

УДК 62-83.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук,
А.С. Гончар, Е.И. Махносов

К РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Аннотация. Выполнен оценочный расчет электродвигателя для электропривода электромотоцикла на базе автомобиля ЗАЗ 1102 «Таврия» и обоснована целесообразность использования суперконденсаторов в качестве буферного накопителя для режимов рекуперативного торможения.

В. Б. Клепиков, д-р техн. наук

О. С. Гончар, Е. И. Махносов

ДО РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Анотація. Виконано оціночний розрахунок електродвигуна для електропривода електромобіля на базі автомобіля ЗАЗ 1102 «Таврія» та обґрунтовано доцільність використання суперконденсаторів у якості буферного накопичувача для режимів рекуперативного гальмування.

V. B. Klepikov, ScD,

A. S. Gonchar, E. I. Mahnosov

BY DEVELOPING AN ELECTRIC ACTUATOR

Abstract. Completed estimated calculation of the electric motor for electric vehicle based on the 1102 ZAZ "Tavria" and expedience of the use of super capacitors as buffer storage for regenerative braking mode.

Автомобильный транспорт является одним из основных потребителей нефтяных ресурсов, запасы которых ускоренно истощаются в связи с бурным ростом количества автомобилей, эксплуатируемых как в системах общественного, так и личного транспорта. По оценкам экспертов, существующих запасов нефти при нынешних темпах потребления хватит лишь на 30-50 лет. Помимо чисто энергетического, проблема использования нефтепродуктов двигателями внутреннего сгорания имеет экологический и сырьевой аспекты, поскольку уже сейчас в основных городах автотранспорт является одним из основных источников вредных выбросов, а нефтепродукты служат базой для производства пластмасс, пестицидов и др.

Весьма перспективной альтернативой действующим двигателям внутреннего сгорания (ДВС) является электропривод (ЭП). Об этом свидетельствует тот факт, что практически все ведущие автомобильные компании разрабатывают электромотоциклы (ЭМ) и демонстрируют их образцы на международных выставках. Достижения в области электромотоциклостроения порождают уверенность в том, что прогнозы резкого роста числа электромотоциклов и их доли в автотранспорте станут реальностью. Приведем несколько примеров из достижений мирового автопрома: 22-23 мая 2010 года переделанная на электротягу Daihatsu Mira EV, проехала 1003 километра и 184 метра на одном заряде аккумулятора [5]

27 октября 2010 г. электромотоцикл «lekker Mobil», конвертированный из микровэна Audi A2, совершил рекордный пробег на одной зарядке из Мюнхена в Берлин длиной 605 км в условиях реального движения по дорогам общего пользования, при этом были

сохранены и действовали все вспомогательные системы, включая отопление! Электромотоцикл с электродвигателем мощностью 55 кВт был создан фирмой «lekker Energie» на основе литий-полимерного аккумулятора «Kolibri» фирмы «DBM Energy». В аккумуляторе было запасено 115 кВт•ч, что позволило электромотоциклу проехать весь маршрут со средней скоростью 90 км/ч (максимальная на отдельных участках маршрута составляла 130 км/ч) и сохранить после финиша 18 % от первоначального заряда [5]

Для стимуляции серийного производства электромотоциклов в Германии поставили цель, чтобы к 2020 году в стране эксплуатировался один млн. электромотоциклов. Для этих целей выделено один млрд. евро. В США на ближайшие годы для развития электромотоциклостроения выделено 2,5 млрд. долларов.

В Украине наибольшие успехи в создании электромотоциклов достигнуты в институте электродинамики Национальной Академии Наук Украины, где на базе отечественных автомобилей создан ряд электромотоциклов, успешно проявивших себя при испытаниях.

На кафедре «Автоматизированные электромеханические системы» НТУ «ХПИ» ведется разработка нескольких модификаций ЭП электромотоцикла, расчет которых имеет свою специфику. При разработке ЭП электромотоцикла необходимо в первую очередь решить общие задачи: выбор типа и определение параметров электродвигателя, аккумуляторной батареи (АБ), оценка энергосбережения при тормозных режимах за счет рекуперации энергии, выбор способа реализации рекуперативных режимов. Методики и соображения по решению этих задач произведем на примере ЭП к автомобилю ЗАЗ «Таврия», имеющего ДВС мощностью 58 л.с., предельной скоростью вращения 5400 об/мин., пяти ступенчатой коробкой передач и полной массой 1145 кг. Механическая часть автомобиля при-

нята неизменной. При выборе типа ЭД взамен ДВС рассматривались варианты ЭП на базе двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) с широтно-импульсным регулированием скорости и частотно-регулируемого ЭП с асинхронным двигателем. Так как в обоих случаях регулирование скорости производится при сохранении постоянства параметров магнитного потока, расчет мощности двигателя из условий нагрева выполнялся по методу эквивалентного момента [1]. При этом принималось, что ограничение перегрузки по моменту осуществляется системой регулирования (учитывалось, что существенное изменение момента на колесе достигается путем переключения в коробке передач).

Расчет нагрузочной диаграммы производился исходя из общеевропейской нормы для городского цикла EDC15, которая представляет собой повторяющийся 200 секундный график скорости, характерный для движения автомобиля в потоке «от светофора до светофора». Для расчета диаграммы в смешанном режиме использован цикл NEDC (New European Driving Cycle), который представлен на рис.1.

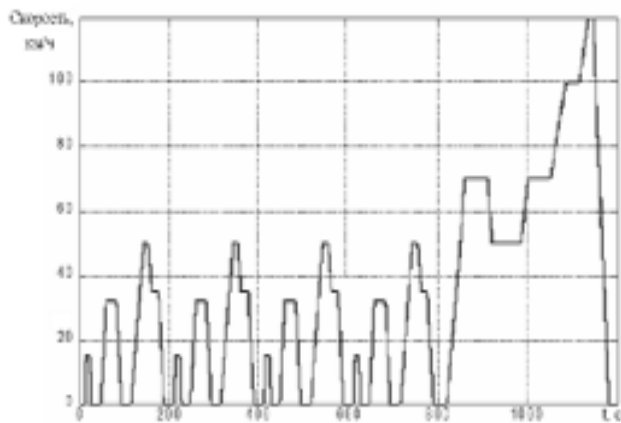


Рис.1. График скорости для режима NEDC

Данный цикл состоит из четырех участков EDC15 и одного, характеризующего езду вне города.

Требуемый момент ЭД, учитывающий как статические, так и динамические составляющие, определяется

$$M_{\text{дв}} = (f \cdot m \cdot g + C_x \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 / 2 + m \cdot ((v_{\text{кон}} - v_{\text{нач}}) / (3,6 \cdot t)) \times (1,05 + 0,05 \cdot u_{\text{кн}}^2)) \cdot r / (\eta_{\text{мп}} \cdot u_{\text{кн}} \cdot u_{\text{эн}}), \quad (1)$$

где $M_{\text{дв}}$ – вращающий момент двигателя, Н·м; f – коэффициент трения качения; m – масса электроавтомобиля, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; C_x – коэффициент сопротивления воздуха (коэффициент обтекаемости), Н·с²/(м·кг), определяемый экспериментально для каждого кузова и принятый в расчетах равным 0,36; ρ – плотность воздуха (1,29 кг/м³ при нормальных условиях); S – лобовая площадь электроавтомобиля, м², S является площадью проекции кузова на плоскость, перпендикулярную продольной оси; v – скорость электроавтомобиля (автомобиля), км/ч;

$u_{\text{кн}}$ – передаточное число коробки передач; $\eta_{\text{мп}}$ – коэффициент потери мощности в трансмиссии электроавтомобиля (в автомобильной трансмиссии для легкового

автомобиль $\eta_{\text{мп}} = 0,9 \dots 0,92$).

Расчетная величина приведенного к двигателю эквивалентного момента $M_{\text{эв}} = 31,4$ Н·м.

Для варианта ЭП в виде ДПТ НВ с ШИП может быть использован двигатель ПТ125Л/70 мощностью 12 кВт. Более чем 3-х кратное снижение требуемой мощности по сравнению с ДВС объясняется тем, что перегрузочная способность ДВС по моменту не превышает 15...20 % от номинального значения, в то время как для выбранного ДПТ допускается коэффициент перегрузочной способности 3÷4.

При выборе аккумуляторной батареи рассматривались варианты свинцово-кислотных, NiMH и Li-ion батарей. Сопоставление их удельных характеристик приведены в [4]. На рис. 2 представлена иллюстрация оценки величины рекуперированной энергии при торможении в случае принятия батарейей полного тока рекуперации. Данные графики получены в ходе компьютерного моделирования тормозных режимов ЭМ с частотно-регулируемым ЭП. Они свидетельствуют о существенной доле возврата кинетической энергии ЭМ в батарею. По своим характеристикам ощутимым преимуществом обладает Li-ion АБ, однако высокая стоимость и отсутствие производства в Украине вынуждает использовать при разработке свинцово-кислотные батареи. Их существенным недостатком является невозможность принимать большие токи рекуперации при торможении.

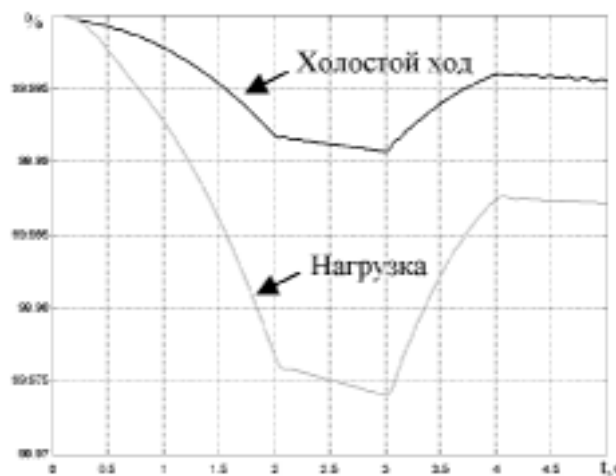


Рис.2. Заряд батареи

Данный недостаток устраняется применением в качестве источников энергии суперконденсаторов (ионисторов) (СК). Квалифицированный анализ достоинств и недостатков применения СК выполнен в работе [3].

Нами был рассмотрен вариант использования СК в качестве буферного накопителя, принимающего кинетическую энергию ЭМ при торможениях. При этом напряжение на суперконденсаторе в процессе работы не снижается ниже напряжения батареи $U_{\text{аб}}$. При торможении полупроводниковыми приборами (управляемыми и неуправляемыми) реализуется заряд СК до значений напряжения $U_{\text{ск}}$, существенно превосходящих напряжение аккумуляторной батареи, во

время которого конденсатору возвращается часть кинетической энергии ЭМ

$$W_{\text{возвр.}} = \frac{C_{\text{ск}}(U_{\text{ск}}^2 - U_{\text{аб}}^2)}{2}, \quad (2)$$

где $C_{\text{ск}}$ – емкость суперконденсатора, Ф.

При трогании после торможения эта энергия используется на разгон ЭМ. После снижения напряжения СК до значения $U_{\text{аб}}$ питание двигателя осуществляется от батареи. Из формулы (2) следует, что если $U_{\text{ск}}$ выбрать, например, в два раза выше $U_{\text{аб}}$, то СК будет в состоянии при данном способе управления принять в три раза большую энергию по сравнению с исходной. Отсюда следует целесообразность разработки специальных ЭД для ЭМ с суперконденсаторами, учитывающих условия работы при повышенном напряжении. Экспериментальные исследования рекуперативных режимов частотно-регулируемого ЭП на лабораторном стенде кафедры АЭМС подтвердили возможность использования кинетической энергии электромобиля для заряда конденсаторных батарей.

Разработка и исследование электроприводов для электромобилей представляется для Украины как для страны, имеющей ограниченные запасы энергоресурсов, актуальной задачей. Существующий опыт разработки отечественных ЭМ в институте электродинамики НАН Украины и других организациях заслуживает внимательного изучения, обобщения результатов, требует государственной поддержки с целью расширения исследований, разработок и внедрения в отечественное автомобилестроение.

Список использованной литературы

1. Ключев В. И. Теория электропривода / В.И.Ключев – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с
2. Тадивосе З.Т. Пассажирский электробус для университетского кампуса в г. Бахр-Дар (Эфиопия) / З.Т.Тадивосе, М.А.Слепцов // Вестник МЭИ. – № 5.– 2007. – С.63-67.
3. Шидловский А.К. Применение суперконденсаторов в автономном аккумуляторном электротранспорте / А.К. Шидловский, В.Б.Павлов, А.В.Попов // Техн. эл. динамика. – 2008. – С.43-47.
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery.
5. www.dw-world.de/dw/article/0,,4407420,00.html.

Получено 19.07.2011



Клепиков
Владимир Борисович,
д-р техн. наук., зав. каф.
«АЭМС» Нац. техн.
ун-та «ХПИ»,
г. Харьков, ул. Фрунзе 21,
тел. 707-62-26



Гончар
Александр Сергеевич,
аспирант каф. «Автоматизированные электромеханические системы»
Нац.техн.ун-та «ХПИ»,
г. Харьков, ул. Фрунзе 21,
тел. 707-60-41



Махнонов
Евгений Игоревич,
студент каф. «Автоматизированные эл.механические системы»
Нац.техн.ун-та «ХПИ»,
г. Харьков, ул. Фрунзе 21,
тел. 707-60-41