

## КОНЦЕПЦИЯ ПРИВОДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Прогресс в технологии изготовления аккумуляторов и высокая надежность компонентов силовой электроники вместе с постоянно растущими ценами на топливо способствует увеличению количества сторонников электрических транспортных средств. Почти все производители автомобилей внутреннего сгорания представляют свои концепции транспортных средств такого типа. Одним из предлагаемых решений является использование в электромобиле индивидуального привода «мотор-колесо». Привод такого типа разработан и постоянно совершенствуется, в том числе и фирмами Siemens [1] и Michelin [2]. Преимуществом в данном случае является гибкость, с помощью которой можно использовать внутреннее пространство транспортного средства, а также простота конструкции шасси. Недостатками такого привода является необходимость синхронизации приводов, и необходимость измерения скорости всех ведомых колес.

Концепцией такого привода электромобиля предполагается:

- использование для транспортных средств, которые движутся в основном на низких скоростях при различных нагрузках в черте города (допускаются кратковременные перегрузки);

- соответствующий класс герметичности инвертора (мин. IP67);

- охлаждение жидкостью (гликоль + вода);

- компактный корпус, изготовленный из стали с выводами, размещенными с одной стороны;

- универсальность в использовании (в связи с возможностью работы с тремя типами энкодеров а также вывод популярной магистрали в стандарте OpenCAN).

Учитывая простоту а также недостатки системы привода с несколькими двигателями, нами предложено решение, представленное на рис.1. В этом варианте один инвертор управляет двигателем с постоянными магнитами, вал которого соединен с коробкой передач и дифференциалом. В дополнение к преимуществу, которым является необходимость измерения только одной скорости (соответственно в стоимость привода входит стоимость только одного энкодера) получается конструкция с высокой механической прочностью, аналогичная классическим автомобилям внутреннего сгорания. Кроме того, легче обеспечить отвод тепла от одного инвертора, оснащенного радиатором с водяным охлаждением, по сравнению с вариантом индивидуального привода колес.

Результатом разработки инвертора является конструкция, приведенная на рис. 2. На передней части корпуса размещены: входные и выходные герметические соединения для охлаждающей жидкости с отводами для магистрали в стандарте CAN 2.0, отверстия для монтажа дросселей в цепях проводников, соединяющих инвертор с двигателем а также для ввода напряжения постоянного тока от аккумуляторной батареи. Силовой блок инвертора реализован на трех модулях IGBT (каждый модуль состоит из двух транзисторов, зашунтированных обратными диодами). Три таких модуля образуют схему трехфазного инвертора. Для защиты силовых модулей использованы так называемые „снабберы”, то есть устройства, которые подавляют перенапряжения, возникающие на полупроводниковых приборах.

Кроме конструктивного решения, предложен алгоритм управления, основанный на принципе поддержания максимально-возможного потока при наименьшем потребляемом токе (ang. Maximum Torque Per Ampere (MTPA)) [3].

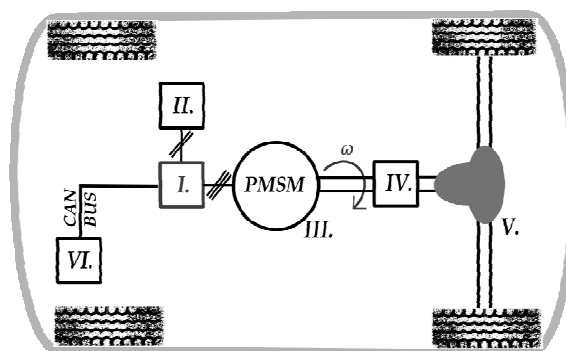


Рис.1. Пример использования инвертора в транспортном средстве.:

- I. Инвертор, II. Аккумулятор и система зарядки,
- III. Синхронный двигатель с постоянными магнитами, IV. Сцепление и коробка передач,
- V. Дифференциал, VI. Контроллер автомобиля, выполняющий функцию контроля и взаимодействия с пользователем

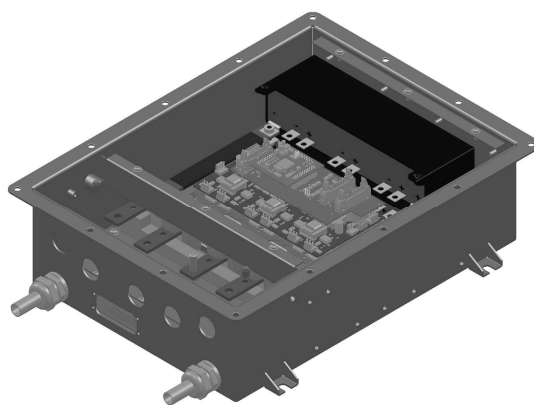


Рис.2. Внешний вид прототипа инвертора

Математически уравнение электромагнитного момента ( $M_e$ ) может быть представлено выражением (1):

$$M_e = 3/2 p i_q \Psi_m + 3/2 p (L_d - L_q) I_d I_q \quad (1)$$

где  $p$  - число пар полюсов,  $\Psi_m$  – магнитный поток ротора,  $L_d$ ,  $L_q$  и  $I_d$ ,  $I_q$ , соответственно, индуктивности и токи в обмотках статора, приведенные к вращающейся системе координат.

Целью этого способа управления является максимизация величины электромагнитного момента. Учитывая тот факт, что величина потока зависит от магнитов, а величины  $L_d$  и  $L_q$  не изменяются, это осуществляется путем максимизации произведения  $I_d I_q$  в вычитаемом уравнения вращающего момента. Следует также отметить, что разработанный фирмой инвертор может быть использован как для синхронных двигателей с встроенными в ротор магнитами (внутренними) так и с магнитами, размещенными на поверхности ротора (внешними).

В лабораторных испытаниях инвертора был использован двигатель с постоянными внутренними магнитами (IPMSM) с номинальными данными: мощностью  $P_T = 45-50$  кВт, крутящим моментом  $M_n = 125$  Нм, скоростью вращения  $n = 3600$  об / мин. На рис. 3 показана осциллограмма тока в одной фазе и электромагнитного момента при низких скоростях вращения. Лабораторные испытания показали, что преобразователь работает стабильно уже при 35 об / мин и нагрузке 40 Нм.

Часть испытаний была посвящена имитированию режимов работы инвертора для типичных условий, которые могут возникнуть на дороге: скачок задания на увеличение скорости, экстренное торможение, старт с места и т.п. На рис. 4 показано результаты моделирования режима остановки транспортного средства с грузом и последующее изменение его направления движения.

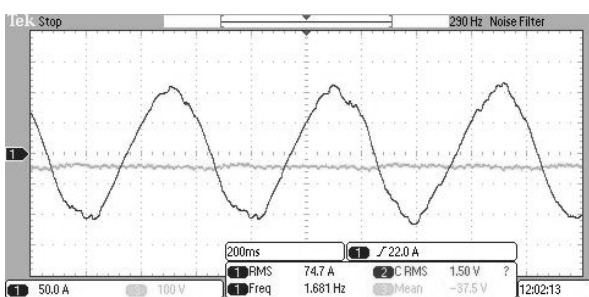


Рис.3. Осциллограммы фазного тока и электромагнитного момента двигателя для  $n = 50$  об/мин

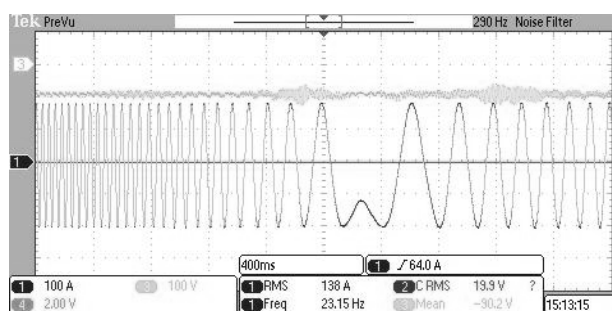


Рис. 4. Осциллограммы тока и электромагнитного момента при моделировании реверса двигателя при наличии нагрузки на валу

На данный момент разработанная система привода еще не испытывалась на тестовом варианте электрического транспортного средства, что дало бы возможность провести дорожные испытания: определить зависимость производительности системы охлаждения от температурных условий, уровень шума при движении и т.п. Однако уже на этом этапе можно определить основные технические параметры инвертора, которые приведены в таблице 1.

Наши исследования нацелены на следующие транспортные средства: городские фургоны для розничной торговой сети; автомобили для почтовых перевозок и курьерских услуг; транспортные средства для перевозки багажа в аэропортах; транспортные средства для городского коммунального хозяйства.

Кроме того, предлагаемое транспортное средство может использоваться там, где важным является низкий уровень шума, а также необходим выносливый и надежный электропривод с мягкими характеристиками, работающий с высоким коэффициентом полезного действия на низких скоростях.

#### Литература.

[1] <http://green.autoblog.com/2006/08/17/siemens-ecornermotor-in-hub-concept/> доступ 22.05.13.

[2] <http://gas2.org/2008/12/05/revolutionary-wheel-forelectric-cars-puts-guts-inside-wheel/> доступ 23.05.13.

[3] Kwang-Woon L., Sang-Bin L., "MTPA operating point tracking control scheme for vector controlled PMSM drives," Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), 2010 International Symposium on , vol., no., pp.24,28, 14-16 June 2010.

Таблица 1 Отдельные технические параметры и инвертора

Габаритные размеры	500x350x150мм
Номинальная мощность инвертора	60 кВт
Напряжение питания	300...450 В
Протекание охлаждающей жидкости	10 л/мин
Номинальный ток	300 А
Номинальный ток (dc)	3,2 А
Ток перегрузки (60с)	400 А
Частота ШИМ	2..16 кГц
Рекомендуемый источник питания	96 элементов Li-Ion произв. КОКАМ
Емкость источника питания	Мин. - 70Ач (24,86кВт·ч), Ном. - 100Ач(35,52кВт·ч)
Напряжение источника питания	288 .. 403В