УДК 621.314.263

А.П.ЕМЕЛЬЯНОВ, *канд. техн. наук*, *доцент*, *ale88706284@yandex.ru*
А.О.СВИРИДЕНКО, *аспирант*, *sviridenko_ao@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

A.P.EMELYANOV, *PhD in eng. sc.*, *senior lecturer*, *ale88706284@yandex.ru*
A.O.SVIRIDENKO, *post-graduate student*, *sviridenko_ao@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ С АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ

Рассмотрены преимущества применения активного выпрямителя в составе преобразователей частоты для мощных приводов с вентильными двигателями. Дано математическое описание процессов, протекающих в силовой части активного выпрямителя. Представлена схема привода с векторной системой управления с датчиком положения ротора и активным выпрямителем, приведены графики потребляемой мощности и тока приводом с активным выпрямителем из сети.

Ключевые слова: электропривод, синхронный двигатель, преобразователь частоты, активный выпрямитель, инвертор.

ALGORITHM OF CONTROL OF THE ELECTRIC DRIVE WITH VENTILNIY ELECTRIC MOTOR AND THE CONVERTER OF FREQUENCY WITH THE ACTIVE RECTIFIER

Advantages of application of the active rectifier as a part of converters of frequency for powerful drives with ventilniy electric motors are considered. The mathematical description of the processes proceeding in a power part of the active rectifier is given. The scheme of a drive with a vector control system with the gage of position of a rotor and the active rectifier is presented, schedules of power consumption and a current by a drive with the active rectifier are resulted.

Key words: electric drive, synchronous electric motor, frequency converter, active rectifier, inverter.

Задача повышения энергоэффективности и обеспечения качества электроэнергии при использовании мощных приводов с вентильными двигателями (ВД) для механизмов типа дробилок, мельниц, подъемных машин и др. может быть решена за счет использования преобразователей частоты с активным выпрямителем.

Применение активного выпрямителя позволяет приводу:

– работать в четырех квадрантах механической характеристики с рекуперацией энергии в питающую сеть;

– обеспечивать значение входного коэффициента мощности, близкого к единице;

– поддерживать заданное значение выпрямленного напряжения, большее, чем в диодном выпрямителе (без повышающего трансформатора);

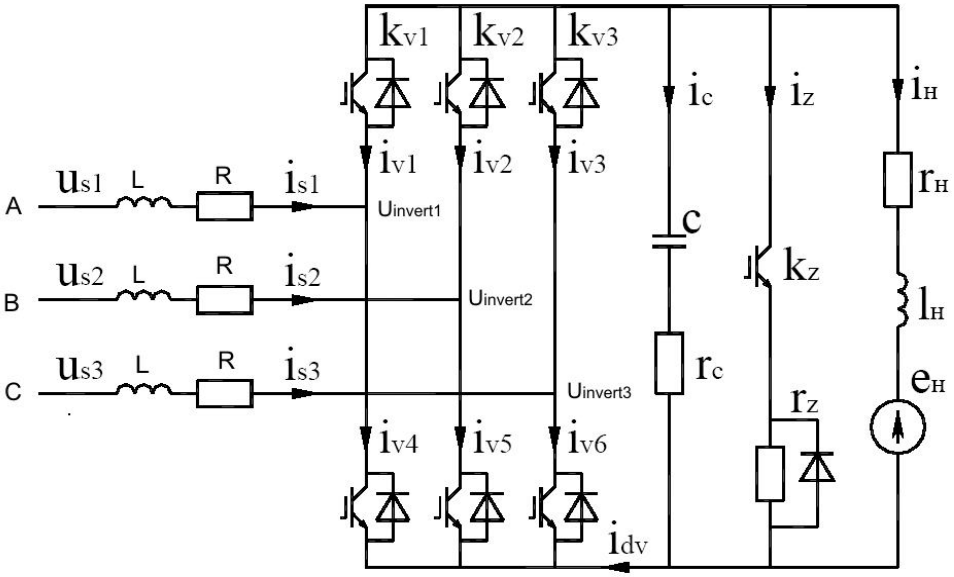


Рис.1. Схема силовой части активного выпрямителя

– иметь коэффициент гармоник потребляемого сетевого тока меньше, чем у диодного многопульсного выпрямителя.

Схема управления активным выпрямителем построена по векторному принципу с ориентацией по вектору напряжения сети*. На основе анализа схемы трехфазного активного выпрямителя (рис.1), математическое описание процессов, протекающих в его силовой части, может быть представлено следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{U}_S = \dot{U}_{invert} + R\dot{I}_S + L\dfrac{d\dot{I}_S}{dt}; \\ C\dfrac{dU_0}{dt} = S_a i_a + S_b i_b + S_c i_c - I. \end{cases} \quad (1)$$

Первое уравнение представлено в векторной форме в неподвижной системе координат. Это векторное уравнение может быть записано в виде проекций обобщающих векторов на координатные оси d-q, вращающихся со скоростью ϖ_k:

$$\begin{cases} U_{sd} = RI_{sd} + L\dfrac{dI_{sd}}{dt} - \varpi_k LI_{sq} + U_{d\ invert.}; \\ U_{sq} = RI_{sq} + L\dfrac{dI_{sq}}{dt} + \varpi_k LI_{sd} + U_{q\ invert.}. \end{cases} \quad (2)$$

Привязав оси координат к вектору напряжения U_s, и, при этом, пренебрегая величиной R в силу ее малости, можно проекции вектора напряжения инвертора на оси *d*, *q* записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} U_{d\ invert.} &= -L\frac{dI_{sd}}{dt} + \varpi LI_{sq} + U_{sm}; \\ U_{q\ invert.} &= -L\frac{dI_{sq}}{dt} - \varpi LI_{sd}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для стабилизации токов I_{sd}, I_{sq} на заданном уровне необходимо ввести регуляторы:

$$\begin{aligned} U_{d\ invert.} &= -K1(I_{sdz} - I_{sd})/\Delta T + \varpi LI_{sq} + U_{sm}; \\ U_{q\ invert.} &= -K2(I_{sqz} - I_{sq})/\Delta T - \varpi LI_{sd}; \end{aligned} \quad (4)$$

где К1, К2 – коэффициенты регуляторов.

Задания по токам I_{sdz}, I_{sqz} определяются исходя из следующих соображений. Задание по активному току I_{sdz} определяется требуемым выходным напряжением и зависит от тока нагрузки, поэтому оно должно

* *Ефимов А.А.* Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока / А.А.Ефимов, Р.Т.Шрейнер / Под общей ред. Р.Т.Шрейнера. Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. 250 с.

Efimov A.A. Active converters in adjustable electric drives of an alternating current / A.A.Efimov, R.T.Schreiner //The general edition of R.T.Schreiner. Novouralsk: NGTI, 2001. 250 p.

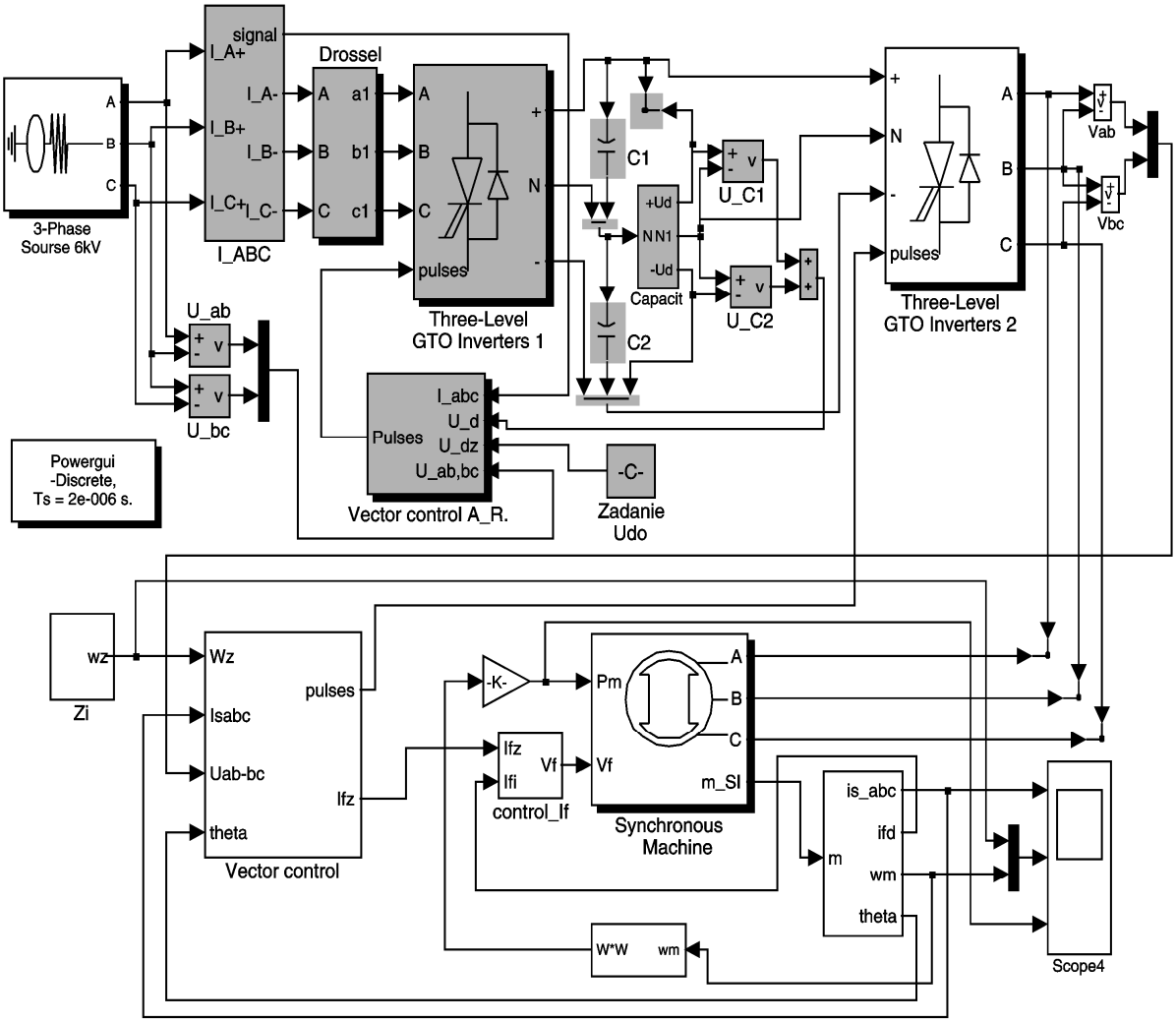


Рис.2. Схема модели векторной системы управления с датчиком положения ротора и активным выпрямителем

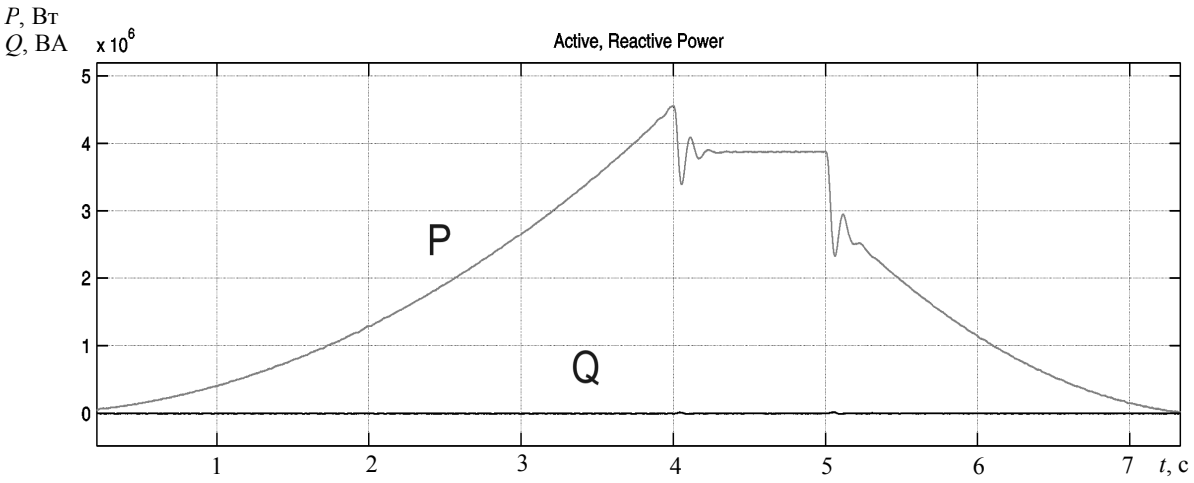


Рис.3. Мощность, потребляемая приводом с активным выпрямителем из сети

сниматься непосредственно с регулятора напряжения. Реактивный ток I_{sqz}, при представлении активного выпрямителя чисто активной нагрузкой, должен быть равен нулю.

На основании этих соображений и уравнений (4), при этом заменив пропорциональные регуляторы пропорционально-интегральными регуляторами (ПИ-регуляторами), можно предложить алгоритм управления инвертором активного выпрямителя.

На рис.2 представлена схема привода с векторной системой управления с датчиком положения ротора и активным выпрямителем.

Активный выпрямитель питается через дроссели от сети 6 кВ. Силовой трансформатор отсутствует. Блоки, относящиеся к активному выпрямителю, помечены серым цветом. В активном выпрямителе установлен трехуровневый инвертор на GTO – тиристорах, аналогичный инвертору, установленному в приводе.

Номинальные параметры модельного аналога ВД имели следующие значения:

– мощность 2400 кВт;

– частота вращения 104 $с^{-1}$;

– электромагнитный момент 23000 Н·м;

– линейное напряжение статора 960 В;

– действующее значение фазного тока статора 1600 А;

– коэффициент полезного действия: 0,95;

– напряжение на входе автономного инвертора 1230 В;

– ток на входе автономного инвертора: 1950 А;

– момент инерции, приведенный к валу двигателя: 2400 $кг·м^2$.

При моделировании рассматривались статические и динамические режимы, протекающие в электроприводе на основе ВД.

На рис.3 приведен график потребляемой из сети мощности приводом с активным выпрямителем. Привод разгонялся до номинальной скорости и тормозился до нулевой скорости. Мощность, прикладываемая к двигателю, при выводе на график взята по абсолютной величине (Вт); для уменьшения времени счета для данного графика в приводе момент инерции был снижен в десять раз.

Как видно из графика, привод потребляет чисто активную мощность. При этом потребляемый ток имеет почти синусоидальную форму.