

ОТЗЫВ

официального оппонента Носа Олега Викторовича
на диссертационную работу Тарнецкой Александры Викторовны
“Энергоэффективный электропривод ленточного конвейера на базе
безредукторного синхронного мотор-барабана”,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы диссертации

В настоящее время стоимость электрической энергии при добыче полезных ископаемых подземным способом составляет порядка 7–20 % от всех суммарных финансовых затрат, причем их большая часть связана с доставкой сырья на поверхность конвейерным транспортом. Очевидным также является и тот факт, что в дальнейшем, по мере заглубления горных выработок, данное процентное соотношение будет только возрастать. В этой связи энерго-сберегающее управление статическими и динамическими режимами работы конвейера, которое зависит от конкретного типа исполнительного двигателя переменного тока, силового преобразователя и передаточного устройства, будет во многом определять эффективность всей добычи в целом.

Современный тяговый электропривод, приводящий в движение барабан конвейера через редуктор с целью обеспечения плавного запуска ленты и возможности в ряде случаев ступенчатого регулирования скорости в ручном режиме, как правило, состоит из асинхронной машины с преобразователем частоты или полупроводниковым устройством плавного пуска с номинальным напряжением 690 В, первичные цепи которых подключены через понижающий трансформатор к распределительной линии 6 кВ. При этом каждый из описанных выше элементов электромеханической системы может быть заменен на альтернативный с более высоким коэффициентом полезного действия без особого ухудшения технико-экономических показателей. В частности, для диапазона среднего класса напряжений 3-10 кВ, одним из практических подходов к улучшению энергетических характеристик данного типа общепромышленных механизмов может выступать совместное применение высоковольтного синхронного двигателя с постоянными магнитами, имеющего низкие среднеквадратичные потери вследствие отсутствия в его конструкции отдельной обмотки возбуждения и токов намагничивания, и преобразователя частоты, автономный инвертор которого реализован на основе

многоуровневой топологии. При этом для повышения эксплуатационной надежности желательно отказаться от редуктора, конструктивно объединив часть технологического оборудования в единое целое, а также формировать задающее воздействие на частоту вращения в функции текущего значения грузопотока.

В этой связи диссертационная работа Тарнецкой А. В., посвященная решению данной научно-прикладной задачи, связанной с разработкой энергоэффективного синхронного электропривода шахтного ленточного конвейера на базе безредукторного мотор-барабана, является актуальной.

Научная новизна

В соответствии с исходными данными о конкретном типе конвейера, номинальном грузопотоке и напряжении питающей линии 6 кВ шахты ООО “Галдинская-Кыргайская”, Тарнецкой А. В. в программной среде “Mag-netSolve” был выполнен расчет рабочих характеристик синхронной машины с магнитоэлектрической системой возбуждения мощностью 690 кВт, которая в рамках базовой концепции мотор-барабан является практической основой для построения высокоэффективных тяговых электроприводов переменного тока с безредукторным вариантом конструктивного исполнения.

В процессе САД-проектирования автор не только определила параметры электрической машины, такие как индуктивность, активные сопротивления, геометрию рабочей зоны и т. д., но и выполнила оценку влияния неоднородности магнитного поля в воздушном зазоре на пульсационные составляющие электромагнитного момента, которые были учтены при последующем цифровом моделировании.

В соответствии с выполненным в диссертации сравнительным анализом наиболее распространенных на практике способов регулирования скорости ротора электрических машин переменного тока и различных топологий силовой части высоковольтного преобразователя частоты, в работе был осуществлен выбор прямого управления моментом мотор-барабана с питанием от многоуровневого автономного инвертора напряжения на базе H-мостов, как наиболее рационального для данного технического приложения. В свою очередь нормированное качество переходных и установившихся процессов по двумерному вектору выхода достигалось за счет приведения желаемого состояния внешней и внутренней подсистемы в разомкнутом состоянии к техническому и симметричному оптимуму.

Как показало выполненное цифровое моделирование в программном продукте “MATLAB/Simulink”, разработанная электромеханическая система

переменного тока обеспечивает автоматическое движение ленты, заданная скорость которой формируется с помощью задатчика интенсивности в функции текущей величины грузопотока.

В соответствии с вышеизложенным можно сделать вывод, что Тарнецкой А. В. был предложен альтернативный вариант построения электропривода ленточного конвейера с заменой его традиционных составляющих на более энергоэффективные компоненты, технико-экономическая обоснованность которой подтверждена как представленными расчетами, так и рекомендацией к внедрению результатов диссертационного исследования предприятием ООО “Завод Электромашина”.

Теоретическое и прикладное значение результатов диссертационной работы

Разработанный автором безредукторный тяговый электропривод спроектирован под габаритные размеры барабана ленточного конвейера шахты ООО “Талдинская-Кыргайская” и является эффективной заменой существующей структуры, построенной на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и многоступенчатым редуктором. Полученные в данной части диссертационного исследования научно-практические результаты могут быть успешно применены в процессе проектирования однотипных тяговых электромеханических систем с другими техническими характеристиками и в дальнейшем совершенствоваться, например, в направлении снижения среднеквадратичных потерь в фазных обмотках статора или повышения коэффициента мощности.

Синтезированный алгоритм прямого управления моментом с пространственно-векторной модуляцией для регулирования угловой скорости синхронного мотор-барабана обеспечивает желаемое качество движения ленты конвейера. Данная структура управляющего устройства может быть принята за основу при дальнейших теоретических исследованиях в области оптимизации режимов работы шахтного оборудования, а разработанная Тарнецкой А. В. математическая модель электромеханической системы с упругими звеньями использоваться для анализа процессов перемещения грузов с другой технологической схемой.

Прикладная значимость полученных результатов заключается в повышении коэффициента полезного действия конвейерного транспорта не менее чем на 5 %, что приводит к снижению потребления электрической энергии при добыче полезных ископаемых подземным способом не менее чем на 30 %.

Достоверность и обоснованность научных положений и результатов работы

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций базируется на обобщении данных из научно-технических источников, включая зарубежные публикации, корректном применении теории электропривода, электрических машин и автоматического управления, прикладной механики, математических методов численного решения дифференциальных уравнений и конечно-элементного моделирования.

Замечания по диссертационной работе

1. При анализе различных способов снижения амплитуды мультигармонических пульсаций электромагнитного момента синхронного двигателя с постоянными магнитами, вызванных несинусоидальным распределением плотности магнитного потока по периферии воздушного зазора и неравномерностью распределения магнитной проницаемости статора, описаны только конструктивные методы. В тоже время более эффективным подходом является применение современных законов управления или модификации традиционных структур управляющего устройства, например, с помощью использования итерационных таблиц поиска или включения резонансной компоненты в состав соответствующего регулятора.

2. Изображенная на рисунке 3.3 топология силовой схемы преобразователя частоты относится к классу 11-ти уровневых автономного инвертора, а не 5-ти уровневых, как указано в тексте.

3. Формула (3.3), описывающая переход из двумерного неподвижного базиса α, β во вращающуюся систему координат d, q , является не обратным преобразованием E. Clarke, как это указано на странице 54, а прямым преобразованием R. H. Park.

4. В третьей главе не рассмотрены вопросы построения и принципа действия динамической подсистемы оценки текущих значений момента синхронной машины и модуля вектора потокосцеплений статора, по выходу которой осуществляется передача информации в каналах отрицательной обратной связи во внешних контурах регулирования.

5. Синтезированная структура ПИД-регулятора токов статора не может обеспечить нормированное качество переходных процессов по угловой скорости вала, которое соответствует симметричному оптимуму, в силу того,

что результирующая передаточная функция в замкнутом состоянии имеет второй порядок.

6. При анализе пространственно-векторной ШИМ учитывались не все реализуемые состояния фазных напряжений силового преобразователя, число которых для 11-ти уровневой инвертора равно 1331. При этом для данной конфигурации более предпочтительной является скалярная ШИМ с предмодуляцией третьей гармоникой и угловым смещением опорных сигналов (phase shifted PWM).

7. Выбор в качестве сравнительного критерия оценки достоинств и недостатков прямого управления моментом синхронного двигателя по отношению к традиционному векторному алгоритму в виде получившийся при моделировании величины перерегулирования является некорректным, т. к. данный показатель полностью определяется принятой на начальном этапе синтеза желаемой настройкой, которая может быть выбрана из требования монотонности переходных процессов.

8. В работе отсутствует какое-либо обоснование математического описания динамических свойств многоуровневого преобразователя частоты в виде стационарного апериодического звена с постоянной времени 0,5 мс, величиной которой без особой потери точности можно пренебречь с учетом длительности пуско-тормозных режимов работы тягового электропривода, составляющих единицы-десятки секунд.

Имеющиеся по диссертационной работе замечания носят непринципиальный характер и не снижают общей положительной оценки полученных научно-прикладных результатов.

Заключение по диссертационной работе

По актуальности, объему, содержанию, новизне и практической ценности полученных результатов диссертация Тарнецкой А. В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения, направленные на повышение энергоэффективности тяговых электроприводов ленточных конвейеров.

Диссертация “Энергоэффективный электропривод ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана”, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям раздела 2 “Положения о присуждении ученых степеней” федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Санкт-Петербургский горный университет”, утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839адм, а ее

автор Тарнецкая Александра Викторовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
д-р техн. наук, доцент,
профессор кафедры проектирования
технологических машин Новосибирского
государственного технического
университета

7 декабря 2020 г.



Нос Олег Викторович

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, V корпус, к. 253^А

Телефон: +7 (383) 346-11-77

e-mail: nos@corp.nstu.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Новосибирский государственный технический университет”

Подпись Носа Олега Викторовича заверяю:

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ НГТУ

**ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК,
ПРОФЕССОР**

ШУМСКИЙ Г. М.

