

УДК 621.313.29:621.876.114

В.В. Булгар, канд. техн. наук, проф.,
А.А. Бойко, канд. техн. наук, доц.,
Д.А. Івлєв, інженер,
Одес. нац. політехн. ун-т

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА БЕЗРЕДУКТОРНОЙ ЛЕБЕДКИ ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА

В.В. Булгар, А.А. Бойко, Д.А. Івлєв. Регульований електропривод постійного струму безредукторної лебідки пасажирського ліфта. Проведено аналіз можливих рішень щодо створення безредукторних лебідок для пасажирських ліфтів і показано переваги безредукторного регульованого привода. В якості електропривода лебідки пропонується застосування двигуна постійного струму з безобмотковим ротором із заміною електромеханічного колектора напівпровідниковим комутатором з ШИМ-регулятором. Приведено результати експериментальних досліджень безколекторного регульованого електропривода для безредукторної лебідки пасажирського ліфта, що підтвердили високу швидкість привода на різних частотах обертання двигуна.

Ключові слова: безредукторна лебідка, безобмотковий ротор, комутатор, електромеханічна стала, швидкість привода.

В.В. Булгар, А.А. Бойко, Д.А. Івлєв. Регулируемый электропривод постоянного тока безредукторной лебедки пассажирского лифта. Проведен анализ возможных решений по созданию безредукторных лебедок для пассажирских лифтов и показаны достоинства безредукторного регулируемого привода. В качестве электропривода лебедки предлагается применение двигателя постоянного тока с безобмоточным ротором с заменой электромеханического коллектора полупроводниковым коммутатором с ШИМ-регулятором. Приведены результаты экспериментальных исследований бесколлекторного регулируемого электропривода для безредукторной лебедки пассажирского лифта, которые подтвердили высокое быстродействие привода на разных частотах вращения двигателя.

Ключевые слова: безредукторная лебедка, безобмоточный ротор, коммутатор, электромеханическая постоянная, быстродействие привода.

V.V. Bulgar, A.A. Boyko, D.A. Ivlev. Variable speed direct-current drive of a gearless windlass of a passenger lift. An analysis of possible solutions for the creation of gearless lift drives for passenger lifts has been carried out and the advantages of the controlled gearless electric drive have been demonstrated. It is proposed to use direct-current motor with a windingless rotor as an electric drive of passenger lifts, with the electromechanical motor commutator being replaced by a solid-state switch with a PWM controller. The results of experimental studies of a brushless controlled electric drive for the gearless lift drive of a passenger lift are adduced, which confirmed superior properties of the electric drive at different engine speeds.

Keywords: gearless windlass/lift drive, windingless rotor, commutator, electromechanical time constant, high speed of electric drive.

Абсолютное большинство пассажирских лифтов, которые установлены в жилых домах и административных зданиях еще в 70-х годах прошлого столетия, отработали расчетные сроки эксплуатации и требуют срочной замены или модернизации.

Наиболее распространены лифты с прямой подвеской кабины, грузоподъемностью от 400 до 1000 кг и скоростью перемещения кабины 1м/с. Наиболее энергоемкой и материалоемкой частью таких пассажирских лифтов является лебедка, в которую входит асинхронный нерегулируемый электродвигатель, канатоведущий шкив и червячный редуктор.

Наличие механического редуктора в электроприводе любого механизма уменьшает его КПД, надежность и усложняет эксплуатацию в целом.

Проблема перехода к безредукторным вариантам электроприводов механизмов является актуальной и призванной повысить экономичность и надежность в работе всего оборудования [1].

Перевод электроприводов пассажирских лифтов на безредукторное исполнение встречает значительные трудности из-за отсутствия тихоходных приводных двигателей. Разработке новых прогрессивных конструкций тихоходных электродвигателей для безредукторных лебедок посвящена данная работа.

Безредукторный привод имеет неоспоримые достоинства, такие как высокая динамика, статистическая и динамическая точность, упрощенное техническое обслуживание и сохранение неизменными основных параметров привода в течение всего срока эксплуатации. При этом безредукторный привод должен иметь КПД не ниже, а желательно выше, чем КПД аналогичного привода с редуктором, а также относительно низкие массу и габариты в сравнении с общей массой двигателя и редуктора.

Для решения проблемы перехода к безредукторному электроприводу лебедки пассажирского лифта разработаны конструктивные схемы двигателей постоянного тока с безобмоточным ротором (ДПТБР) цилиндрического и торцевого типа [2,3]. Эти двигатели не имеют общего ядра статора. На рисунках 1 и 2 представлены конструктивные решения ДПТБР торцевого типа с электромагнитным возбуждением. Ротор двигателя представляет собой несколько ферромагнитных полюсов 1, закрепленных на немагнитном диске 2 (рис. 1, а).



Рис. 1. Двигатель постоянного тока с безобмоточным ротором: ротор(а), статор(б)

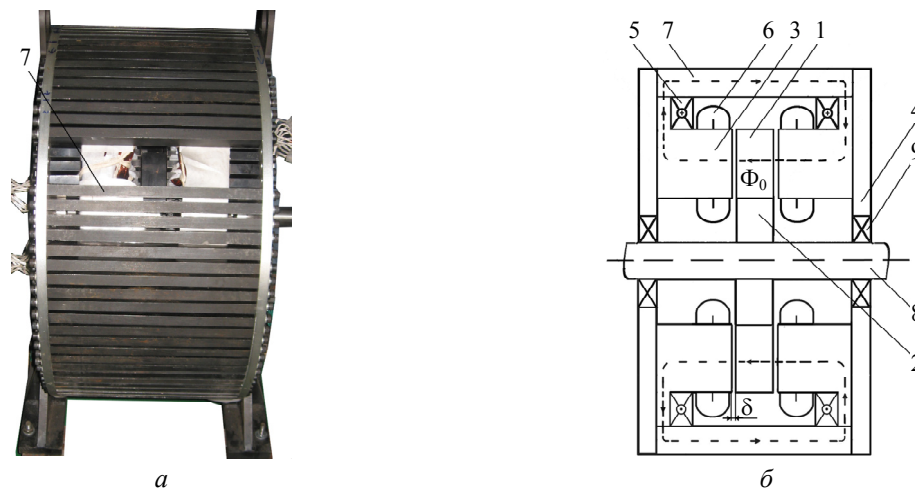


Рис. 2. ДПТБР: внешний вид (а), разрез по внешнему виду (б)

Статор двигателя состоит из ряда отдельных магнитно несвязанных ферромагнитных элементов (зубцов) 3, закрепленных на немагнитном торцевом щите 4 (рис. 1, б). На внутренней поверхности статора расположена тороидальная катушка обмотки возбуждения 5. Зубцы 3 образуют зубцовые зоны, в промежутках (пазах) которых уложены проводники обмотки якоря 6.

В минимальной комплектации ДПТБР состоит из двух неподвижных статоров, связанных поперечными ферромагнитными стержнями 7, между которыми вращается ротор, отделенный от статоров рабочим воздушным зазором δ . Замкнутую магнитную цепь двигателя совместно образуют зубцы 3, поперечные стержни 7 и полюса 1, отделенные от зубцов рабочим воздушным зазором δ (рис. 2).

Такое конструктивное решение двигателя постоянного тока с безобмоточным ротором позволяет резко ослабить реакцию якоря и в два раза повысить перегрузочную способность по току, сократить расход обмоточной меди за счет отсутствия дополнительных полюсов и компенсационной обмотки, существенно улучшить условия теплоотвода через конструктивные зазоры между стержнями статора, улучшить энергетические показатели.

Масса вращающегося ротора ДПТБР в три раза меньше, чем у двигателя классической конструкции, пропорционально уменьшается и момент инерции. При этом увеличивается быстродействие двигателя, а значит, электропривода в целом. При таком уменьшении момента инерции ротора потери энергии в переходных режимах в ДПТБР на порядок ниже, чем у классического двигателя постоянного тока.

Подобная конструкция ДПТБР обеспечивает модульный принцип их изготовления последовательным чередованием дискового ротора и модуля якоря.

Если в такой конструкции ДПТБР дополнительно установить на вращающемся роторе постоянные магниты (т.е., применить комбинированное возбуждение), чередующиеся с ферромагнитными полюсами, то это позволит в два раза увеличить мощность ДПТБР при неизменных массогабаритных показателях двигателя.

Известно, что у низкоскоростных машин постоянного тока (МПТ) классического типа с цилиндрическим якорем для сохранения высокого КПД нужно увеличивать массу обмотки и соответственно главные размеры, выбирая проводники большего сечения $S_{пр}$ при меньшей плотности тока i_a . Однако, при использовании ДПТБР торцевого типа указанное увеличение массы обмотки, а соответственно и высоты паза магнитопровода якоря оказывает не столь значительное влияние на массу двигателя, т.к. торцевые машины имеют большее отношение диаметра к длине, т.е. осевому размеру. Следовательно, увеличение массы обмотки якоря не приводит к существенному увеличению основного размера торцевой машины — ее диаметра.

У ДПТБР цилиндрического типа сохранение высокого КПД и меньшей массы при низких оборотах достигается за счет увеличения числа полюсов при наличии только одной общей обмотки возбуждения и полом роторе [4].

Механический коллектор был и остается одним из наиболее сложных узлов электрической машины, обладающим пониженной надежностью и существенно ограничивающим области использования электрических машин.

Быстро совершенствуется и внедряется в практику новый класс электромеханических преобразователей — бесконтактные электрические машины постоянного тока. Это машины, представляющие органическое объединение собственно электрической машины и полупроводникового преобразователя.

Бесконтактные машины постоянного тока, вследствие отсутствия механического скользящего контакта, допускают большие токи перегрузки в момент пуска, разгона и торможения. Есть все основания ожидать, что бесколлекторные электрические машины с полупроводниковыми коммутаторами будут совершенствоваться и постепенно вытеснять коллекторные машины.

Работа по созданию бесколлекторной электрической машины постоянного тока с безобмоточным ротором позволила не просто заменить механический коллектор на бесконтактные полупроводниковые элементы, а разработать, выполнить и исследовать четырех квадрантный лифтовый безредукторный электропривод с ШИМ-регулированием с применением регуляторов тока, скорости и положения.

Принцип поочередной коммутации секций обмоток якоря электрической машины положен в основу разработки полупроводникового коммутатора. Коммутация секций обмоток якоря осуществляется по сигналам датчика положения ротора [5]. Структурная схема коммутатора изображена на рис. 3.

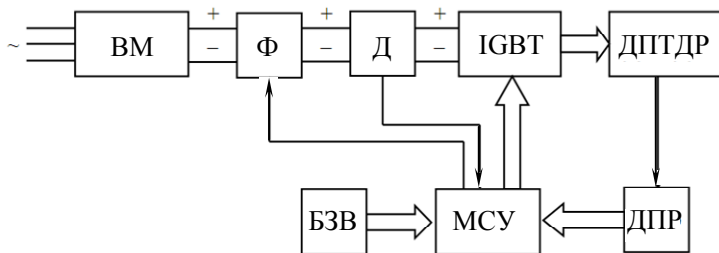


Рис.3. Структурная схема коммутатора для бесколлекторного привода постоянного тока:
 ВМ — выпрямительный мост; Ф — фильтр с разрядным устройством; Д — датчики тока и напряжения; IGBT — IGBT модули; ДПТДР — двигатель постоянного тока с дисковым ротором; БЗВ — блок задающих воздействий; МСУ — микропроцессорная система управления; ДПР — датчик положения ротора

Коммутатор состоит из двух основных составляющих: силовой части и системы управления. С учетом наличия 12 секций обмоток и необходимости формирования четырех квадрантов электромеханических характеристик, силовая часть коммутатора должна содержать 24 полупроводниковых силовых ключа. В качестве полупроводниковых силовых ключей используется 4 интеллектуальных силовых IGBT модуля компании Mitsubishi, каждый из которых содержит в себе 6 силовых транзисторов с обратными диодами, а также драйверы для управления их затворами.

Помимо этого, интеллектуальные модули имеют защиту от коротких замыканий и перегрузок по току, защиту от понижения напряжения, а также от превышения температуры теплоотвода. Все эти достоинства IGBT модулей в значительной степени упростили схемотехнику силовой части устройства, уменьшили габаритные размеры и повысили надежность коммутатора. К силовой части коммутатора относится также неуправляемый трехфазный выпрямительный мост и фильтр с разрядным устройством.

Система управления относится к цифровым системам. Она построена на микроконтроллере семейства AVR Atmega32 и позволяет осуществлять контроль, управления и регулирования системы электропривода в целом. В ее состав входит 5 основных модулей: модуль приема информации от датчика положения ротора, модуль приема информации от блока задающих воздействий, модуль контроля, модуль регуляторов и широтно-импульсный преобразователь.

Информация от всех модулей микропроцессорной системы подается на широтно-импульсный преобразователь, и за счет двухполярной широтно-импульсной модуляции ведется коммутация обмоток и ШИМ-управление двигателем.

На рис. 4 приведены экспериментальные осциллограммы формы напряжения (рис. 4, а) на одной из секций обмотки якоря, а также тока двигателя (рис. 4, б) при частоте коммутации ШИМ 5 кГц и скважности $\lambda=0,5$.

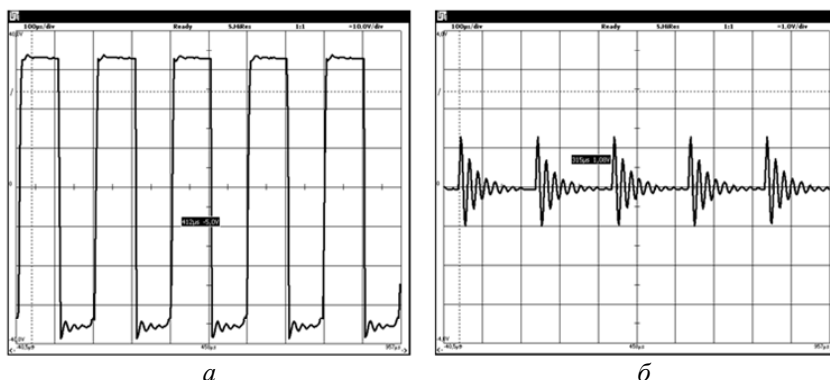


Рис. 4. Экспериментальные осциллограммы формы напряжения (а) и тока (б) в секции обмотки якоря

Применение полупроводникового коммутатора с ШИМ-регулятором позволяет регулировать частоту вращения приводного двигателя во всех четырех квадрантах. Применение регуляторов тока, скорости и положения обеспечивает формирование необходимых характеристик привода безредукторной лебедки.

Проведены экспериментальные исследования полупроводникового коммутатора с ШИМ-регулированием и электрического двигателя постоянного тока торцевого исполнения с дисковым безобмоточным ротором со следующими характеристиками: $P_n=5$ кВт; $U_n=220$ В; $n_n=600$ об/мин.

Динамические характеристики бесколлекторного регулируемого электропривода изображены на рис. 5. Осуществлялся прямой пуск, реверс и торможение двигателя.

Экспериментальным путем по переходным процессам электропривода установлено, что электромеханическая постоянная $T_M=0,11$ с, что в 4 раза меньше, чем у двигателя классической конструкции подобной мощности. Время переходного процесса $t_n=0,32$ с, что подтверждает высокое быстродействие привода. Проведены испытания регулировочных свойств электропривода. Получены результаты устойчивой работы в диапазоне изменения скорости от 600 до 60 об/мин.

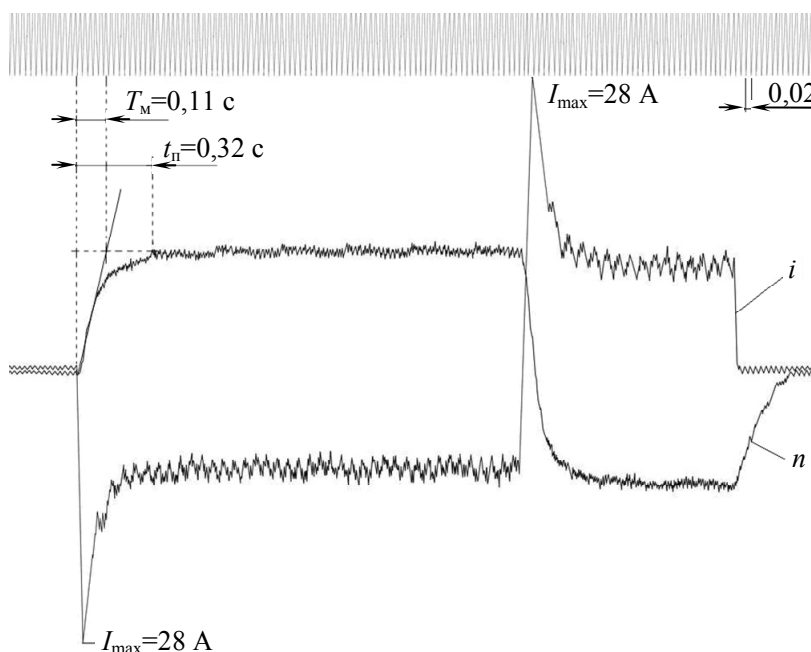


Рис. 5. Динамические характеристики бесколлекторного привода

Замена электромеханического коллектора на полупроводниковый коммутатор с ШИМ-регулированием в двигателе постоянного тока с безобмоточным ротором позволила создать бесколлекторный регулируемый электропривод для лебедки пассажирского лифта.

Выводы:

— Исследована возможность перехода к безредукторным лебедкам в существующих пассажирских лифтах массового применения с использованием низкоскоростных двигателей постоянного тока с безобмоточным ротором торцевого исполнения.

— Замена электромеханического коллектора в двигателе постоянного тока с безобмоточным ротором на полупроводниковый коммутатор с ШИМ-регулятором позволила создать регулируемый низкооборотный электропривод с формированием необходимых характеристик для безредукторной лебедки пассажирского лифта во всех четырех квадрантах регулирования.

— Экспериментальные исследования двигателя постоянного тока с безобмоточным ротором торцевого исполнения и полупроводникового коммутатора с ШИМ-регулированием подтвердили высокие регулировочные свойства и быстродействие электропривода.

Литература

1. Вимоги до приводного двигуна безредукторної лебідки пасажирського ліфта / О.А. Андрющенко, В.В. Булгар, А.О. Бойко, Д.А. Івлєв // Електротехн. та комп'ют. системи. — 2011. — № 3(79). — С. 163 — 166.
2. Патент 78249 Україна, Безконтактний двигун постійного струму з дисковим ротором / В.В. Булгар, В.В. Гололобов, А.Д. Івлєв, О.В. Яковлев // Бюл. — 2007. — № 3.
3. Патент 89072 Україна, Торцевий електричний двигун постійного струму з комбінованим збудженням / В.В. Булгар, А.Д. Івлєв, Д.А.Івлєв, О.В.Яковлев.// Бюл. — 2009. — № 24.
4. Булгар, В.В. Применение двигателей постоянного тока с безобмоточным ротором в низкоскоростных безредукторных электроприводах / В.В. Булгар, Д.А. Ивлєв // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2010. — Вып. 1(33) — 2(34) — С. 99 — 104.
5. Бибик, А.В. Полупроводниковый ШИМ-коммутатор для системы безредукторного привода пассажирского лифта на базе бесколлекторного двигателя постоянного тока с дисковым ротором / А.В. Бибик // Вестн. НТУ «ХПИ»: «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». — 2010. — № 28. — С. 615 — 616.

References

1. Vymohy do pryvodnoho dvyhuna bezreduktornoї lebidky pasazhyrskoho lifta [The requirements to the driving motor of the passenger lift reducer-free winch] / O.A. Andriushchenko, V.V. Bulhar, A.O. Boiko, D.A. Ivliev // Elektrotekh. ta kompiut. systemy. [Electrical and Computer Systems.] — 2011. — #03 (79). — pp. 163 — 166.
2. Patent 78249 Ukraina, Bezkontaktnyi dvyhun postiinoho strumu z dyskovym rotorom [Commutatorless direct-current motor with a disk rotor] / V.V. Bulhar, V.V. Hololobov, A.D. Ivliev, O.V. Yakovlev // Bul. — 2007. — # 3.
3. Patent 89072 Ukraina, Tortsevyi elektrychnyi dvyhun postiinoho strumu z kombinovanim zbudzhenniam [Front end DC electric motor with combined excitation] / V.V. Bulhar, A.D. Ivliev, D.A.Ivliev, O.V.Yakovlev.// Bul. — 2009. — #24.
4. Bulgar V.V. Primenenie dvigateley postoyannogo toka s bezobmotochnym rotorom v nizkoskorostnykh bezreduktornykh elektroprivodakh [Application of direct-current motors with a windingless rotor in low-speed gearless electric drives] / V.V.Bulgar, D.A. Ivlev // Proc. of the Odessa polytechnic university — # (33) — 2(34). — pp. 99 — 104.
5. Bibik A.V. Poluprovodnikovyy ShIM-kommutator dlya sistemy bezreduktornogo privoda passazhirskego lifta na baze beskollektornogo dvigatelya postoyannogo toka s diskovym rotorom [Semiconductor PWM-switchboard for the gearless drive system of a passenger lift on the basis of commutatorless direct-current motor with a disk rotor] / A.V. Bibik // Problems of automated electric drives. Theory and practice — 2010. — # 28 — pp. 615— 616.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Водичев В.А.

Поступила в редакцию 12 ноября 2013 г.