

УДК 621.313.333

# СПОСОБ АДАПТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ В АСИНХРОННОМ БЕЗРЕДУКТОРНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ЛИФТОВОЙ ЛЕБЕДКИ

Д.В. Турганев, Ю.Н. Дементьев, С.В. Ланграф

Томский политехнический университет

E-mail: turgenev@tpu.ru

Представлен способ формирования потокосцепления тихоходного асинхронного двигателя: в функции от момента нагрузки на валу двигателя, влияющего на характеристики безредукторного асинхронного электропривода лифтовой лебедки. Приведены результаты исследований в виде расчетных характеристик. Установлено, что применение адаптивного способа формирования потокосцепления тихоходного асинхронного двигателя обеспечивает энергосбережение в электроприводе лифтовой лебедки.

## Ключевые слова:

Тихоходный асинхронный двигатель, безредукторный электропривод, адаптивное формирование потокосцепления.

## Key words:

Low-speed induction motor, gearless electric drive, adaptive formation of flux linkage.

В настоящее время большинство электроприводов лифтовых лебедок представляют собой конструкцию, состоящую из двухскоростного асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором, редуктора, тормозного устройства и релейно-контакторной схемы управления. Основной причиной выхода из строя электродвигателей в электроприводе подъема лифтовой лебедки является низкая надежность релейно-контакторной схемы управления, приводящая к отклонению параметров настройки и увеличению бросков токов при пуске асинхронного двигателя. Для механического оборудования главную опасность представляют высокие динамические моменты и жесткие механические характеристики в электромеханической системе, возникающие вследствие несовершенства системы управления [1].

Благодаря существенным достижениям в развитии силовой и микропроцессорной техники и систем частотно-регулируемого электропривода переменного тока в грузоподъемных механизмах наметилась тенденция перехода к безредукторному электроприводе, выполненному по системе преобразователь частоты–асинхронный двигатель, ли-

шенному присущих редукторным электроприводам недостатков. К основным преимуществам безредукторного электропривода, в сравнении с редукторным, относятся: отсутствие редуктора, более высокая комфортность лифта, меньший уровень шума и вибраций.

Одним из направлений развития безредукторных частотно-регулируемых электроприводов, в частности лифтовых лебедок, является применение в электроприводе лифта тихоходного асинхронного двигателя (ТАД). Электропривод на его основе качественно отличается от электроприводов, применяемых в настоящее время, и определяется особенностями работы ТАД в переходных процессах и выбранной структуре системы управления [2, 3]. Кроме того, применение для управления ТАД цифровой системы на базе современных микропроцессоров и микроконтроллеров дает возможность реализации гибких алгоритмов управления электроприводом лифтовой лебедки и обеспечивает необходимые характеристики электропривода, заданную точность позиционирования кабины в начале движения и при полном останове и более высокую комфортабельность лифта.

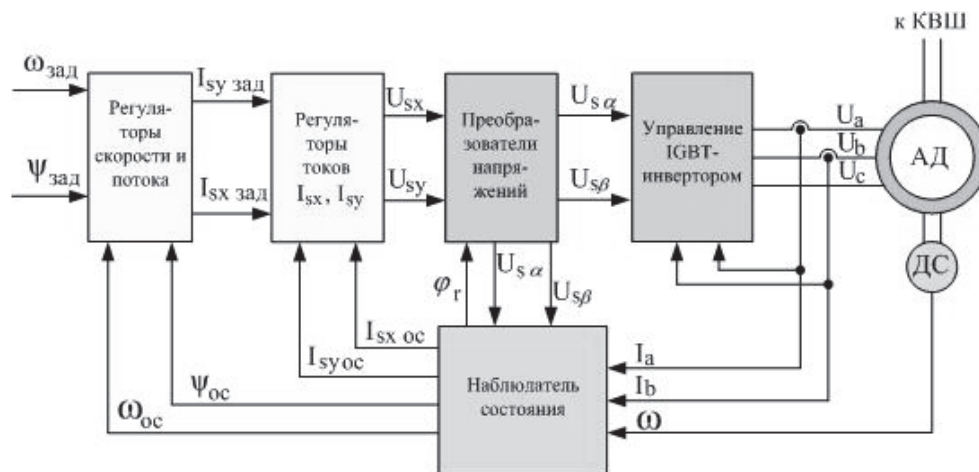


Рис. 1. Функциональная схема асинхронного безредукторного электропривода

Цель статьи – разработка и исследование модифицированной системы управления асинхронным безредукторным электроприводом лифтовой лебедки с переменной структурой на базе тихоходного асинхронного двигателя, обеспечивающей заданную точность позиционирования кабины в начале движения и при полном останове и более высокую комфортабельность лифта.

Функциональная схема асинхронного безредукторного электропривода приведена на рис. 1.

Для управления ТАД электропривода лифтовой лебедки применено векторное управление с датчиком скорости/положения. Применение ТАД в безредукторном электроприводе лифтовой лебедки приводит к рывкам момента на валу двигателя из-за большой индуктивности статорной обмотки ТАД и поддержания потокосцепления на номинальном уровне. При этом также формируются жесткие характеристики момента, приводящие к колебаниям кабины и противовеса, уменьшающие комфортность передвижения в кабине и ресурс механического оборудования [4, 5]. Для исключения подобного эффекта в статье рассматривается способ адаптивного формирования потокосцепления тихоходного асинхронного двигателя в функции от текущего момента нагрузки.

Кривая формирования потокосцепления от момента нагрузки представлена на рис. 2.

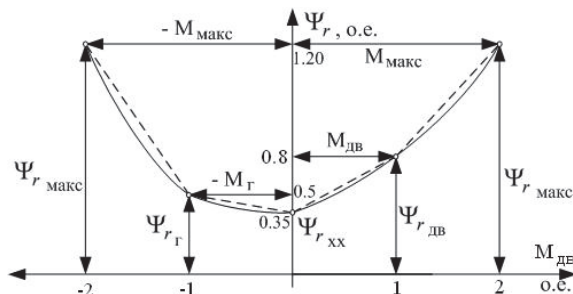


Рис. 2. Кривая формирования потокосцепления в функции от текущего момента нагрузки

Для исследования влияния на механические характеристики ТАД способа адаптивного формирования потокосцепления воспользуемся формулами, приведенными в [4]:

$$U_s = \sqrt{\left( \frac{k_1 k_3}{k_4} \Psi_r - \frac{\omega M}{k_5 \Psi_r} - k_2 \Psi_r \right)^2 + \left( \frac{k_1 M}{k_5 \Psi_r} + \omega \frac{k_3}{k_4} \Psi_r \right)^2}, \quad (1)$$

$$\omega = \omega_{re} + \frac{k_4 M}{k_5 \Psi_r^2},$$

где

$$k_1 = \frac{R_s L_r}{L_s L_r - L_m^2}, \quad k_2 = \frac{R_s L_m}{L_s L_r - L_m^2}, \quad k_3 = \frac{R_r L_s}{L_s L_r - L_m^2},$$

$$k_4 = \frac{R_r L_m}{L_s L_r - L_m^2}, \quad k_5 = \frac{3}{2} z_p \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2};$$

$U_s$  – фазное напряжение обмотки статора;  $R_s$  – активное сопротивление обмотки статора;  $R_r$  – активное сопротивление обмотки ротора;  $L_s$  – индуктивность статора;  $L_r$  – индуктивность ротора;  $L_m$  – индуктивность цепи намагничивания;  $z_p$  – число пар полюсов;  $\omega_{re}$  – электрическая угловая частота вращения ротора;  $M$  – момент на валу электродвигателя;  $\Psi_r$  – потокосцепление ротора.

Задавая необходимые значения частоты вращения ротора  $\omega_{re}$ , момента на валу электродвигателя  $M$ , потокосцепления ротора  $\Psi_r$  и используя известные выражения [5], можно получить расчетные механические характеристики ТАД (рис. 3) для постоянного и изменяемого потокосцепления ротора при изменении момента нагрузки. Кроме того, на рис. 4 приведены кривые переходных процессов по скорости электропривода лифтовой лебедки на базе ТАД при различных способах формирования потокосцепления.

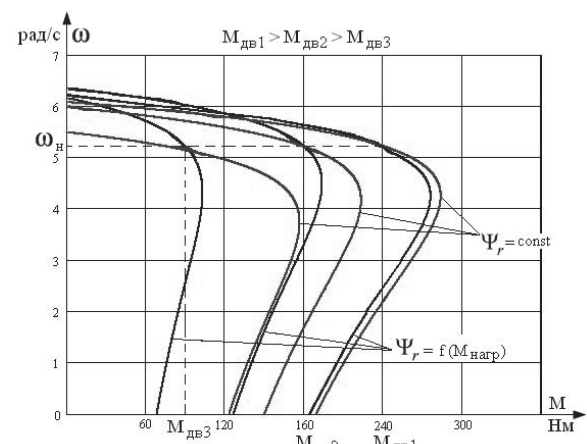


Рис. 3. Механические характеристики ТАД в электроприводе лифтовой лебедки при постоянном и формируемом адаптивном потокосцеплении ротора при изменении момента нагрузки

Как следует из механических характеристик (рис. 3), адаптивное формирование потокосцепления ротора ТАД в функции от момента нагрузки на валу двигателя  $\Psi_r = f(M_{нагр})$  приводит к изменению жесткости механических характеристик ТАД, позволяет исключить рывки момента и уменьшить колебания скорости (рис. 4) кабины и противовеса с 5...6 до 2...3 %, по сравнению с механическими характеристиками ТАД при формировании постоянного по величине потокосцепления.

На рис. 5 приведены электромеханические характеристики ТАД при постоянном и переменном потокосцеплении ротора при изменении момента нагрузки, рассчитанные по следующему выражению [2]:

$$I_s = \sqrt{I_m^2 + I_r'^2 + 2 I_m I_r' \sin \varphi_2}, \quad (2)$$

где  $I_m$  – ток намагничивания;  $I_r'$  – ток ротора, приведенный к обмотке статора.

На рис. 5:  $I_{св\varphi_2 M_{c3}}$  – значение тока, рассчитанное для постоянного потокосцепления  $\Psi_r = \text{const}$  и момента нагрузки  $M_{c3}$ ;  $I_{св\varphi_2 M_{c3}}$  – значение тока, рассчитанное при переменном потокосцеплении  $\Psi_r = f(M_{нагр})$  и моменте нагрузки равном  $M_{c3}$ .

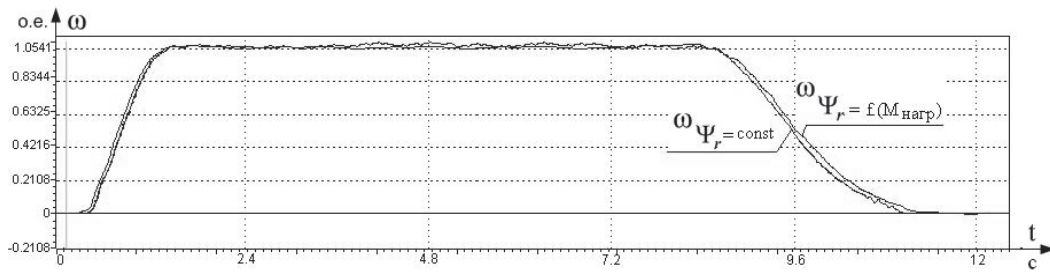


Рис. 4. Кривые переходных процессов по скорости при различных способах формирования потокоцепления

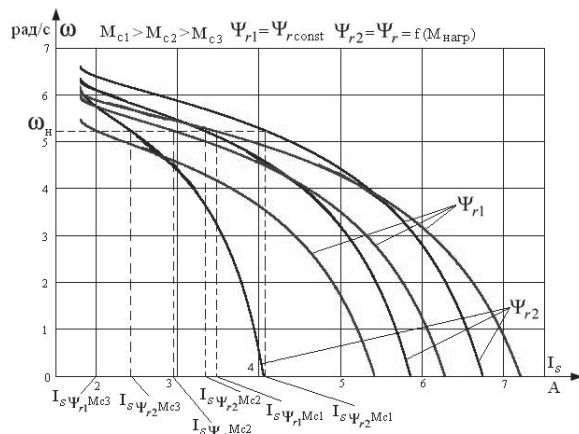


Рис. 5. Электромеханические характеристики ТАД в электроприводе лифтовой лебедки при постоянном и изменяемом потокоцеплении ротора при изменении момента нагрузки

Из анализа выражений (1), (2) и формулы для расчета приведенного тока ротора [5] следует, что уменьшение потокоцепления ротора приводит к росту тока статора  $I_s$  и уменьшению напряжения статора  $U_s$  и влияет на энергопотребление безредукторного электропривода лифтовой лебедки. На рис. 6 представлены расчетные зависимости угловой скорости от активной мощности ТАД при постоянном и адаптивном потокоцеплении ротора при изменении момента нагрузки.

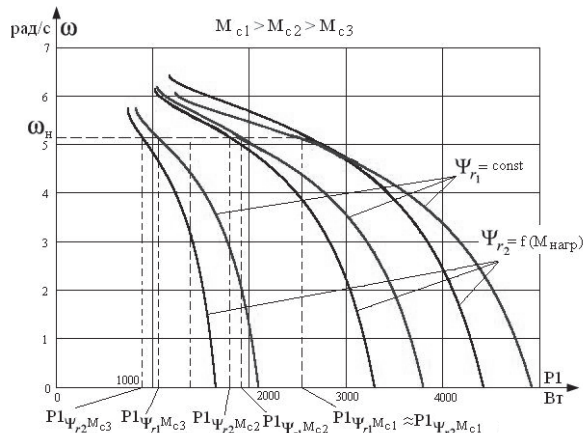


Рис. 6. Кривые зависимости угловой скорости от активной мощности ТАД при постоянном и формируемом адаптивном потокоцеплении ротора при изменении момента нагрузки

На рис. 6:  $P1_{\Psi_r M_{c3}}$  – значение мощности, рассчитанное для постоянного потокоцепления  $\Psi_{r1} = \text{const}$  и момента нагрузки  $M_{c3}$ ;  $P1_{\Psi_r M_{c3}}$  – значение мощности, рассчитанное при переменном потокоцеплении  $\Psi_{r2} = f(M_{\text{нагр}})$  и моменте нагрузки равном  $M_{c3}$ .

Из приведенных зависимостей следует, что при номинальном моменте нагрузки  $M = M_{c1}$  и номинальной скорости  $\omega = \omega_n$  регулирование потокоцепления незначительно влияет на изменение потребления активной мощности (рис. 6). При некотором изменении момента нагрузки  $M = M_{c2} < M_{c1}$  и величины потокоцепления  $\Psi_r = \Psi_{r2 M_{c2}} < \Psi_{r1 M_{c1}}$  наблюдается небольшое снижение потребления активной мощности. При значительном уменьшении момента нагрузки  $M = M_{c3} < M_{c2} < M_{c1}$  и величины потокоцепления  $\Psi_r = \Psi_{r2 M_{c3}} < \Psi_{r1 M_{c1}}$  можно получить достаточно большое снижение потребления активной мощности.

В реальных условиях режим работы безредукторного асинхронного электропривода лифтовой лебедки редко является номинальным и большую часть времени электропривод работает в условиях неполной загрузки (рис. 7), поэтому применение способа адаптивного формирования потокоцепления ТАД обеспечивает работу безредукторного асинхронного электропривода в режиме энергосбережения.

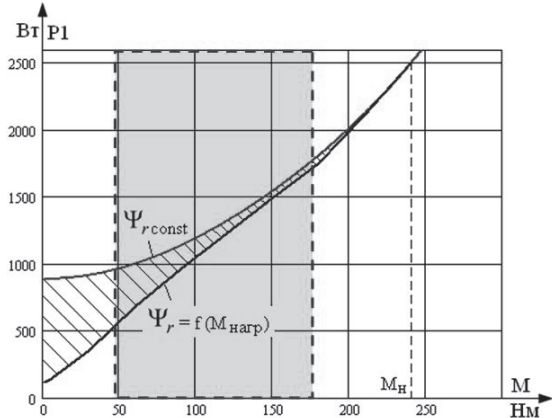


Рис. 7. Зависимость активной мощности от момента ТАД при различных способах формирования потокоцепления ротора

Из графиков рис. 7 следует, что при формировании постоянного по величине потокоцепления ротора на номинальном уровне отношение активной мощности к моменту двигателя  $P1/M (\Psi_r = \text{const})$  представляет собой нелинейную зависимость, а при адаптивном формировании потокоцепления отношение

вышеуказанных величин  $P_1/M(\Psi_r=f(M_{\text{нагр}}))$  имеет линейный характер (рис. 7). Заштрихованная область на рис. 7 показывает потери энергии, которые можно исключить, используя способ адаптивного формирования потокосцепления в функции от момента нагрузки и тем самым повысить КПД безредукторного электропривода лифтовой лебедки.

#### Заключение

1. Применение адаптивного способа формирования потокосцепления тихоходного асинхрон-

ного двигателя позволяет исключить рывки момента и уменьшить колебания скорости кабины, что положительно сказывается на комфортабельности движения лифтовой лебедки.

2. Способ адаптивного формирования потокосцепления тихоходного асинхронного двигателя обеспечивает энергосберегающий режим, уменьшающий энергопотребление электропривода во время работы лифтовой лебедки.

*Статья подготовлена по результатам работ в рамках Госзадания 7.2826.2011.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турганев Д.В., Дементьев Ю.Н., Ланграф С.В. Особенности механики лифтов с безредукторным приводом лебедки // Электромеханические преобразователи энергии 2009: Сборник трудов Междунар. научно-техн. конф. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — С. 236–240.
2. Турганев Д.В. Анализ трехмассовой механической системы для безредукторного привода лифтовой лебедки // Электротехнические комплексы и системы управления. — 2012. — № 1 (25). — С. 59–63.
3. Исследование параметрической робастности бездатчикового векторного асинхронного электропривода с идентификатором

Калмана / С.В. Ланграф, А.С. Глазырин, Т.А. Глазырина, К.С. Афанасьев, В.В. Тимошкин, Л.Е. Козлова // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 317. — № 4. — С. 120–123.

4. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. — Иваново: Изд-во Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина, 2008. — 298 с.
5. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. 3-е изд., перераб. — М.: Энергоиздат, 1982. — 216 с.

*Поступила 20.01.2013 г.*

УДК 621.34

## МИНИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ В ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ

В.В. Аржанов, Ю.А. Шурыгин, Ю.А. Шиняков, К.В. Аржанов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
E-mail: otdef11@tomsk.yandex.ru

*Приведены результаты проектирования автоматической системы наведения на Солнце фотоэлектрической энергетической установки с минимизацией энергопотребления электроприводами при наведении.*

#### Ключевые слова:

Фотоэлектрическая энергетическая установка, солнечная батарея, микроконтроллер, минимизация энергопотребления, автоматическое слежение за Солнцем.

#### Key words:

Photovoltaic power plant, solar battery, microcontroller, minimization of power consumption, automatic tracking of the sun.

В Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) разработана фотоэлектрическая энергетическая установка (ФЭУ) с автоматическим слежением солнечных батарей за Солнцем. Реализация автоматического слежения за Солнцем позволяет повысить энергетическую эффективность ФЭУ не менее чем на 30 % [1]. При этом в режиме наведения солнечных батарей на Солнце проведена минимизация потребления электрической энергии электроприводами. На рис. 1 приведена фотография разработанной в ТУСУРе ФЭУ. Блочная схема ФЭУ приведена на рис. 2, где М1, М2 — шаговые

двигатели; ДШД1, ДШД2 — драйверы шаговых двигателей; КНС — контроллер наведения на Солнце; СБ — солнечная батарея; БДПС — блок датчиков положения Солнца; БКВ X, БКВ Y — блоки конечных выключателей, Р1, Р2 — редукторы; КЗАБ — контроллер заряда аккумуляторной батареи; И — инвертор; АБ1, АБ2 — аккумуляторные батареи.

В ФЭУ используется: две солнечные батареи типа КСМ-190, инвертор с синусоидальным выходом типа TS 1000-224, два последовательно соединенных аккумулятора типа TUDOR T12V 155FT, два шаговых двигателя типа ШД-5Д, два драйвера ша-