

Фирма ZAKLAD ENERGOELEKTRONIKI "TWERD"  
Национальный университет "Львівська політехніка"

## СОВРЕМЕННЫЙ ЧЕТЫРЕХКВАДРАНТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ШИМ-УПРАВЛЕНИЕМ И СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМОЙ ТОКА, ПОТРЕБЛЯЕМОГО ИЗ СЕТИ

Основопологающими недостатками диодных выпрямителей, применяемых повсеместно в системах питания, является: большой коэффициент искажения формы тока THD (*ang. Total Harmonic Distortion*) а также однонаправленное протекание энергии.

Альтернативным решением является трехфазный выпрямитель с модулируемой шириной импульсов (выпрямитель MSI, в дальнейшем «преобразователь»), обобщенная схема которого показана на рис. 1. Идея построения такого преобразователя основана на решениях, применяемых в преобразователях частоты для электроприводов переменного тока [1]. Система состоит из цепи нагрузки постоянного тока, преобразовательного моста на IGBT а также реактивного согласующего элемента. Реактивный элемент на входе согласует энергетическую сеть с системой и является крайне важным для нормальной ее работы. Его заданием является удержание непрерывности тока во время работы системы на активную нагрузку. Используя определенный алгоритм управления транзисторами моста IGBT, можно в нормальных условиях получить синусоидальное потребление тока из сети а также двунаправленную передачу энергии между нагрузкой и источником питания. Применение LC фильтра как согласующего элемента улучшает параметры системы, но при этом на стадии проектирования необходимо обратить особое внимание на вредное явление резонанса, которое может возникать на определенных частотах модуляции. Решения этой проблемы возможно при использовании так называемых „активных фильтров” в которых дополнительно применяется способ активного подавления резонанса (*англ. Active Dumping*) [2].

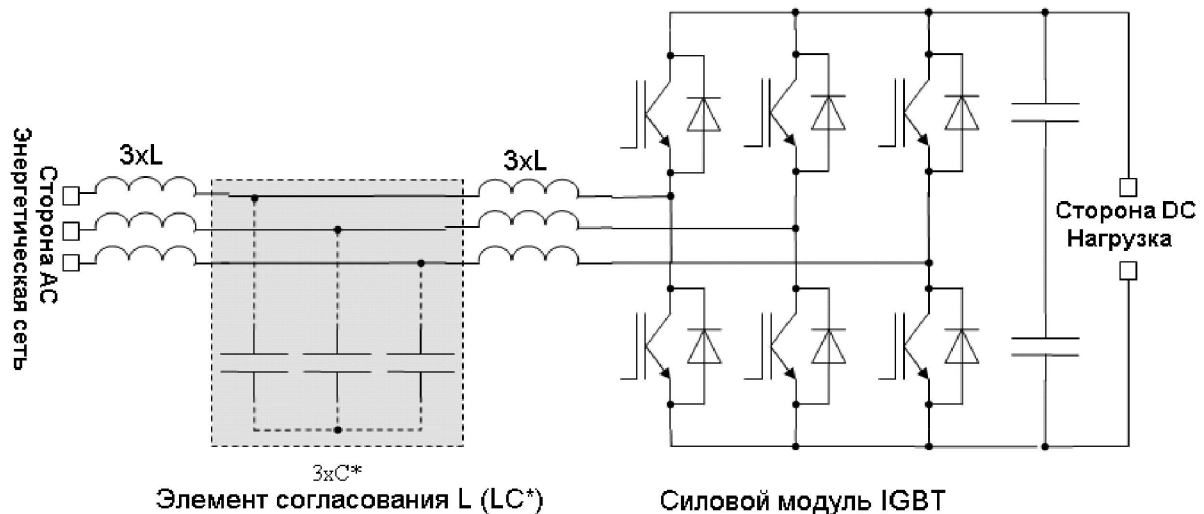


Рис. 1 Схема выпрямителя MSI (\*система с активным фильтром)

Схема замещения выпрямителя MSI показана на рис.2.

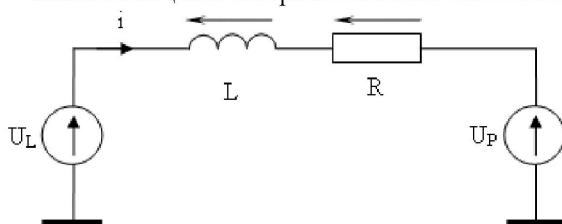


Рис. 2 Схема замещения выпрямителя MSI

Выход IGBT преобразователя представляет собой управляемый источник напряжения  $u_p$ , с помощью которого можно побочно контролировать амплитуду а также фазу тока  $i$ . Принимая во внимание факт, что пульсация напряжения на выходе преобразователя связана с пульсацией напряжения сети  $u_L$ , то информацию о фазе и амплитуде тока можно получить контролируя величина напряжения  $u_p$ , а также его фазовый сдвиг относительно сетевого напряжения.

Предлагаемый преобразователь MSI реализует алгоритм непосредственного управления мощностью с обратной связью по виртуальному потоку сети VF-DPC (*англ. Virtual Flux – Direct Power Control*) и базируется на использовании замкнутого контура регулирования по мгновенной активной и реактивной мощности.

Применяя определение пространственного вектора для симметричной трехфазной системы, на рис. 3 показаны два состояния работы преобразователя MSI. В обоих случаях заложен одинаковый коэффициент мощности, а также не учитываются малые активные сопротивления обмоток согласующего элемента. В случае, который показан на рис. 3.а, если вектор напряжения сети  $U_L$  опережает в фазе вектор напряжения выпрямителя  $U_p$ , то система получает энергию из источника и поставляет ее в нагрузку. Амплитуда и фаза вектора  $U_p$  могут быть подобраны таким образом, чтобы вектор тока  $I$  совпал по фазе с вектором  $U_L$ . Это соответствует режиму работы выпрямителя..

В случае показанном на рис. 3.б, если вектор напряжения сети  $U_L$  отстает по фазе от вектора напряжения выпрямителя  $U_L$ , тогда энергия, накопленная в контуре постоянного тока (DC), будет передаваться к источнику (энергетической сети). Это инверторный режим работы.

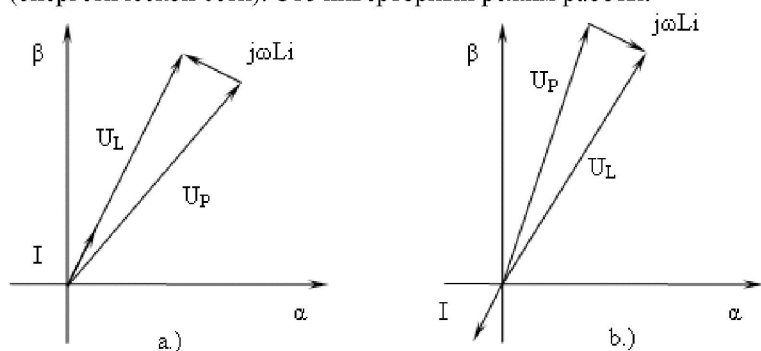


Рис. 3 Влияние выходного напряжения на выходе моста IGBT на амплитуду и фазу тока а) работа в режиме выпрямителя, б) работа в режиме инвертора, где  $U_L$  – вектор напряжения сети,  $U_p$  – вектор напряжения преобразователя MSI,  $j\omega Li$  – вектор падения напряжения на реактансе L,  $I$  – вектор тока.

Электроприводы с преобразователями и активным типом нагрузки, например, движущиеся комплексы подъемников или кранов, в определенных режимах генерируют электрическую энергию. Данная энергия образуется в режиме интенсивного генераторного торможения и должна быть дополнительно утилизированная. Чтобы не произошло пробивание в цепи DC в результате роста напряжения, повсеместно применяют разрядные резисторы, которые рассеивают энергию в виде тепла. Такое решение проблемы является энергетически неэффективным и, кроме того, резисторы часто выходят из строя и их необходимо менять. Применение

выпрямителя MSI при решениях такого типа задач является экономически выгодным, как с точки зрения энергетического баланса и затрат на эксплуатацию, так и с точки зрения обеспечения необходимого качества электрической энергии. Кроме того имеется возможность объединения ПЧ малой мощности, которые питаются от отдельных выпрямителей (шина DC), к выходу одного мощного преобразователя MSI (рис.4 ).

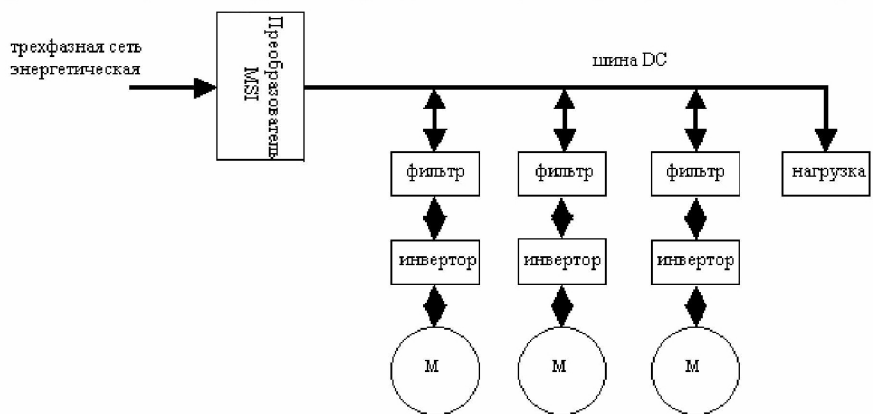


Рис. 4. Схема питания группы ПЧ от общего преобразователя МСИ

Предлагаемый преобразователь можно использовать не только в системах питания ПЧ, но и в случаях, когда необходимо получать энергию от альтернативных и возобновляемых источников, например от автономных гидро- или ветроэлектроустановок. Такие преобразователи дают возможность подключать генераторы автономных источников к энергосистеме страны и при этом нет необходимости в механической синхронизации и поддержании постоянной частоты со стороны вала генератора. Энергия в таких преобразователях передается через звено постоянного тока, которое является буфером, а затем проходит через инвертор. Таким образом функцию синхронизации с сетью возложено на элементы энергоэлектроники.

В фирме Z.E. Twerd разработан и изготовлен опытный образец такого преобразователя мощностью 55кВт и проведены его лабораторные испытания с использованием в качестве нагрузки ПЧ типа MFC710 мощностью 7,5кВт и 37кВт. Индуктивность согласующего элемента составляла 2,5мГн. Часть результатов испытаний показана на рис.5.

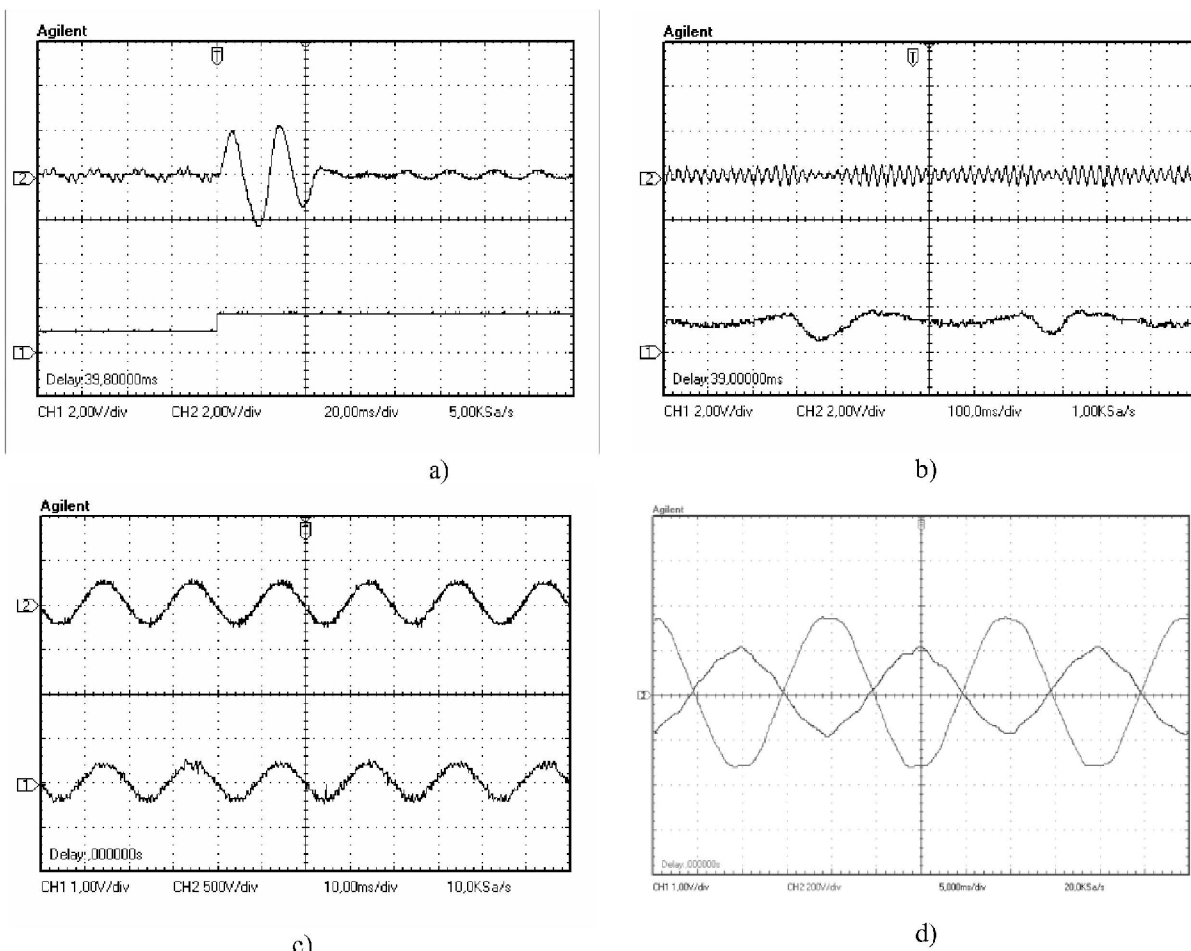


Рис. 5. Испытания: а) переключение системы из режима питания от диодного моста в режим питания от преобразователя MSI (1- сигнал режима работы, 2 - ток в фазе L1 5А/дел); б) работа от преобразователя при динамическом изменении нагрузки (1- мощность, потребляемая нагрузкой 10кВт/дел, 2 - ток в фазе L1 20А/дел); в) режим выпрямителя (1- ток в фазе L1 20А/дел, 2 - фазовое напряжение L1 500V/дел); д) режим инвертора (1-ток в фазе L1 20А/дел, 2 - фазовое напряжение L1 200V/дел);

Разработанный преобразователь был также испытан на опытном образце генератора для малых гидро турбин который был реализован для СЕDІ по совместному договору с Краковской Политехникой.

Полученные результаты испытаний позволяют сделать выводы, что преобразователь MSI VF-DTC является ценной альтернативой для систем питания, содержащих выпрямители (звено постоянного тока), и имеет следующие преимущества :

- отсутствие датчиков для измерения фазного напряжения,
- защищенность от ошибок в алгоритмах управления,
- отсутствие необходимости измерения активной и реактивной составляющей тока,
- хорошая динамика,
- низкий коэффициент гармоник (THD),

### Література.

1. Тверд М., Боневич П., Зеленский Й., Копчак Л.С. Электропривод с бесколлекторным двигателем для глубинного насоса нефтедобычи. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. "Харьков НТУ" ХПИ, 2003, №13.
2. M. Malinowski, M. Jasinski, M.P. Kazmierkowski: „Simple Direct Power Control of Three-Phase PWM Rectifier Using Space Vector Modulation”, IEEE Trans. On Ind. Electronics, Vol.51 , No. 2, 2004, pp. 447-454.