

РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ УНИФИЦИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО УЗЛА ТРАНСМИССИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ПРИВОДОМ ВЕДУЩИХ КОЛЕС

Сидоров К.М.¹, Ютт В.Е.¹, Лазарев Д.Б.¹

¹ ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Россия (125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64), e-mail: k.sidorov@bk.ru

В рамках научно-исследовательской работы, проводимой на кафедре «Электротехника и электрооборудование» МАДИ, изготовлен и испытан унифицированный электромеханический узел трансмиссии транспортного средства с индивидуальным приводом ведущих колес. В статье представлены результаты стендовых испытаний данной системы, включающей экспериментальные образцы колесной пары и блока управления двигателями, и ориентированной на использование в электромобилях, а также автомобилях с комбинированными энергетическими установками (КЭУ) для городских грузопассажирских перевозок. Полученные в ходе НИР результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при выполнении работ, связанных с разработкой и созданием перспективных транспортных средств - электромобилей и автомобилей с КЭУ.

Ключевые слова: тяговый электропривод, колесная пара, электрооборудование, экспериментальный образец, транспортное средство, испытания.

THE BENCH TESTS RESULTS OF UNIFIED ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION UNIT FOR AN INDIVIDUAL WHEELS DRIVE VEHICLE

Sidorov K.M.¹, Yutt V.E.¹, Lazarev D.B.¹

¹ Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI), Moscow, Russia (125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64), e-mail: k.sidorov@bk.ru

This paper presents the development results of an unified electromechanical unit of vehicle's transmission with individual wheel drive. As part of the research work carried out at the Department of «Electrical Engineering and Electric Equipment» MADI, manufactured and tested unified electromechanical transmission unit for an individual wheels drive vehicle. The results of practical implementation and bench testing of this system are examined. The results of bench tests of the system, including experimental models of wheel set and the control system, and intended for use in electric and hybrid vehicles for urban passenger transportation. Obtained during scientific research results of theoretical and experimental investigations can be used in the performance of work related to the design and development of advanced electric and hybrid vehicles.

Keywords: electric drive, traction system, wheel set, electric equipment, experimental model, vehicle, bench tests.

В настоящее время отечественный рынок силового оборудования, предназначенного для комплектации энергетических установок электромобилей или автомобилей с комбинированными энергетическими установками (КЭУ), только начинает формироваться. Обусловлено это, главным образом, тем, что внимание к перспективным транспортным средствам со стороны как автовладельцев, так и правительства, с каждым годом усиливается всё больше. На федеральном уровне начинают внедряться программы развития перспективных автотранспортных средств, участие в которых ведущих автоконцернов является неотъемлемой частью их реализации.

В связи с этим готовые технические решения, проработанные не только в теоретической части, но и реализованные в макетных образцах или готовой продукции,

являются востребованными в условиях развивающегося сегмента транспортной отрасли – автотранспортных средств (АТС) с электромеханическими трансмиссиями.

В рамках научно-исследовательской работы (НИР), проводимой на кафедре «Электротехника и электрооборудование» МАДИ, изготовлен и испытан унифицированный электромеханический узел трансмиссии транспортного средства с индивидуальным приводом ведущих колес. В статье представлены результаты стендовых испытаний данной системы, включающей экспериментальные образцы колесной пары (КП) и блока управления движителями (БУД), и ориентированной на использование в электромобилях, а также автомобилях с комбинированными энергетическими установками (КЭУ) для городских грузопассажирских перевозок.

Под колесной парой здесь понимается компонент ходовой части транспортного средства, включающий: ведущие колеса (ВК), движитель колесной пары (ДКП), устройства механической связи ВК и ДКП. В свою очередь, ДКП – узел колесной пары, в состав которого входят электродвигатель-генератор (ЭДГ) и элементы механической трансмиссии. В данной системе одну из ключевых ролей играет БУД – комплекс устройств, осуществляющих преобразование электрической энергии первичного источника и автоматическую реализацию оптимизированного управления ЭДГ в двигательном и генераторном режимах по заданию системного контроллера транспортного средства.

Основной задачей испытаний является практическая (экспериментальная) оценка функциональных и параметрических характеристик электрооборудования электропривода колесной пары. Методика испытаний экспериментальных образцов КП и БУД состоит в опытной оценке основных характеристик и зависимостей как отдельных компонентов колесной пары, так и результирующих показателей изготовленных образцов посредством прямого и косвенного измерения их электрических, тягово-энергетических и механических параметров.

Испытания экспериментальных образцов колесной пары и блока управления движителями в составе колесной пары осуществлялись с использованием специально оборудованного стенда, включающего: нагрузочные агрегаты, устройства управления, измерительную и регистрирующую аппаратуру. Следует отметить, что источником энергии при проведении стендовых испытаний являлась трехфазная сеть с последующим выпрямлением переменного напряжения в постоянное для питания БУД. Имитация нагрузки тяговых электродвигателей-генераторов колесной пары реализована при помощи управляемых нагрузочных машин постоянного тока. Состав и функциональная электрическая схема стенда для проведения экспериментальных исследований отражены на рис. 1.

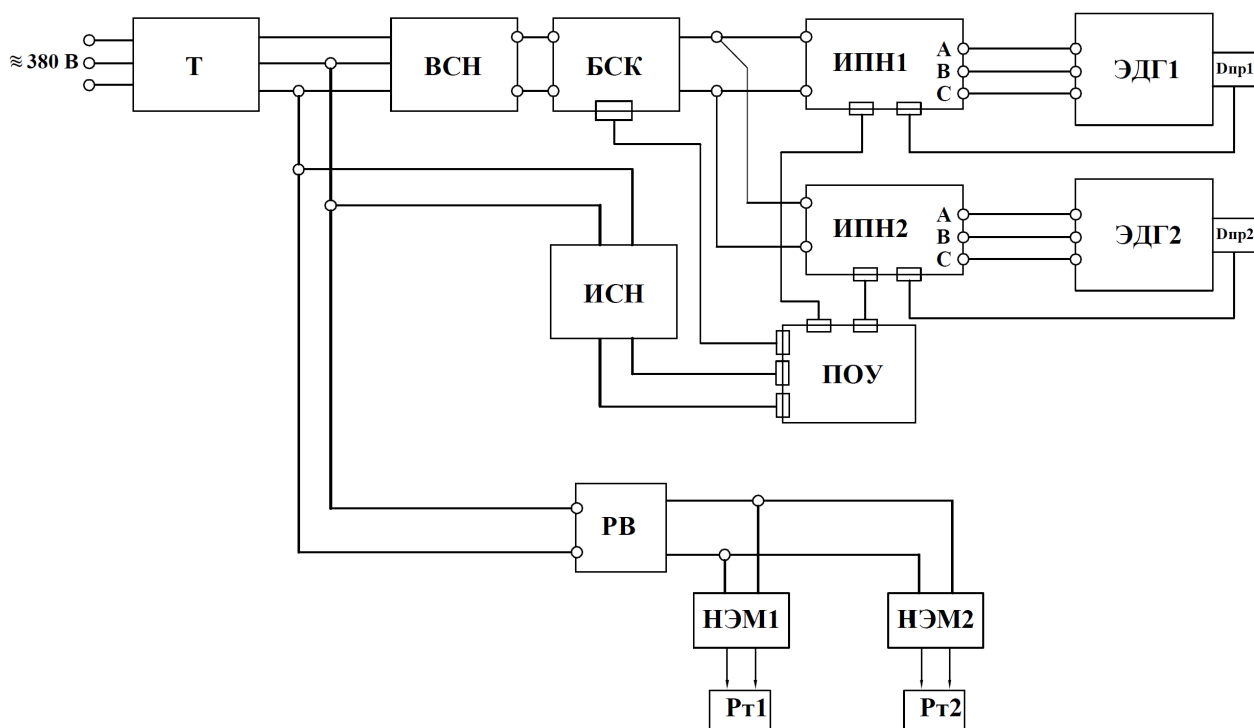


Рис. 1. Функциональная электрическая схема стенда испытаний экспериментальных образцов колесной пары и блока управления двигателями:

Т – управляемый трансформатор; *ВСН* – выпрямитель силового напряжения; *БСК* – блок силовой коммутации; *ИСН* – источник служебного назначения; *ИПН* – инвертор постоянного напряжения; *ПОУ* – пульт оперативного управления; *ЭДГ* – электродвигатель-генератор; *РВ* – регулятор возбуждения *НЭМ*; *НЭМ* – нагрузочная электромашина; *Рт* – регулятор тока *НЭМ*; *Дпр* – датчик положения ротора.

В ходе испытаний экспериментальных образцов получены следующие результаты.

- Зависимости сигнала управления (задания) пульта оперативного управления (ПОУ) от внешних воздействий.
- Зависимости выходных сигналов датчиков обратных связей (ДОС) по напряжению (D_U), току (D_I) и частоте вращения (D_f) от внешних воздействий.
- Характеристики выполнения оперативных функций блоком силовой коммутации (БСК).
- Результаты регистрации и оценки выходного напряжения U_ϕ и тока I_ϕ фаз ИПН.
- Определены характеристики двигателей колесной пары, в том числе:
 - зависимости крутящего момента ЭДГ от частоты f_2 при постоянных (заданных) величинах I_ϕ в пределах $I_{\text{фном.}} \leq I_\phi \leq 3I_{\text{фном.}}$ (рис. 2) с целью выявления зависимости частоты f_2 от величины I_ϕ при максимальных величинах $M_d = M_{\text{max}}$, определяющие оптимальную зависимость между M_d и I_ϕ (рис. 3).

-- выявлены механические характеристики ЭДГ и колесной пары (рис. 4 и 5). При этом была определена область регулирования механической характеристики ЭДГ $M_d(n)$ и колесной пары при оптимальной зависимости $M_d(I_\phi)$ в пределах частоты вращения ротора ЭДГ $0 \leq n \leq 1430 \text{ мин}^{-1}$ и максимальных моментов ЭДГ ($M_{D\text{макс}}=196 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{KП\text{макс}}=1900 \text{ Н}\cdot\text{м}$);

-- подтверждена возможность реализации плавного регулирования крутящего момента в диапазоне изменения частоты вращения ротора ЭДГ $0 \leq n_d \leq 2900 \text{ мин}^{-1}$ и ведущих колес $0 \leq n_{BK} \leq 580 \text{ мин}^{-1}$.

- Результаты регистрации и оценки качества переходных процессов в системе ИПН-ЭДГ при реализации заданий по режиму работы ЭП согласно типовому графику движения ТС, в том числе:

- устойчивое (без перерегулирования) достижение заданной величины I_ϕ по сигналу ПОУ;
- поддержание заданного I_ϕ в режиме разгона;
- переход на заданный I_ϕ в режиме, соответствующем равномерному движению ЭДГ;
- переход ЭДГ на генераторное (рекуперативное) торможение;
- снижение I_ϕ до $I_\phi = 0$ при остановке ТС;
- реверс вращения вала ЭДГ при реализации движения ТС в обратном направлении.

Основные результаты испытаний представлены на рис. 2-5.

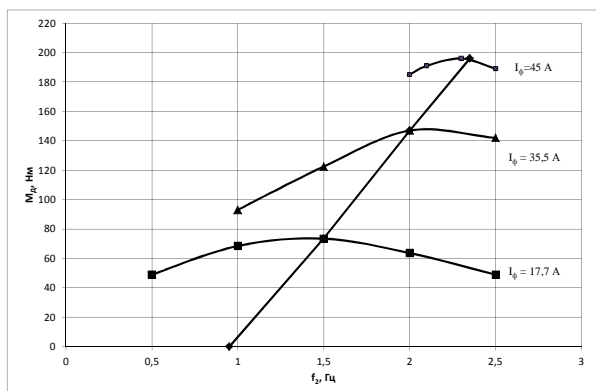


Рис. 2. Зависимости крутящего момента ЭДГ от частоты f_2 при постоянных величинах I_ϕ

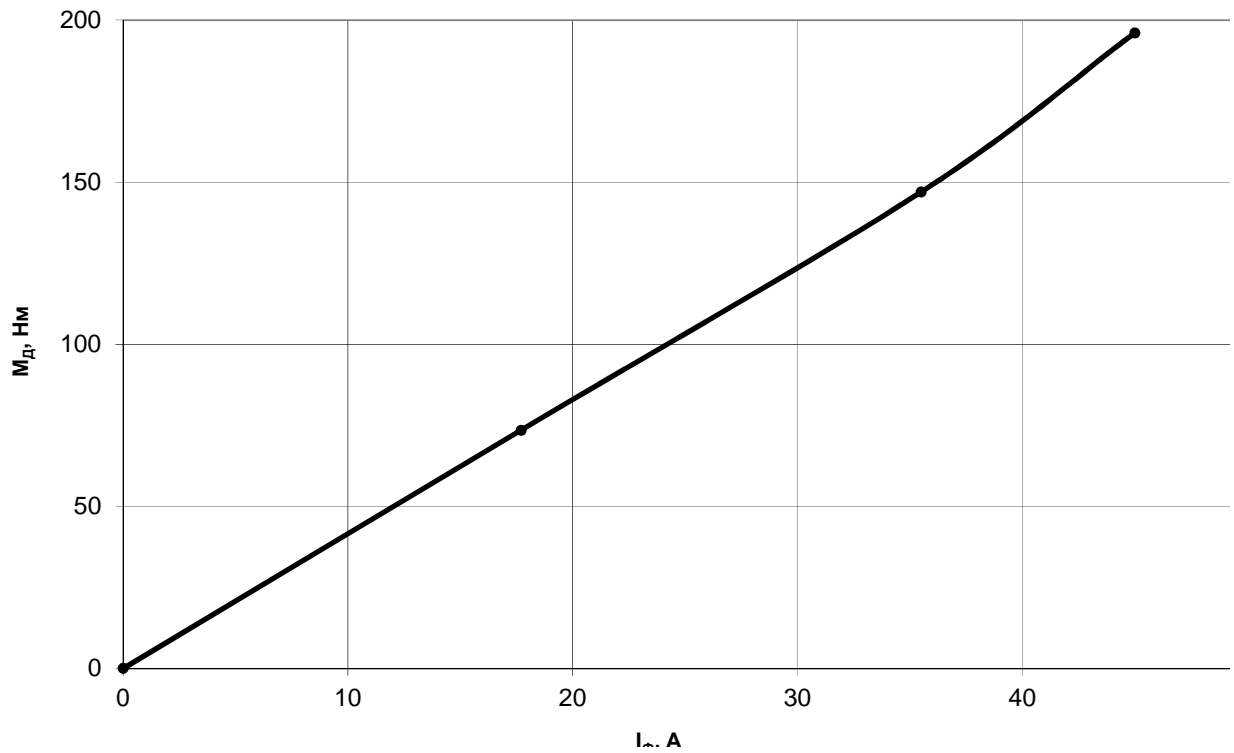


Рис. 3. Оптимальная зависимость крутящего момента ЭДГ движителя колесной пары от тока фазы

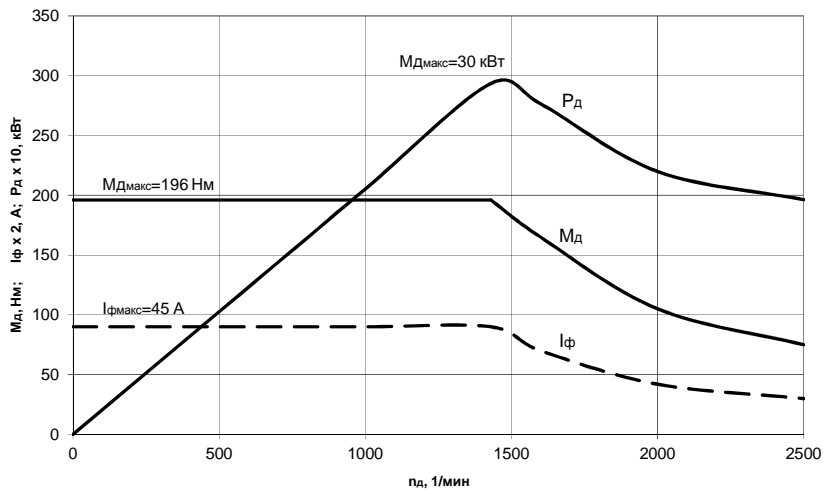


Рис. 4. Зависимости момента, мощности на валу и тока фазы ЭДГ движителя КП от частоты вращения ротора

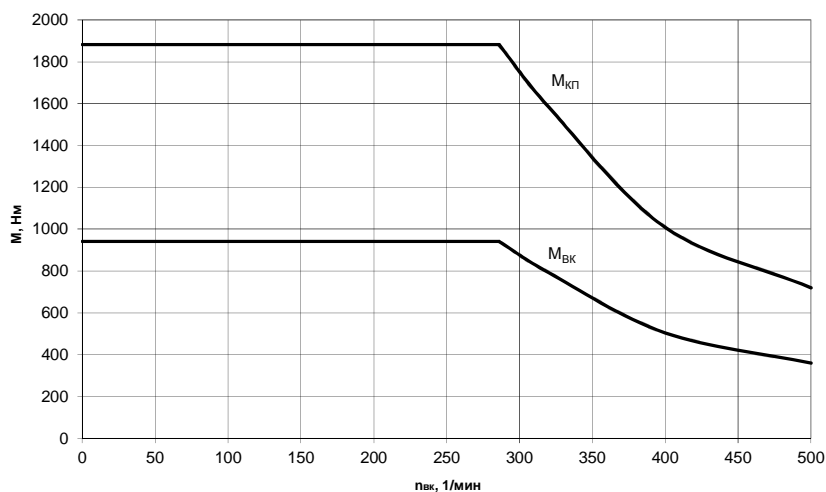


Рис. 5. Зависимость момента на ведущем колесе $M_{ВК}$ и суммарного момента $M_{КП}$ колесной пары от частоты вращения ведущих колес

Полученные характеристики экспериментальных образцов, в том числе достигнутые значения эквивалентной максимальной мощности колесной пары и блока управления двигателями - 60 кВт и максимального развиваемого момента колесной пары - 1900 Н·м, обеспечивают возможность применения последних в составе переднего или заднего моста транспортных средств (электромобилей или автомобилей с комбинированными энергетическими установками) с полной массой до 3,5 т. К АТС из указанного типоразмерного ряда относятся получившие широкое распространение в качестве маршрутных транспортных средств, а также автомобилей для коммерческих грузоперевозок АТС типа ГАЗ-322132 «Газель», LDV Maxus, Fiat Ducato, Ford Transit Bus, Mercedes-Benz Sprinter.

Полученные в ходе НИР результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при выполнении работ, связанных с разработкой и созданием перспективных транспортных средств - электромобилей и автомобилей с КЭУ.

Список литературы

1. Правила ЕЭК ООН № 100. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения аккумуляторных электромобилей в отношении конкретных требований к конструкции и функциональной безопасности. – Введ. 1996-23-08. – М. : Изд-во стандартов, 2002.
2. Сидоров К.М. Перспективные системы тягового электрооборудования для транспортных средств / К.М. Сидоров, Т.В. Голубчик, В.Е. Ютт // Вестник МАДИ. – 2012. - № 1 (28).
3. Advanced Vehicle Testing Activity [Electronic resource]: Idaho National Laboratory. – Electronic text data. – Idaho, 2013. – Mode of access: <http://avt.inl.gov> – Title from screen. (дата обращения: 22.11.2013).
4. Francfort James. Hybrid Electric Vehicle Fleet and Baseline Performance Testing. – Idaho : Idaho National Laboratory, 2006.
5. Hofman T. Modeling for simulation of hybrid drivetrain components / T. Hofman, M. Steinbuch, R. Druten // Proc. of IEEE-Symposium on Vehicular Propulsion and Power. – London, UK, 2006.

Рецензенты:

Марсов В.И., д.т.н., профессор, МАДИ, г. Москва.

Илюхин А.В., д.т.н., профессор, МАДИ, г. Москва.