

тодом моделирования переходных процессов на ЭВМ. Результаты, полученные при моделировании, свидетельствуют о том, что спроектированный электропривод имеет хорошие динамические показатели и отвечает всем требованиям, предъявляемым к пассажирским лифтам.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов – М.: ФОРУМ, 2010. – 352 с.: ил.
2. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов.– М.: Энергия, 1980.– 360 с. :ил.
3. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./Под общ.ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. Т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1988.- 456 с.
4. Петрович В.П., Воронина Н.А., Глазачев А.В. Силовые преобразователи электрической энергии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009 г. – 240 с.
5. Колесник А.Г., Воронина Н.А.// Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи : материалы III российской молодежной научной школы-конференции, г.Томск, 2015 г. – С.164-168.
6. L.A. Payuk, N.A. Voronina, O.V. Galtseva, “Energy Characteristics of Electric Drive of Oscillatory Motion at the Shock-Free Start”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 671, 2016, 012044, <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/671/1/012044>
7. L.A. Payuk, O.A. Grechko, N.A. Voronina, “Grid Wind Power Plant with Compensation of Active and Reactive Power, Applied Mechanics and Materials”, vol. 792, 2015, pp. 379-385.

Научный руководитель: Н.А. Воронина, к.т.н., кафедра ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ ГИБРИДНОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

¹Е.П. Сенькив, ²И.А. Розаев

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, ¹гр. 5АМ65

В настоящее время наметилась устойчивая тенденция применения схемы совместного использования электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания (ДВС), что дает возможность избежать работы ДВС в режиме небольших нагрузок, а также повысить топливную эффективность силовой установки и реализовывать рекуперацию кинетической энергии. Преимущества: экономная эксплуатация, экологическая чистота, улучшенные ходовые характеристики, увеличение дальности пробега, сохранение и повторное использование энергии,

обычная заправка топливом. Недостатки: высокая сложность, утилизация аккумуляторов, подогрев салона, опасность для пешеходов (из-за своей бесшумности).

Одним из основных элементов электромобиля является – электродвигатель, который служит для создания необходимого для движения крутящего момента. В качестве тягового электродвигателя используют трехфазные асинхронные электрические машины переменного тока мощностью от 15 до 200 и более кВт. ДВС электродвигатель имеет высокую эффективность и меньшие потери энергии. КПД электродвигателя составляет 90% против 25% у ДВС.

Требуемая мощность двигателя в зоне длительной работы с постоянным потоком можем рассчитать по следующей формуле:

$$P_{mp} = g \cdot F_{тр} \cdot m \cdot V \cdot C_x \cdot S \cdot V^2 + g \cdot m \cdot \sin \alpha = \\ = 9.8 \cdot 0.092 \cdot 1525 \cdot 45 + 2 \cdot 2.1 \cdot (45)^2 + 9.8 \cdot 1525 \cdot \sin 20 = 75,$$

где g – ускорение свободного падения; $F_{тр}$ – трение качения по асфальту; m – полная масса транспортного средства; V – скорость движения, максимальная; C_x – коэффициент обтекаемости; S – лобовая площадь кузова; α – угол наклона дорожного полотна.

Основными преимуществами электродвигателя являются: реализация максимального крутящего момента во всем диапазоне скоростей; возможность работы в двух направлениях без дополнительных устройств; простота конструкции, воздушное охлаждение; возможность работы в режиме генератора.

Функциональные возможности отказоустойчивого асинхронного электропривода для гибридного транспортного средства. Асинхронный трехфазный двигатель подключен к преобразователю частоты, выполненному по мостовой схеме на шести ключах и подключенному по цепям питания к накопителю электрической энергии. В этом случае в рабочем трехфазном режиме создается круговое вращающееся поле и в обмотках двигателя протекают трехфазные токи с фазовым сдвигом $2\pi/3$.

При обрыве обмотки статора в приводном двигателе или отказе одного из ключа в преобразователе частоты приводного двигателя круговое вращающееся поле рабочего двигателя, после аварии становится пульсирующим с нулевым вращающим моментом, так как процесс формирования трехфазных токов зависит от протекающего тока в соседней фазе двигателя. В двух работоспособных фазах, токи будут иметь весьма похожую амплитуду с фазовым сдвигом π . При подключении нулевого провода асинхронных двигателей выходным напряжением бортового источника электрической энергии в трехфазном рабочем режиме, также будут формироваться трехфазные токи, но протекание токов в каждой фазе теперь не будет зависеть от соседней фазы. И при потере работоспособности одной из фаз в двух оставшихся фазах будут формироваться двухфазные токи с фазовым сдвигом $2\pi/3$. Поле в зазоре электрической машины будет эллиптическим. Активная мощность двигателя упадет на 33% и эллиптическое поле не обеспечит равномерности вращения двигателя, но будет обеспечена ограниченная функциональность с формированием свойства живучести привода колеса. При соответствующем снижении на 33% мощности в соседнем при-

воде колеса управляемость транспортного средства будет восстановлена. Функциональная схема представлена на рис.1.

Работа отказоустойчивого гибридного транспортного средства. Водитель транспортного средства с пульта 10 (ПУ) съемным ключом зажигания подает на бортовой компьютер 9 (МК), сигнал включения бортового источника 1 (ИЭЭ) электропитания гибридного транспортного средства. Режим движения. При этом бортовой компьютер 9 (МК) подает управляющий сигнал на преобразователь 3 (ПЭЭ) для его подключения к силовым аккумуляторам накопителя 2 (НЭЭ) и преобразования постоянного напряжения указанных аккумуляторов в переменное трехфазное напряжение. Далее водитель включает направление движения транспортного средства рычагом «вперед-назад». При этом бортовой компьютер 9 (МК) выдает сигнал на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) для переключения статорных обмоток двигателей 6 (АД) в выбранное направление вращения привода колес 4.1 (ПК). Затем водитель педалью скорости движения транспортного средства задает через бортовой компьютер 10 (ПУ) на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) частоту трехфазного напряжения, пропорциональную скорости вращения привода колес 4.1 (ПК). При этом трехфазное напряжение заданной частоты электронного преобразователя 3.1 (ПЭЭ) подается одновременно на статорные обмотки двигателей 6 (АД), передних и/или задних колес 4.1 (ПК) в зависимости от выбранного водителем режима движения исходя из качества дороги и скоростных ограничений.

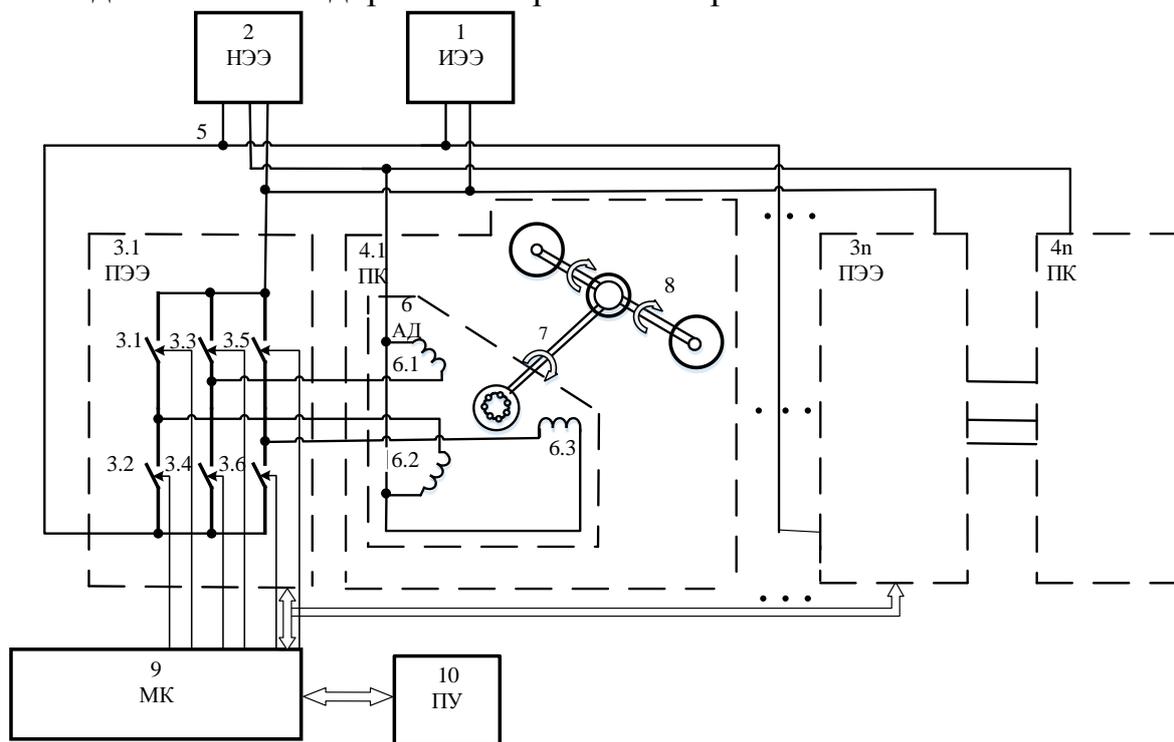


Рис. 1. Функциональная схема отказоустойчивого гибридного транспортного средства с одним приводом и дифференциальной передачей на два ведущих колеса

Работа отказоустойчивого гибридного транспортного средства. Водитель транспортного средства с пульта 10 (ПУ) съемным ключом зажигания подает на бортовой компьютер 9 (МК), сигнал включения бортового источника

1 (ИЭЭ) электропитания гибридного транспортного средства. Режим движения. При этом бортовой компьютер 9 (МК) подает управляющий сигнал на преобразователь 3 (ПЭЭ) для его подключения к силовым аккумуляторам накопителя 2 (НЭЭ) и преобразования постоянного напряжения указанных аккумуляторов в переменное трехфазное напряжение. Далее водитель включает направление движения транспортного средства рычагом «вперед-назад». При этом бортовой компьютер 9 (МК) выдает сигнал на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) для переключения статорных обмоток двигателей 6 (АД) в выбранное направление вращения привода колес 4.1 (ПК). Затем водитель педалью скорости движения транспортного средства задает через бортовой компьютер 10 (ПУ) на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) частоту трехфазного напряжения, пропорциональную скорости вращения привода колес 4.1 (ПК). При этом трехфазное напряжение заданной частоты электронного преобразователя 3.1 (ПЭЭ) подается одновременно на статорные обмотки двигателей 6 (АД), передних и/или задних колес 4.1 (ПК) в зависимости от выбранного водителем режима движения исходя из качества дороги и скоростных ограничений.

Нажатие водителем на педаль тормоза обеспечивает выдачу бортовым компьютером 9 команд на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) для переключения обмоток статора двигателей 6 (АД) на обратное движение и для изменения частоты напряжения, пропорциональной силе нажатия на педаль тормоза. При этом двигатели 6 (АД) переходят на режим генерации электроэнергии, а именно преобразования при торможении колес энергии инерции транспортного средства в электрическую энергию. При возникновении аварии: обрыве одной из фазы обмотки статора двигателя 6 (АД) происходит падение мощности, падает скорость движения. По управляющему входу в бортовой компьютер 9 (МК) поступает информация о снижении потребления тока электронным преобразователем 3.1 (ПЭЭ) и на пульте управления 10 (ПУ) появляется информация об аварии и о доступном остаточном ресурсе по мощности приводного двигателя 6 (АД). Скорость движения уменьшается. В случае пуска транспортного средства после не устраненной аварии процесс начала движения транспортного средства не отличается от нормальной эксплуатации, с учетом ограничений по сниженной мощности привода колеса, которая сохраняется в бортовом компьютере 10 (ПУ) и выводится на пульт управления 10 (ПУ). В схему заложено решение проблемы по отказоустойчивости асинхронного электропривода (рис. 1).

Выводы. Очевидно, что повышение отказоустойчивости неразрывно связано с живучестью электроприводов, обеспечивающих функциональные свойства электромобиля в заданных пределах. Обеспечить свойство живучести возможно на основе технологии построения избыточных систем, используя комбинацию следующих видов резервирования: структурного, функционального, временного, информационного и нагрузочного.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глухов Д.М. Моделирование многофазных асинхронных двигателей в аварийных режимах: автореферат Изд-во ТПУ, 2005. – 18 с.
2. Патент РФ на изобретение № 2460190(RU), Н02Н 7/09, Н02Н 7/12, Н02Н 7/122. Способ управления и обеспечения живучести трехфазного асинхронного двигателя вращательного или поступательного движения/ Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, Й. Центнер – № 2011113290; Заявл. 06.04.2011; Оpubл.27.08.2012 Бюл. № 24.
3. Однокопылов Г.И., Брагин А.Д. Исследование в среде *MatLab Simulink* трехфазного асинхронного электропривода в аварийном двухфазном режиме работы // «Технические науки — от теории к практике»: материалы XVI международной заочной научно-практической конференции. — Новосибирск, 2012. — с. 125-130.

Научный руководитель: Г.И. Однокопылов, к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСИЛИЙ В САМОТормозящихся ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

В.Е. Королев, И.С. Шлюев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Постановка проблемы. Нормальная эксплуатация грузоподъемных машин и механизмов и станков с числовым программным управлением (ЧПУ) невозможна без электродвигателей снабженных надежно действующими тормозными устройствами. Как показывает обзор современной патентной отечественной литературы и промышленно развитых зарубежных стран (Англия, Германия, Италия, США, Франция и т.д.), что до настоящего времени не удалось создать идеальных электродвигателей с тормозными устройствами [1, 2, 3].

Кроме этого технологические процессы грузоподъемных машин и механизмов и станков с ЧПУ на разных этапах работы требуют движение рабочего органа с различной скоростью, что обеспечивается в современных электроприводах путем электрического регулирования скорости и момента электродвигателя. Для решения этой задачи, как известно, применяют два основных метода частотного управления, а именно: скалярное управление и векторное управление [4].

Поэтому проблема создания компактных двигателей с тормозом и электрических схем торможения, позволяющих обеспечить с наименьшими затратами быстрый и точный останов и фиксацию вала механизма, остается актуальной, а исследования процессов в таких электродвигателях при частотном управлении имеют практическую ценность.