

## **КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТИ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

***А.А. Радионов, А.С. Маклаков***

*Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)*

*Россия, г. Челябинск*

*radionovaa@rambler.ru, maklakovsasha@yandex.ru*

### ***Аннотация***

В статье рассмотрен режим компенсации реактивной мощности в сети активным выпрямителем напряжения (АВН) в составе электропривода переменного тока. Исследования проводились методом математического моделирования на ЭВМ в пакете визуального программирования Simulink математического пакета Matlab. Анализ полученных результатов показал, что электропривод в составе с АВН имеет возможность компенсации потребляемой или генерируемой соседними нагрузками в сети реактивной мощности в достаточно больших пределах. Пределы компенсации реактивной мощности зависят от условий работы электропривода в составе с АВН.

***Ключевые слова:*** электропривод, активный выпрямитель напряжения, компенсация реактивной мощности, математическое моделирование.

## **COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN GRID WITH THE HELP OF PWM BOOST RECTIFIER**

***A.A. Radionov, A.S. Maklakov***

*South Ural State University (National Research)*

*Russia, Chelyabinsk*

*radionovaa@rambler.ru, maklakovsasha@yandex.ru*

### ***Abstract***

This article deals a mode of a compensation of reactive power in a grid with the help of an AC drive with PWM Boost Rectifier. Studies were conducted by mathematical modeling on a computer in a visual programming package Simulink of mathematical package Matlab. Analysis of the results has shown that the electric drive with PWM Boost Rectifier can compensate the reactive power consumed or generated by the adjacent loads in a wide range. Limits of the compensation range depend on the operation condition

of the electric drive with PWM Boost Rectifier.

**Key words:** electric drive, PWM Boost Rectifier, compensation of reactive power, mathematic modeling.

### ***Актуальность работы***

В настоящее время существуют различные потребители электрической энергии, для питания которых требуется регулируемое качественное постоянное напряжение или ток и возможность осуществлять рекуперацию энергии. Этими потребителями в основном являются промышленные электроприводы, на долю которых приходится более чем 70% всей потребляемой энергии в мире. Современные AC-DC преобразователи в составе электроприводов переменного и постоянного тока могут обеспечивать двусторонний обмен энергией с сетью, близкий к синусоидальному входной ток, возможность получения близкого к единице коэффициента мощности и осуществлять обмен с сетью реактивной мощностью [1].

### ***Основные проблемы и решения. Цель работы***

Основная часть потребителей электрической энергии, с точки зрения питающей сети, являются нелинейными нагрузками, что как следствие приводит к искажению формы потребляемого из сети тока и разбалансу по активной и реактивной мощности [2].

Активные выпрямители (АВ), в международной практике именуемые как AFE (Active Front End), в настоящее время нашли широкое применение в промышленных электроприводах, в системах автоматического регулирования координат технологических установок, автоматизированных системах управления технологическими процессами, и т.п. Наиболее популярной схемой преобразователя, применяемой для питания промышленных электроприводов, стала схема трёхфазного мостового активного выпрямителя напряжения (АВН), в международной практике именуемая как (PWM Boost Rectifier), и активного выпрямителя тока (АВТ) [3,5].

Принцип работы АВН позволяет реализовать регулирование коэффициента мощности электрической сети, который, по сути, является показателем эффективного использования электрической энергии. Управление АВН в режимах компенсации реактивной мощности является одним из эффективных путей повышения коэффициента мощности сети [6].

Целью настоящей работы является анализ режима компенсации реактивной мощности в сети с помощью АВН в составе электропривода переменного тока.

### ***Управление активным выпрямителем напряжения***

АВН представляет собой быстродействующий сетевой инвертор напряжения с конденсатором в звене постоянного тока, присоединённый к трёхфазной цепи переменного тока. Один из вариантов функциональной схемы векторного управления активным выпрямителем представлен на рис. 1.

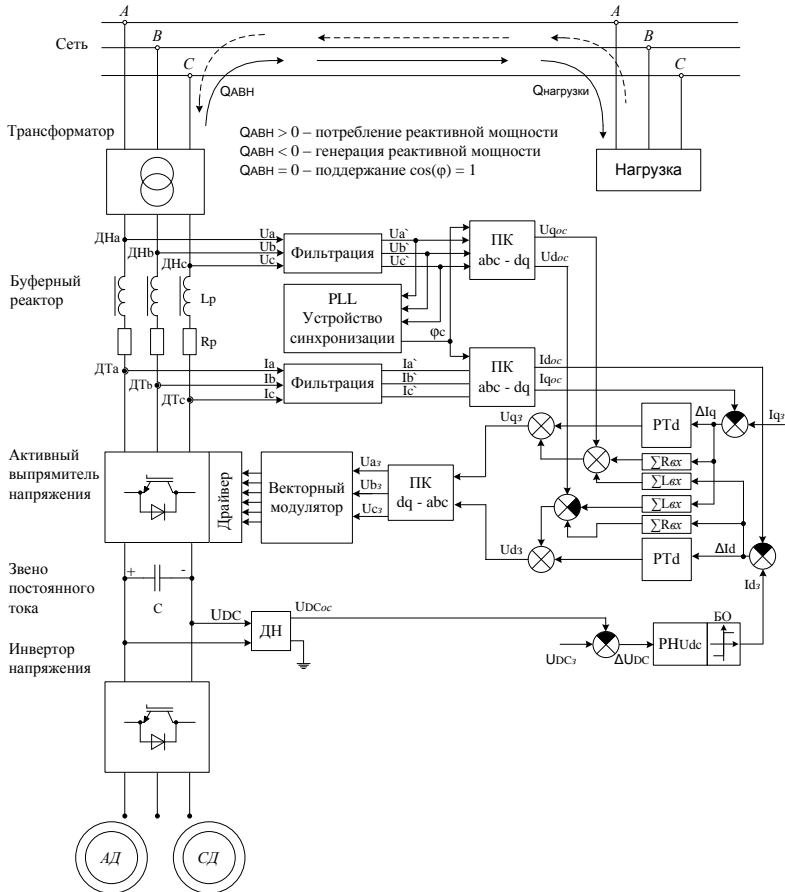


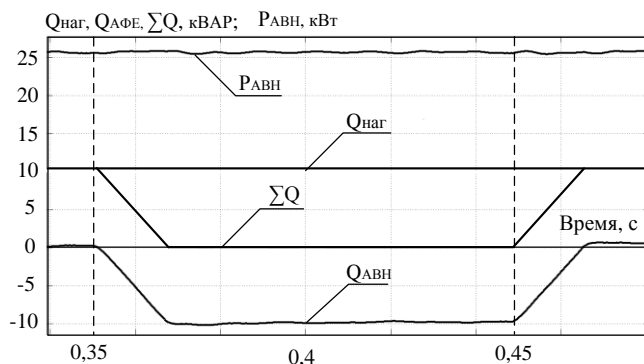
Рис. 1. Функциональная схема векторного управления активным выпрямителем

На стороне переменного тока в цепи обратной связи по напряжению и току предусмотрена система фильтрации сигналов. Затем очищенные от высших гармоник сигналы поступают в устройство синхронизации PLL и в преобразователи координат  $abc \rightarrow dq$  вектора сетевых фазных токов и напряжений, измеряемых датчиками ДТ<sub>a</sub>, ДТ<sub>b</sub>, ДТ<sub>c</sub>

и, соответственно,  $ДН_a$ ,  $ДН_b$ ,  $ДН_c$ . Сигналы обратной связи по току и напряжению в системе координат  $dq$  поступают на входы и выходы регуляторов тока  $PT_d$  и  $PT_q$ , как показано на рис. 1. Рассогласования между заданными и фактическими значениями преобразованных токов обрабатываются регуляторами токов и после дополнения сигналами компенсации перекрёстных связей поступают на вход преобразователя координат  $dq \rightarrow abc$ . В результате обратного преобразования координат формируются управляющие воздействия  $U_{a,з}$ ,  $U_{b,з}$ ,  $U_{c,з}$  на информационном входе векторного модулятора. Внутренняя САР активного тока  $i_d$  подчинена внешнему контуру регулирования напряжения в звене постоянного тока с регулятором напряжения РН  $u_{dc}$  [7, 8]. Задание на вход регулятора реактивного тока  $i_q$  определяет режим работы активного выпрямителя напряжения: генерация реактивной мощности, потребление реактивной мощности или обмен только активной мощностью.

### **Моделирование компенсации реактивной мощности**

Исследования проводились на имитационной математической модели, разработанной в программе Matlab в приложении SIMULINK. Основные параметры модели:  $Q_{нагр}=10$  квар – потребляемая реактивная мощность нагрузки со стороны сети,  $P_{нагр}=25$  кВт – номинальная активная потребляемая со стороны инвертора напряжения. Кривые переходных процессов потребляемой активной мощности  $P_{АВН}$  со стороны инвертора напряжения, потребляемой реактивной мощности нагрузки со стороны сети  $Q_{нагр}$ , генерируемой реактивной мощности активного выпрямителя напряжения  $Q_{АВН}$  и суммарной реактивной мощности  $\Sigma Q$  показаны на рис. 2.



*Рис. 2. Кривые переходных процессов с АВН в режиме компенсации реактивной мощности при работе под нагрузкой*

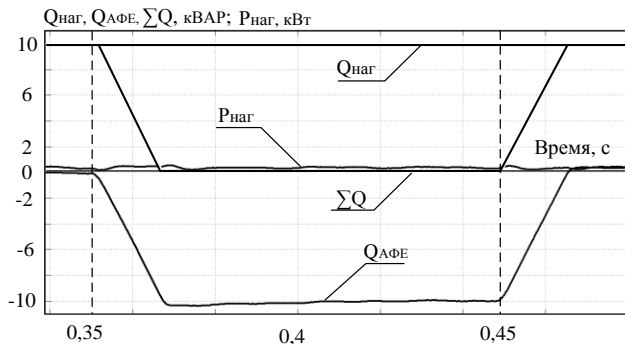


Рис. 3. Кривые переходных процессов с АВН в режиме компенсации реактивной мощности при работе без нагрузки

До момента времени  $t_1=0,35$  с активный выпрямитель работает в выпрямительном режиме с поддержанием  $\cos\varphi=1$ . Параллельно с АВН к сети подключена нагрузка с потреблением реактивной мощности в размере 10 квар. С момента времени  $t_1=0,35$  с, до момента  $t_2=0,45$  с, АВН переходит и работает в режиме компенсации реактивной мощности. Суммарное потребление реактивной мощности в сети становится равной нулю. На рис. 3. Показаны аналогичные кривые переходных процессов, что и на рис. 2, при работе АВН без нагрузки.

С момента времени  $t_1=0,35$  с, до момента  $t_2=0,45$  с, АВН работает в режиме статического компенсатора реактивной мощности.

### **Выводы**

Анализ полученных результатов показал возможность работы АВН в режиме компенсации реактивной мощности, не влияя на режим работы электропривода. В периоды времени, когда электропривод работает на холостом ходу или загружен не на максимальную мощность, АВН может дополнительно работать в режиме статического компенсатора реактивной мощности. Данный способ управления АВН позволяет повысить результирующий коэффициент мощности сети в моменты разбаланса по активной и реактивной мощности.

### **Список литературы**

1. Brando G. Optimized Control of Active Front-Ends to Improve Efficiency and Power Quality in Systems with Closed-Loop Controlled Electrical Drives. / G. Brando, A. Coccia, A. Del Pizzo // Energy Efficiency in Motor Driven Systems. – 2003. – pp. 508-513.
2. Карандаев А.С., Корнилов Г.П., Храпшин Т.Р., Шеметов А.Н.,

Николаев А.А. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. — Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. — №3. — С. 6-11.

3. Храмшин Т.Р., Корнилов Г.П., Николаев А.А., Храмшин Р.Р., Крубцов Д.С. Исследование воздействия активных выпрямителей большой мощности на питающую сеть // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. — №1. — С. 80-83.

4. Radionov A.A., Maklakov A.S. Operating conditions of an induction motor with frequency converter, based on VSI with PWM, and AFE rectifier during voltage // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований'2013». — Вып. 1. Том 5. — Одесса. КУПРИЕНКО, 2013. — ЦИТ: 113-0574. — С. 23-29.

5. Radionov A.A., Maklakov A.S., Karyakina E.A. Studies of influence on network 24-pulse rectifier on basis of thyristor converters // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2013». — Вып. 2. Том 8. — Одесса. КУПРИЕНКО, — ЦИТ: 213-225. 2013. — С. 22–27.

6. Zoubir Boudries, Djamilia Rekioua Ziani Study on Decoupling Direct Power Control of PWM Rectifier Using Space Vector Modulation // Arabian Journal for Science and Engineering. — 2013. — Vol. 38, Is. 4 – P. 875-882.

7. J. S. Siva Prasad, Tushar Bhavsar, Rajesh Ghosh, G. Narayanan Vector control of three-phase AC/DC front-end converter // Sadhana. — 2008. — Vol. 33, Is. 5. — P. 591-613.

8. Маклаков А.С. Анализ работы активного выпрямителя напряжения в режимах компенсации реактивной мощности // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. — 2013. - №1. — С. 43-50.