сигналов управления на IGBT использованы световоды. Это решение позволяет рассредоточить силовые и другие модули ПЧ в шкафу. Каждый силовой модуль ПЧ WM10 смонтирован на плате радиатора, который охлаждается вентилятором. На ней крепятся транзисторы инвертора напряжения (2MBI400U4H-120), диодно-тиристорный модуль выпрямителя (TD240N32KOF), а также резисторы аварийно-разрядной цепи постоянного тока DC (UXP600) и датчик выходного тока (HAT-1000S). Непосредственно на входе ПЧ смонтирована защита от коммутационных перенапряжений.

Проведены испытания такого ПЧ на стенде фирмы при использовании асинхронного двигателя мощностью 110кВт. На рис. 3-5 показаны осциллограммы некоторых результатов испытаний. При этом приняты следующие обозначения: Инагр. – ток на выходе ПЧ; Uвых. – линейное напряжение на выходе ПЧ; Udc1, Udc2 – напряжения промежуточного звена постоянного тока ПЧ.

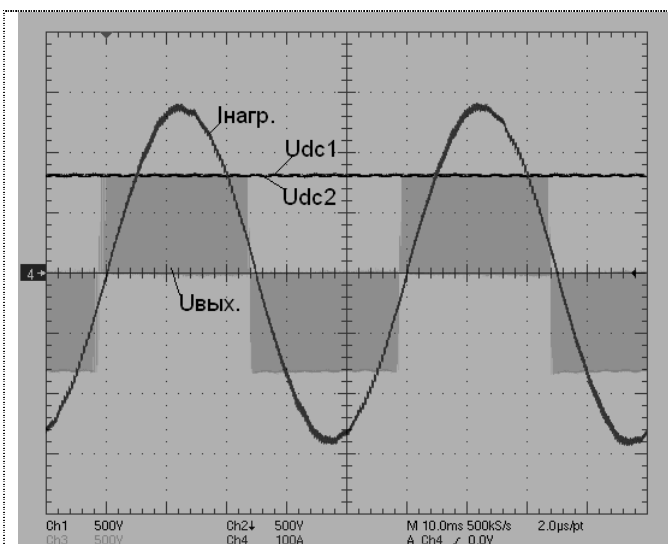


Рис.3. Установившийся режим работы ПЧ при двух-уровневой топологии силовых элементов:  $f_{пч} = 20\text{Гц}$ ,  $I_{нагр.} = 200\text{А}$ ,  $U_{dc1} = 805\text{В}$ ,  $U_{dc2} = 815\text{В}$ .

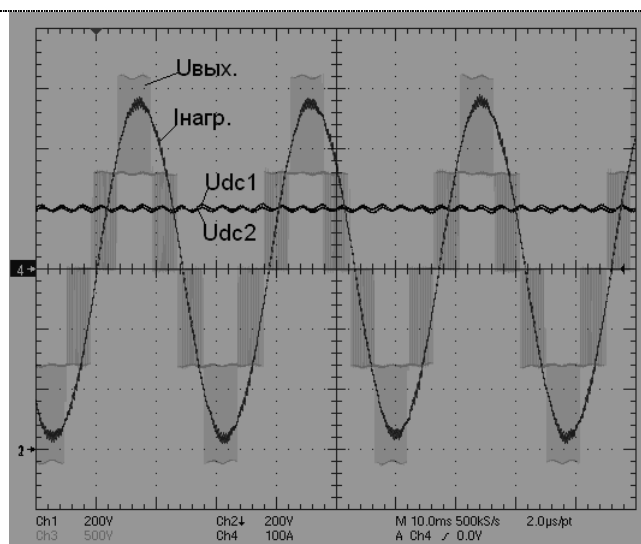


Рис.4. Установившийся режим работы ПЧ при трех-уровневой топологии силовых элементов:  $f_{пч} = 35\text{Гц}$ ,  $I_{нагр.} = 200\text{А}$ ,  $U_{dc1} = 799\text{В}$ ,  $U_{dc2} = 801\text{В}$ .

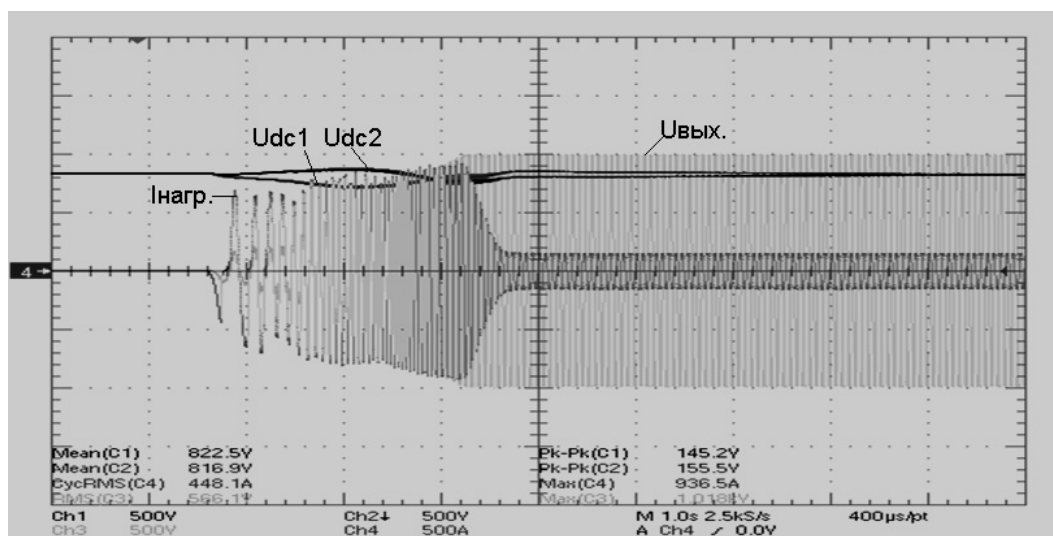


Рис.5. Пуск системы электропривода:  $f_{пч} = 35\text{Гц}$ ,  $U_{вых} = 566\text{В}$ ,  $U_{dc1} = 822\text{В}$ ,  $U_{dc2} = 816\text{В}$ .

#### Выводы:

- трехуровневая топология схемы силового инвертора существенно улучшает форму напряжения на его выходе за счет уменьшения содержания высших гармоник;
- проведенные испытания подтвердили хорошие технико-экономические показатели предложенного ПЧ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тверд М., Зеленский И., Копчак Л.С., Копчак Б.Л. Универсальный преобразователь частоты для электроприводов переменного тока. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. «Силова електроніка та енергоефективність». Частина 1. 2004. С.19-20.
2. Тверд М., Зеленский И., Копчак Л.С., Копчак Б.Л. Преобразователь частоты с векторным управлением и расширенными функциональными возможностями // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. Випуск 45. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2005.