

УДК 621.314

## **РАЗРАБОТКА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО РАБОТЫ**

Кривченко Н.А., магистрант гр. МЭА-201, 2 курс.

Научный руководитель: Семернин А.Н., к.т.н., доцент.

Белгородский государственный технологический

университет имени В.Г. Шухова

г. Белгород

В статье рассматривается векторная система управления активным выпрямителем. Представлены схема силовой цепи преобразователя частоты с активным выпрямителем и структурная схема векторного управления активным выпрямителем. Произведено математическое моделирование преобразователя частоты с активным выпрямителем в программном комплексе Matlab/Simulink, произведено сравнение с преобразователем частоты с неуправляемым выпрямителем.

Ключевые слова: активный выпрямитель, векторное управление, имитационное моделирование, электрический привод, гармонические искажения.

В современных преобразователях частоты в цепях первичного преобразования электроэнергии используется технология трехфазного мостового выпрямителя, построенного на диодах. Данная технология зарекомендовала себя с лучшей стороны, так как проста в исполнении и надежна в эксплуатации, но из-за нелинейной структуры диодов они вносят существенные искажения в сеть электроснабжения. Для устранения влияния преобразователя частоты на сеть электроснабжения предлагается замена неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя на трехфазный активный выпрямитель [1].

Трехфазный мостовой выпрямитель строится на основе IGBT – транзисторов, работающих в ключевом режиме. Благодаря особой системе управления активный выпрямитель обеспечит снижение высших гармонических искажений тока в сети электроснабжения до приемлемых значений, а также обеспечит рекуперацию накопленной в электроприводе энергии в сеть электроснабжения.

На рис.1 представлена принципиальная схема силовых цепей преобразователя частоты с активным выпрямителем [2].

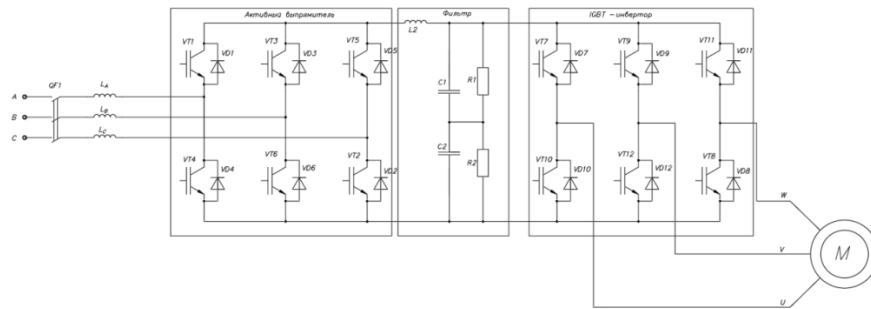


Рис.1. Принципиальная схема силовых цепей преобразователя частоты с активным выпрямителем.

К основным элементам преобразователя частоты с активным выпрямителем (рис.1) относятся:  $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$  – сетевые дроссели, блок активного выпрямителя, блок фильтров в цепи постоянного тока, инвертор.

Для управления активным выпрямителем используется система векторного управления со стабилизацией напряжения в цепи постоянного тока. Структурная схема векторного управления представлена на рис.2 [3].

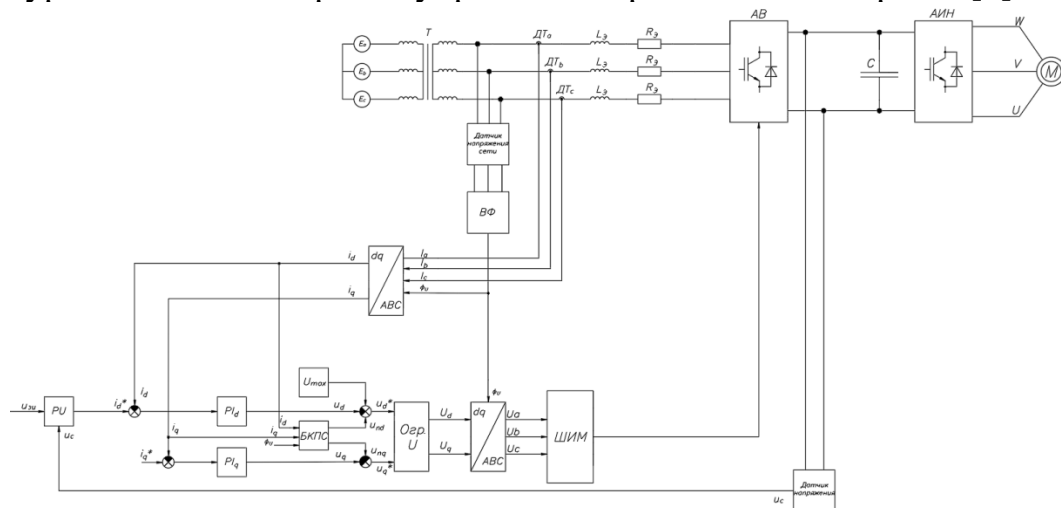


Рис.2. Структурная схема векторного управления активным выпрямителем.

Структурная схема векторного управления активным выпрямителем (рис.2) состоит из: датчика напряжения сети, ДТ – датчики тока, ВФ – вычислитель фазы сетевого напряжения, датчика напряжения цепи постоянного тока, PU – регулятор напряжения,  $PI_{d,q}$  – регуляторы d и q составляющей тока, БКПС – блок компенсации перекрестных связей, ШИМ – широтно-импульсный модулятор, блоков преобразования координат, Огр. U – ограничитель напряжения.

Система векторного управления строится по принципу подчиненного регулирования и имеет 2 контура регулирования тока: активной  $I_d$  и реактивной  $I_q$  составляющей, и внешний, для контура регулирования активной  $I_d$  составляющей тока, контур регулирования напряжения.

Настройка системы управления сводится к расчету регуляторов тока и напряжения исходя из параметров сети. Численно регуляторы вычисляются следующим образом [4]:

Регуляторы тока:

Регулятор напряжения:

В формулах (1) и (2) используются следующие параметры:  $L$  – общая индуктивность сети,  $R$  – общее сопротивление сети,  $k_n$  – коэффициент передачи активного выпрямителя,  $T_n$  – постоянная времени активного выпрямителя,  $k_{ot}$  – коэффициент обратной связи по току,  $a_t$ ,  $a_u$ ,  $b_u$ , – коэффициенты настройки системы на модульный оптимум,  $k_{ou}$  – коэффициент обратной связи по напряжению,  $C$  – емкость в цепи постоянного тока,  $k_u$  – коэффициент передачи по напряжению активного выпрямителя.

Для исследования работы активного выпрямителя построена математическая модель системы в программном комплексе Matlab/Simulink. Схема математической модели представлена на рис.3 [5].

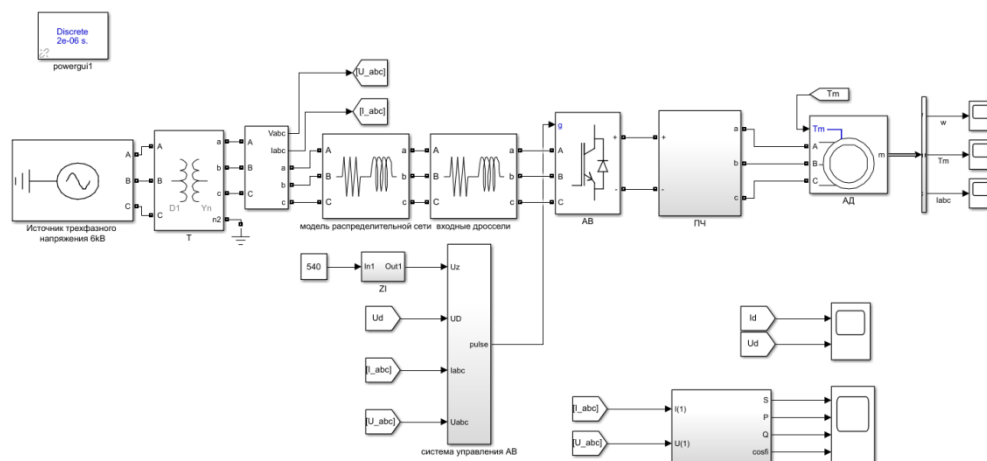


Рис.3. Схема математической модели системы векторного управления активным выпрямителем.

Модель имеет следующие параметры: частота модуляции 2 кГц, емкость в цепи постоянного тока  $C=5000$  мкФ, индуктивность сети снабжения  $L=1$  мГн, сопротивление  $R=0,1$  Ом, мощность нагрузочного двигателя 15 кВт, заданное напряжение 540 В.

Результаты моделирования системы представлены на рис.4 – 6.

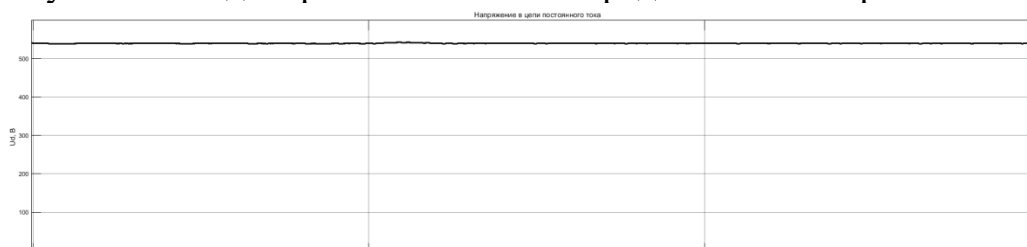


Рис.4. Напряжение в цепи постоянного тока.

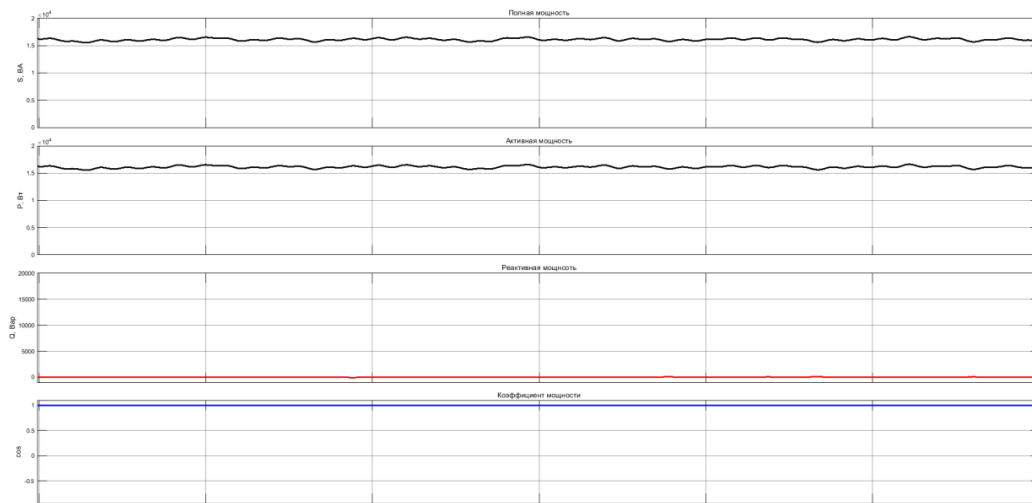


Рис.5. Полная, активная, реактивная мощности и коэффициент мощности.

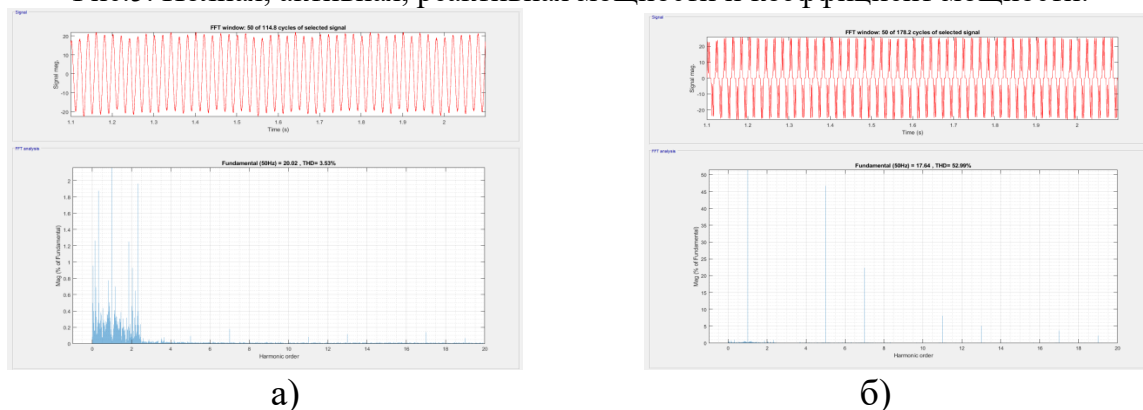


Рис.6. Спектральный анализ тока сети: а) в системе с активным выпрямителем, б) в системе с неуправляемым выпрямителем.

Съем спектрального анализа тока сети производился с помощью блока измерения тока и напряжения сети (блок “измеритель”, рис.3). Нижние графики (рис.6) спектральных анализов показывают амплитуду токов гармонических искажений (от 0 гармоники до 20 гармоники) по отношению к основной гармонике ( $f_1 = 50$  гц). Верхняя часть графиков (рис.6.) показывают форму исследуемых сигналов.

Исходя из рис. 4-6 видно, что векторная система управления активным выпрямителем поддерживает стабильное заданное напряжение в цепи постоянного тока, коэффициент мощности системы  $\cos \varphi \approx 0,99$ , коэффициент гармонических искажений  $THD \approx 3,53\%$  (система с неуправляемыми выпрямителями имеет  $THD \approx 53\%$ ).

Закключение. Современные преобразователи частоты имеют в цепи первичного преобразования трехфазный мостовой выпрямитель, хорошо зарекомендовавший себя как простое и надежное устройство для выпрямления переменного напряжения. Но вместе с этим они негативно влияют на качество тока в сети электроснабжения, что может приводить к потерям мощности и снижению срока службы оборудования. На замену неуправляемым выпрямителям могут прийти активные выпрямители. Они позволяют снизить искажения тока в сети электроснабжения и повысить коэффициент мощности системы. Использование таких преобразователей может повысить срок службы до-

рогостоящего оборудования, без каких – либо усложнений системы, а векторная система управления активным выпрямителем позволяет достичь высоких показателей качества сетевого тока ( $\cos\varphi \approx 0,99$ ,  $THD \approx 4 - 5\%$ ). Для достижения наибольшей энергетической эффективности целесообразно использовать преобразователь частоты с активным выпрямителем для управления электроприводом, работающим в повторно-кратковременном режиме работы, или для управления электроприводом большой мощности.

#### Список литературы:

1. Храмшин Т.Р., Корнилов Г.П. Исследование воздействия активных выпрямителей большой мощности на питающую сеть // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. – №1. – С. 80-83.
2. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. 2-е изд., испр. — М.: СОЛОН-Пресс, 2015. — 416 с: ил.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.
4. Швырева Н. Ю. Повышение качества электроэнергии при электроснабжении буровых установок с частотно – регулируемым электроприводом / «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Москва, 2016.
5. Авербух М.А., Кузнецова А.Д., Кривченко Н.А. Особенности применения частотных преобразователей с общим входным активным выпрямителем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2021. Вып. 6. С. 308-316.