

УДК 681.5.03

С.В. Король, канд. техн. наук,

О.В. Сергиенко

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ВХОДНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

**Аннотация.** Выполнено сравнительное тестирование двух алгоритмов управления входным преобразователем. Исследования выполнены с учетом полной нелинейной модели преобразователя при формировании сигналов управления ключами по алгоритму векторной широтно-импульсной модуляции. Установлено, что алгоритм управления, основанный на формировании полной энергии преобразователя, обеспечивает уменьшение ошибок более чем на 20 %.

С.В. Король, канд. техн. наук,

О.В. Сергиенко

## ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ ВХІДНИМ ПЕРЕ- ТВОРЮВАЧЕМ

**Анотація.** Виконано порівняльне тестування двох алгоритмів керування вхідним перетворювачем. Дослідження виконані з урахуванням повної нелінійної моделі перетворювача при формуванні сигналів керування ключами згідно з алгоритмом векторної широтно-імпульсної модуляції. Встановлено, що алгоритм керування, який базується на формуванні повної енергії перетворювача, забезпечує зменшення похибок більш ніж на 20 %.

S.V. Korol', канд. техн. наук,

O.V. Sergienko

## A COMPARATIVE STUDY OF CONTROL ALGORITHMS INPUT CONVERTER

**Abstract.** The article presents a comparative test of two control algorithms for the input converter. Full nonlinear converter model with vector pulse-width modulation for switch control was used. The tests results show that the control algorithm based on full power of converter provides more than 20% reduction of errors.

**Введение.** Входные управляемые преобразователи (ВП) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) позволяют повысить энергетическую эффективность электромеханического преобразования энергии за счет рекуперации электрической энергии в питающую сеть. Кроме того, появляется возможность при соответствующем управлении выполнения требований по электромагнитной совместимости за счет синусоидальных входных токов и возможности получения коэффициента мощности, равного единице.

Большинство решений задачи управления ВП базируются на линеаризации его нелинейной модели [1] и использовании структуры с подчиненным регулированием координат. В таких случаях алгоритм управления ВП состоит из двух подсистем: подсистемы регулирования напряжения в звене постоянного тока  $V$  (внешний контур) и подсистемы регулирования входных токов (внутренний контур).

В работе [2] предложена новая концепция управления ВП, которая базируется на непосредственном управлении преобразуемой энергией, и на ее основе разработан алгоритм управления активной и реактивной мощностями, циркулирующими в преобразователе. Предложенное решение за счет линеаризации обратной связью обеспечивает глобальную асимптотическую стабилизацию напряжения в звене постоянного тока при поддержании нулевой реактивной мощности на входе преобразователя.

**Цель исследования.** Сравнительное исследование качества стабилизации напряжения в звене постоянного тока и реактивной компоненты тока статора на входе сетевого преобразователя при использовании предложенного нелинейного алгоритма и алгоритма с

подчиненным регулированием координат.

**Материалы исследования.** Решения с подчиненным регулированием координат используют ПИ регуляторы как для напряжения в звене постоянного тока  $V$ , так и для активной –  $i_d$  и реактивной –  $i_q$  компонент входного тока преобразователя. Для сравнительного тестирования выбран алгоритм [1], который состоит из регулятора напряжения  $V$

$$\dot{i}_d^* = 2V^* (-k_u \tilde{V} - x_u) / 3E, \dot{x}_u = k_{ui} \tilde{V}, \quad (1)$$

и регулятора токовой подсистемы

$$\begin{aligned} p_d &= -2L(Ri_d^*/L - E/L - k_{id} \tilde{i}_d) / V^* \\ p_q &= -2L(\omega_i i_d^* - k_{iq} \tilde{i}_q - x_{iq}) / V^*, \dot{x}_i = k_{iqi} \tilde{i}_q, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\tilde{V} = V - V^*$  – ошибка обработки напряжения в звене постоянного тока;  $V^*$  – его заданное значение;  $k_u$  и  $k_{ui}$  – пропорциональный и интегральный коэффициенты регулятора напряжения;  $k_{id}$ ,  $k_{iq}$ ,  $k_{iqi}$  – коэффициенты пропорциональной по оси  $d$ , а также пропорциональной и интегральной по оси  $q$  составляющих регуляторов токов соответственно.

Тестирование алгоритмов [1] и [2] выполнено методом математического моделирования в среде Matlab. Исследование выполнялось с использованием полной нелинейной модели ВП в стационарной системе координат, функции переключения транзисторов формировались в соответствии с алгоритмом векторной ШИМ, тем самым учитывалась дискретность уровня напряжения и времени его приложения. Такой подход позволил получить переходные процессы, которые очень близки к реальным.

При моделировании использовались следующие параметры: емкость конденсатора в звене постоянного тока  $C = 1000$  мкФ, амплитуда напряжения сети

$E = 310$  В, частота  $f_c = 50$  Гц, номинальный ток в звене постоянного тока  $i_{LH} = 10$  А. Параметры входного фильтра преобразователя: индуктивность  $L = 0,015$  Гн, активное сопротивление  $R = 0,2$  Ом. Заданное напряжение в звене постоянного тока  $V^* = 700$  В при начальном  $650$  В, а период коммутации ШИМ преобразователя принят равным  $10^{-4}$  с.

При исследовании использовались следующие значения настроечных параметров: для алгоритма [1] –  $k_w = 10^6$ ;  $k_y = 5000$ ;  $k_{iq} = 1000$ ;  $k_{iqi} = 2,5 \cdot 10^5$ ; для алгоритма [1] –  $k_{ui} = 0,3$ ;  $k_{ui} = 45$ ;  $k_{id} = 2500$ ;  $k_{iq} = 1000$ ;  $k_{iqi} = 2,5 \cdot 10^5$ .

Из полученных результатов моделирования (рис.1) видно, что алгоритм управления обеспечивает высокое качество отработки заданного напряжения (ошибки менее 15,5 В или 2,3 %) с одновременной стабилизацией реактивной мощности на входе преобразователя на нулевом уровне (ошибки до 0,5 А, 3,3 % от номинального) и быстрое затухание ошибок в переходных режимах. Ток в фазе А совпадает по фазе с напряжением при положительном токе нагрузки и находится в противофазе при отрицательном токе нагрузки, при этом ток во всех режимах имеет синусоидальную форму.

Как видно из графиков рис.2, использование алгоритма [1] приводит к 30 % увеличению ошибок стабилизации напряжения и 20 % увеличению ошибок стабилизации реактивной компоненты входного тока.

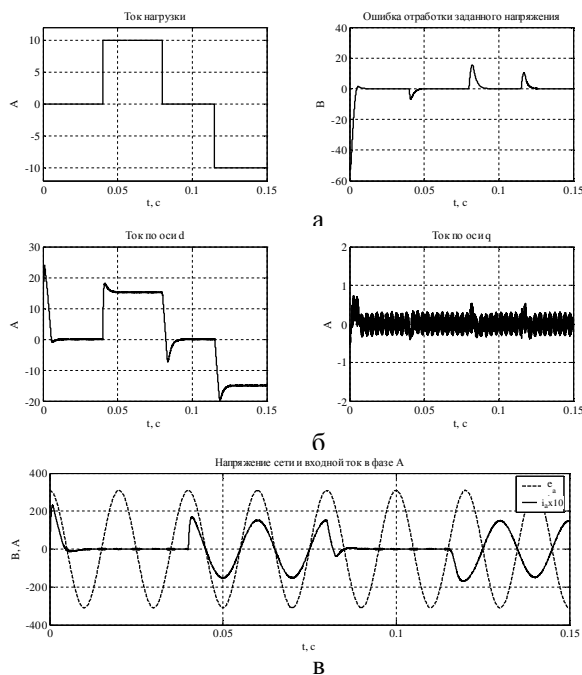


Рис.1. Алгоритм [2]:

а – ток нагрузки, ошибка стабилизации напряжения;  
 б – компоненты входного тока во вращающейся системе координат (d-q); в – напряжение ток в фазе А на входе ВП

**Выводы.** Установлено, что по сравнению со стандартным предложенный алгоритм позволяет уменьшить динамические ошибки стабилизации напряжения не менее чем в 1,3 раза и ошибки стабилизации реактивной компоненты тока на входе ВП – в 1,2 раза при прозрачной процедуре выбора настроечных коэффициентов. Для получения удовлетвори-

тельного качества переходных процессов при использовании алгоритма [1] необходимо подбирать значения настроечных коэффициентов экспериментальным путем для каждого набора параметров ВП.

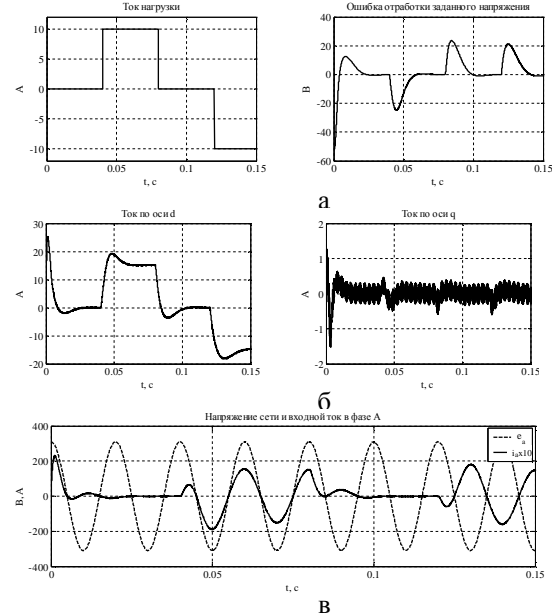


Рис.2. Алгоритм [1]:

а – ток нагрузки, ошибка стабилизации напряжения;  
 б – компоненты входного тока во вращающейся системе координат (d-q); в – напряжение ток в фазе А на входе ВП

Список использованной литературы

1. Лихошерст В. И. Управление конвертором напряжения / В.И.Лихошерст // *Электротехника*. – 2004. – №9. – С.65-68.
2. Пересада С. М. Новая концепция управления входным преобразователем: формирование полной энергии преобразования / С.М.Пересада, С.В.Король // *Техніч. електродін. Тематич. вип. „Силова електроніка та енергоефективність”*. – 2002. – Ч.1. – С. 66 – 70.

Получено 12.07.2011



Король Сергей Викторович,  
 канд.техн.наук, ст.преп. каф.  
 АЕМС та ЕП ФЕА НТУУ  
 «КПИ»,  
 +380949249782,  
 svkorol@ukr.net



Сергиенко Олег Вячеславович,  
 вед. инж. ООО «ПКП  
 «Интеграл»,  
 ул. Набережная 22, кв. 52,  
 г. Вышгород, Киевская область,  
 Украина,  
 +380503580386