

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСИРОВАННОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А. Г. Осипов

г. Челябинск, ЮУрГУ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE COMPENSATED RECTIFIER WITH VECTORIAL CONTROL

A.G. Osipov

Chelyabinsk, South Ural State University

В работе рассмотрены результаты экспериментального исследования компенсированного выпрямителя, управление выходными параметрами которого осуществляется с помощью включенного через вольтодобавочный трансформатор автономный инвертор напряжения. Построены регулировочные характеристики, осциллограммы токов и напряжений выпрямителя.

Ключевые слова: компенсированный выпрямитель, автономный инвертор напряжения, векторное управление.

The work present the results of the experimental investigation of the compensated rectifier which output parameters control is implemented with the autonomous voltage inverter connected of the booster transformer. The regulation curves, current and rectifier voltage oscillograph records are plotted.

Keywords: compensated rectifier, autonomous voltage inverter, vectorial control.

Системы электроснабжения энергоемких потребителей постоянного тока со значительными колебаниями постоянного напряжения на нагрузке, как показано в работах [1, 2], целесообразно строить с использованием компенсированного выпрямителя (КВ) с вольтодобавочный автономным инвертором напряжения (АИН). При таком построении наряду с обеспечением плавности регулирования выпрямленного напряжения происходит увеличение коэффициента мощности преобразователя, существенно упрощается выпрямительный агрегат и его система управления.

Для подтверждения указанных положений на базе лабораторного стенда кафедры СЭС были проведены экспериментальные исследования данного выпрямительного агрегата. Согласно принципиальной схеме КВ с вольтодобавочный АИН, изображенной на рис. 1, была собрана схема экспериментальной установки.

Она состояла из двух шестифазных преобразовательных блоков, двух преобразовательных трансформаторов, схемы соединения обмоток которых обеспечивают 12-фазный режим выпрямления, компенсирующего устройства, состоящего из трехфазных реакторов и коммутирующих конденсаторных батарей, вольтодобавочного трансформатора с сетевой обмоткой 80В и обмоткой автономного инвертора напряжения 220В, преобразователя частоты (выпрямитель + АИН) с выходным

фильтром на частоту среза 1,2 кГц. Мощность установки составила 10 кВт.

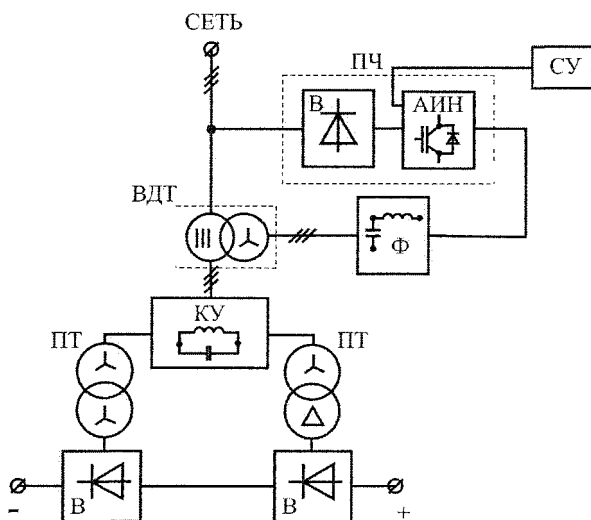


Рис. 1. Принципиальная схема КВ с вольтодобавочным АИН

регулированием напряжения на входе и соответственно на выходе выпрямителя осуществлялось двумя способами. Первый способ - амплитудный. При данном способе регулирования вектор вольтодобавочного напряжения находился либо в фазе, либо в противофазе с напряжением

сети (см. рис. 2). Регулирование осуществлялось изменением амплитуды выходного напряжения инвертора от 20 до 500 В с шагом в 100 В. При фазовом способе регулирования вектор вольтодобавочного напряжения путем изменения фазы инвертора поворачивали относительно вектора напряжения сети в диапазоне от 0° до 360° с шагом в 30° (рис. 2), при этом амплитуда на выходе инвертора сохранялась постоянной (300 В).

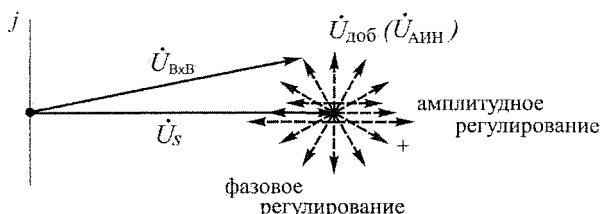


Рис. 2. Векторы напряжений при амплитудном и фазовом способе регулирования

Эксперименты проводились в несколько этапов. На первом этапе преобразователь частоты через вольтодобавочный трансформатор был включен только на активную нагрузку, равную 100 Ом. В данном опыте были определены значения фаз АИН, при которых вектор добавочного напряжения находится в фазе, либо противофазе с напряжением сети. Для использования в дальнейшей работе данные значения фаз приняли соответственно за 0° и 180°.

На втором и третьем этапах эксперимента изучалась работа компенсированного и некомпенсированного выпрямителей (НКВ). В соответствии с алгоритмом изменения амплитуды и фазы напряжения АИН для всех режимов были замерены: ток и напряжение сети, угол между первыми гармониками напряжения и тока сети, напряжение и ток на выходе выпрямителя.

На основании полученных данных на рис. 3 построены регулировочные характеристики для двух способов управления. Проанализируем их.

Характеристики компенсированного и некомпенсированного выпрямителей практически идентичны, однако в случае КВ выпрямленное напря-

жение и соответственно выходная мощность выше. Это объясняется более жесткой его внешней характеристикой по сравнению с НКВ.

Выходные параметры обоих выпрямителей регулируются в широких пределах. Диапазон регулирования при амплитудном управлении составил 320-580 В, при фазовом - 370-530 В. Данный диапазон может быть изменен путем увеличения, либо уменьшения коэффициента трансформации вольтодобавочного трансформатора.

Полученные регулировочные характеристики достаточно просты для аналитического описания, что позволяет существенно упростить построение системы управления агрегата [3].

На основании полученных данных на рис. 4 были построены зависимости изменения угла сдвига фаз между первой гармоникой напряжения и тока сети от изменения амплитуды (а) и фазы АИН (б).

Из полученных графиков видно, что угол ϕ для КВ в случае амплитудного регулирования меняется незначительно и находится в пределах 2°, для некомпенсированного же агрегата среднее значение угла ϕ составляет порядка 14°. Это означает, что во всем диапазоне амплитудного способа регулирования у компенсированного выпрямителя в отличие от некомпенсированного поддерживается высокое значение коэффициента мощности.

При фазовом управлении значения угла ϕ изменяются по синусоидальному закону, с максимальными значениями при 90° и 270°, причем при изменении угла ψ от 0° до 180° в случае КВ происходит генерация реактивной мощности в сеть. Данное обстоятельство можно использовать для компенсации реактивной мощности без применения компенсирующего устройства, для этого, при угле сдвига фаз между $\dot{U}_{доб}$ и \dot{U}_S равном 90° требуется максимально увеличить амплитуду АИН (рис. 5, в). На данном рисунке также изображены осциллограммы напряжений и токов компенсированного (рис. 5, а) и некомпенсированного (рис. 5, б) выпрямителей.

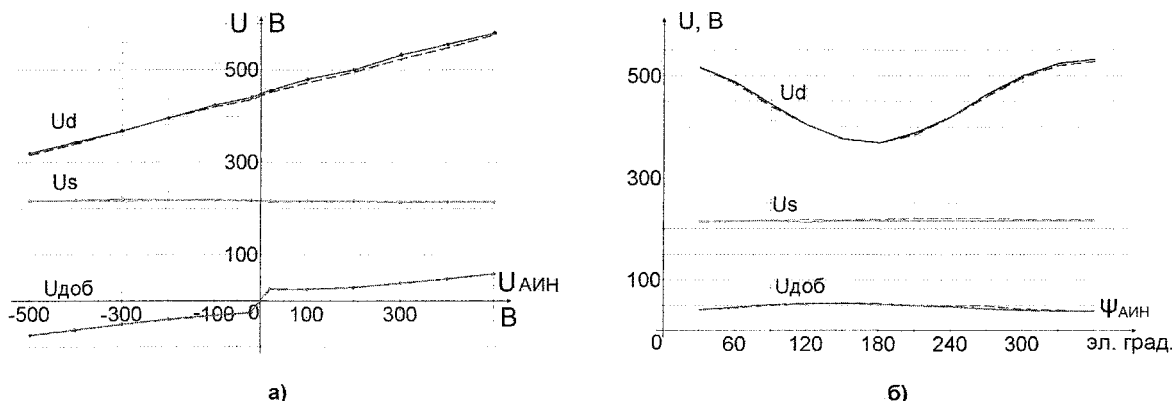


Рис. 3. Регулировочные характеристики компенсированного (сплошные) и некомпенсированного (пунктирные) выпрямителей при изменении амплитуды (а) и фазы (б) АИН

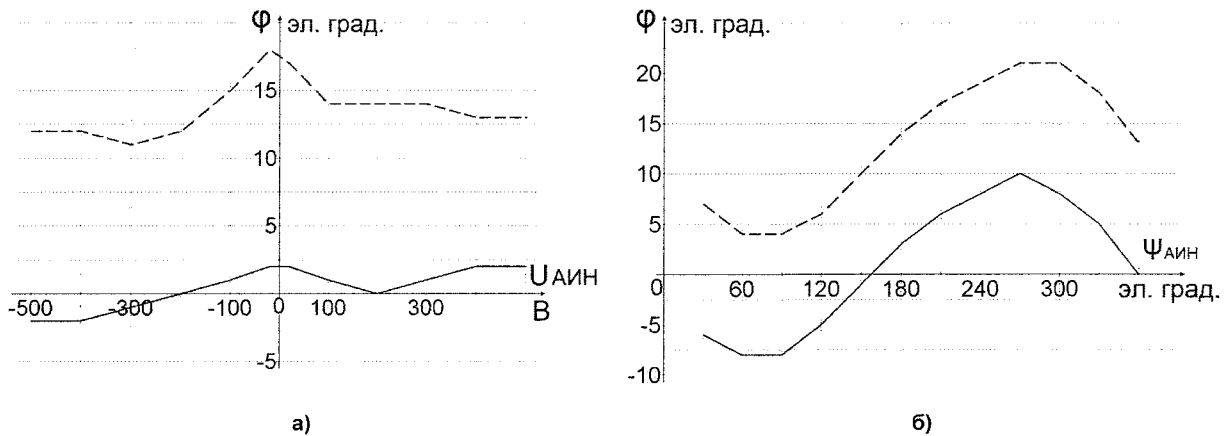


Рис. 4. Изменение угла сдвига фаз компенсированного (сплошные) и некомпенсированного (пунктирные) выпрямителей

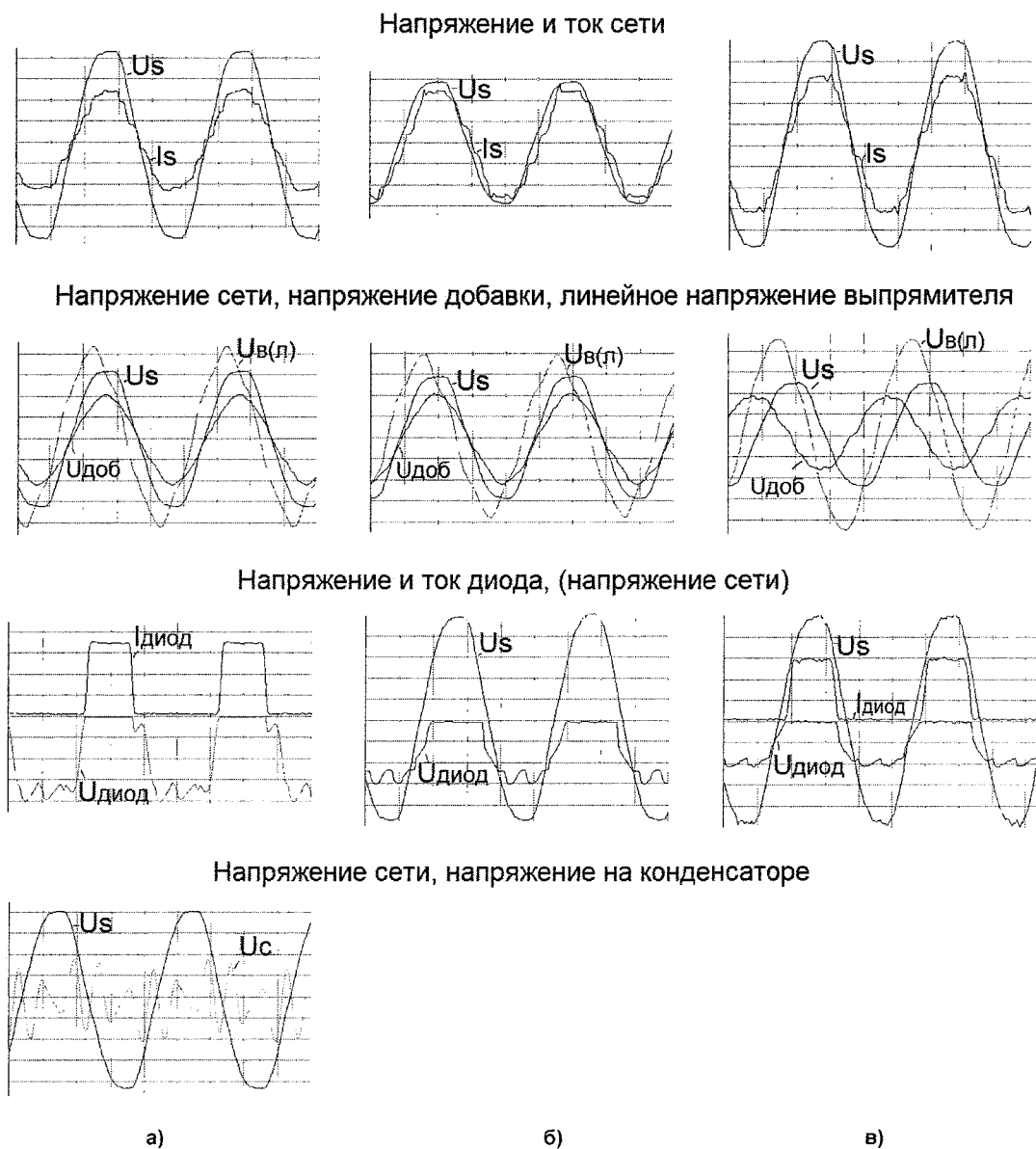


Рис. 5. Осциллограммы напряжений и токов компенсированного (а), некомпенсированного (б), некомпенсированного в режиме полной компенсации (в) выпрямителей

Полученные осциллограммы показывают, что:

- напряжения и токи сети в случаях *a*, *b* совпадают по фазе, что свидетельствует о том, что выпрямитель не потребляет реактивную мощность;

- напряжения и токи сети во всех трех случаях имеют классическую для 12-фазного преобразователя форму;

- КВ работает вблизи границы с повторной проводимостью (см. напряжение на диоде), а напряжение на конденсаторе имеет классическую для КВ форму с пятой и седьмой гармониками. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что введение в состав КВ векторного регулятора не изменяет процессов в самом КВ.

На последнем этапе экспериментального исследования была рассмотрена работа КВ при изменении нагрузки на его выходе. Построенные, на основании полученных данных, внешние характеристики выпрямителя наглядно реализуют возможность стабилизации тока при различных изменениях параметров напряжения сети и сопротивления нагрузки. Для доказательства чего, был проведен опыт по поддержанию постоянного тока на выходе КВ при изменении его сопротивления. Стабилизация выполнялась за счет изменения амплитуды АИН и была успешно выполнена.

В целом, можно сказать, что проведенные эксперименты полностью подтвердили эффективность работы изучаемого выпрямительного агрегата. Полученные характеристики показали, что в КВ с вольтодобавочным АИН при широком диапазоне регулирования обеспечивается высокий коэф-

фициент мощности, что в условиях значительного колебания нагрузки приводит к точной, энергетически эффективной стабилизации его выходных параметров.

Литература

1. Хохлов, Ю.И. Энерго- и ресурсосберегающие преобразовательные системы электроснабжения электролизного производства алюминиевой промышленности / Ю.И. Хохлов // *Электрика*. — 2007.-№7. -С. 3-9.

2. Хохлов, Ю.И. Моделирование электромагнитных процессов в компенсированном выпрямителе с вольтодобавочным АИН с ШИМ / Ю.И. Хохлов, А.Г. Осипов, Д.В. Гиззатуллин // *Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Энергетика-2008: инновации, решения, перспективы»*: в 5 кн. Кн. 3: *Электроэнергетика и электроника*. - Казань: Казан, гос. энерг. ун-т, 2008. — С. 26-30.

3. Осипов, А.Г. Применение системы нечеткого вывода для управления выпрямительным агрегатом СЭС алюминиевой промышленности /А.Г. Осипов// *Научный поиск: материалы первой научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки*. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. - С. 254-259.

4. Патент (Российская Федерация). Способ управления многофазным выпрямительным агрегатом / Ю.И. Хохлов, Д.В. Гиззатуллин, А.Г. Осипов. — заявл. 19.03.2009; полож. решение 15.04.2010.

Поступила в редакцию 5.09.2010 г.

Осипов Алексей Германович. Аспирант кафедры «Системы электроснабжения», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Направление научной деятельности - силовая электроника и энергосбережение. Контактный телефон: 8 (351) 267-93-18.

Osipov Aleksy Germanovich is a post-graduate student of the Power-Supply Systems Department, South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: power electronics and power supply. Tel.: 8 (351) 267-93-18.