

Автопром как двигатель прогресса в электронике

Часть 2. Электромобили, их перспективы и промежуточные варианты

Сергей Волковой (svolkovoy@gmail.com)

Одной из главных сложностей в распространении электротранспорта является отсутствие инфраструктуры мощных зарядных станций. Гибридные автомобили дают возможность использовать существующую сеть автозаправочных станций. Электронные компоненты для электротранспорта уже существуют и продолжают совершенствоваться.

В первой части статьи рассматривался вопрос о влиянии автопрома на электронную промышленность и было выяснено, что влияние это очень существенное. В совокупном отношении автопром потребляет гораздо больше электронных компонентов, чем, например, авиация, космос и даже ВПК. В связи с этим ёмкость автомобильного рынка при условии внедрения транспорта с электрической тягой имеет потенциал к обеспечению достаточного спроса на электронные компоненты и выведению российской отрасли ЭКБ из состояния упадка.

В чём причина нынешнего бума электротранспорта, по меньшей мере информационного, ведь электромоторы известны человечеству уже более 100 лет? Дело в том, что за термином «электромотор» скрывается много разновидностей электрических машин. Первыми в обиход вошли двигатели с коллекторным узлом, где через скользящий контакт щётки передаётся ток на ротор электромотора. Для того чтобы такой мотор работал, нужно минимум управления, а часто достаточно его просто запитать. Проблема таких моторов в их быстром изнашивании, которое прямо пропорционально их мощности. Передача большого тока через скользящий контакт – дело не очень надёжное, а порой даже и опасное: многие видели, как сыплются искры между щётками и ротором электродвигателя. Тем не менее на таких моторах строили и трамваи, и троллейбусы, правда, коллекторные узлы требовали регулярного и квалифицированного обслуживания.

Были попытки применять такие электромоторы и на заре автомобилестроения. Например, с 1900-го года в автомобилях, получивших собирательное

название Lohner-Porsche (совместный проект Porsche, Штутгарт, и Lohner Werke, Вена), использовались мотор-колёса со щёточными двигателями. Энергия для таких колёс вырабатывалась генератором, который, в свою очередь, крутился обычным бензиновым двигателем. По сути, это был первый гибридный автомобиль. Сегодня его бы назвали «последовательный гибрид». Существовали и варианты со смешанным, гибридным, приводом: задние колёса – от ДВС, передние – электрические. Были также эксперименты и с чисто электрическими автомобилями: в этом случае энергия запасалась в аккумуляторных батареях.

Учитывая современные требования к надёжности, долговечности и безопасности, на транспорте целесообразно применять двигатели без скользящих контактов. Наибольшее распространение получили трёхфазные двигатели – синхронные и асинхронные.

Синхронные трёхфазные электромоторы обладают высоким КПД (порядка 95%), малыми размерами, а также свойством относительно лёгкой реализации генераторного режима, т.е. снятия мощности при одновременном осуществлении торможения. Собственно, такой режим, который называют рекуперативным торможением, и есть одно из главных достоинств электромобилей.

Недостатком синхронных электромоторов является использование в роторе постоянных магнитов. В современных мощных постоянных магнитах используется неодим – редкоземельный металл. Основные разведанные месторождения неодима находятся на территории Китая, что, безусловно, будет являться очень серьёзным под-

спорьем для КНР в части лидерства по производству синхронных электродвигателей. Собственно, и сегодня Китай является серьёзным игроком в данном сегменте. На международном рынке стоимость неодима высока, и перспектив крупных разработок альтернативных источников этого металла пока не обнаружено, что значительно сказывается и на цене материала. Обостряет ситуацию и растущий на него спрос.

Асинхронные трёхфазные двигатели не имеют в своей конструкции постоянных магнитов, что делает их более привлекательными по цене по сравнению с синхронными, при этом они не сильно им уступают. Да, КПД на несколько процентов ниже и габариты чуть больше, но это ухудшение характеристик несущественно. Кроме того, для управления асинхронными двигателями достаточно иметь только датчик оборотов, а вот синхронным зачастую нужны более дорогие датчики положения. Однако ложкой дёгтя в бочке мёда достоинств асинхронных машин является сложность реализации генераторного режима. В принципе, многие электромоторы могут быть и генераторами, но если с синхронного двигателя снять нагрузку легко (по сути, синхронный двигатель и генератор переменного тока – это одно и то же), то асинхронный двигатель в режиме генератора нужно разряжать переменным током с частотой ниже, чем частота вращения двигателя в данный момент времени. Здесь стоит напомнить, что в обыкновенном (моторном) режиме частота вращения асинхронного двигателя несколько отстаёт от частоты тока в обмотках его статора. Отставание частоты вращения от частоты тока называется скольжением. Скольжение – один из главных параметров асинхронной машины.

Тем не менее современный электропривод с режимом рекуперативного торможения реализуем как на синхронных, так и на асинхронных двигателях. Это, а также то, что данные машины используются в транспорте, стало возможным благодаря развитию силовой и управляющей электроники.

Вот пример того, насколько это важно. Асинхронные двигатели уже много десятилетий используются в насосах. Благодаря тому, что у них нет скользящих контактов, они очень надёжны и долговечны, а благодаря отсутствию дорогих постоянных магнитов – недороги, относительно, конечно. При этом их можно крутить, подключив к стандартной трёхфазной сети переменного тока. Беда только в том, что в этом случае их обороты не регулируются. Они крутятся с частотой, кратной частоте сети, минус отставание из-за скольжения. Кроме того, при пуске от сети переменного тока такие моторы испытывают серьёзные перегрузки (примерно в 7 раз больше номинальной), поэтому для мощных двигателей (от сотен киловатт) нормировали гарантированное количество запусков, и, зачастую, оно было очень небольшим: 10 раз и менее. Это значит, что такой двигатель, например на насосной станции, запускали один раз, и он работал годами, не выключаясь; однако, поскольку расход воды неравномерен, строили кольцевые трубопроводы, по которым такие насосы гоняли воду постоянно, а при необходимости открывались шлюзы для отбора и подачи воды к этой насосной системе.

На фоне современного курса на экологичность и энергосбережение такое решение может показаться форменным варварством или, как минимум, расточительством. Однако даже в 80-е годы, не говоря уже о 70-х и ранее, ни одна страна в мире не имела технологий управления мощными двигателями. Мощные тиристоры для реализации хотя бы безопасного пуска и снятия ограничения на количество запусков массово стали появляться только в начале 90-х. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT), впервые испытанные в 1984 году, вышли на рынок уже в 90-х, почти на рубеже веков. Именно IGBT сегодня являются основой силовых приводов, особенно на автомобилях, где источником энергии служит аккумулятор. Переменный ток, причём с управлением частотой, приходится преобразовывать из постоянного.

Именно с появлением мощных IGBT и развитием микропроцессоров стало возможно массовое производство современного электротранспорта, в т.ч. электромобилей. Вполне уверенно можно сказать, что на сегодняшний день и электромоторы, и системы их управления уже достаточно хоро-

ши и надёжны для массового применения, однако это не значит, что теперь отсутствует надобность в их дальнейшем совершенствовании. Путь для развития масса, особенно остро стоит вопрос снижения цены. Однако в целом системы управления уже вполне достигли того, чтобы как минимум не требовать квалифицированного оператора.

Здесь следует вновь вернуться к вопросу рекуперативного торможения. В школьном курсе физики изучается такое явление, как кинетическая энергия – энергия движущегося тела, которая вычисляется по формуле $E=mv^2/2$. Это значит, что для того, чтобы разогнать тело до этой скорости, было потрачено даже больше энергии, поскольку нужно учитывать также различные потери. Расход энергии, конечно, существует и при равномерном движении, но многие наблюдали, что во время разгона автомобиля мгновенный расход топлива очень сильно увеличивается. Собственно, это дополнительная мощность и уходит на разгон, увеличение кинетической энергии. В то же время энергия, необходимая для того, чтобы остановиться, сжигается тормозной системой – кинетическая энергия переходит в тепловую.

Рекуперативное торможение – это работа электромотора в режиме генератора при замедлении автомобиля (или иного транспортного средства). В данном случае кинетическая энергия не уходит на разогрев тормозов, а запасается в аккумуляторе. Конечно, тормоза в электромобилях тоже есть, как для экстренного торможения, так и на случай какого-либо отказа при торможении электронном (рекуперативном).

Об эффективности данного метода свидетельствует статистика расхода топлива, например гибридного автомобиля Toyota Prius, который в городе расходует меньше топлива, чем за городом, и гораздо меньше, чем обычные автомобили такого же класса. Это стало возможным именно благодаря рекуперативной системе торможения.

Таким образом, электромобили требуют больше электронных компонентов, чем обычные автомобили с ДВС. Это силовые ключи, различные контроллеры, датчики и т.п. Все эти компоненты нужно разрабатывать и производить в необходимых количествах, а для этого необходимы добыча и переработка ресурсов, производство материалов.

Понятно, что промышленность в целом и электронная в частности должны развиваться для выполнения этой



Компактные высоковольтные преобразователи напряжения



ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ И СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ

Технические параметры

- Входное напряжение 5, 12, 24 В
- Выходные напряжения от 2 до 10 кВ
- Мощность от 2 мВт до 15 Вт
- Диапазон температур от -55 до +70°C
- Длительный ресурс

Применение

- Медицинская диагностика
- Научное оборудование
- Авиационно-космическая техника

PROSOFT®



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



Рис. 1. Аккумулятор для автомобиля Smart с электроприводом

задачи, а это и сложно, и дорого. Однако в данном случае, кроме очевидных затрат, видны ещё и перспективы: потенциальный рынок для производителей электроники и её компонентной базы и потенциальная польза для окружающей среды и людей.

Исходя из изложенного, возникает вопрос: если электропривод так хорош, почему электромобилей производится так мало? Ответ поможет дать более подробное рассмотрение источника энергии.

Основным источником энергии для электромобилей являются аккумуляторные батареи. Одним из основных параметров аккумуляторов является удельная плотность энергии – показатель, определяющий, сколько энергии, например в кВт·ч, может запасть аккумулятор на единицу объёма или массы. Соответственно, различают удельную плотность по объёму и удельную плотность по массе.

Эти параметры имеют большое значение, потому что на сегодняшний день размеры и масса аккумуляторов являются одними из главных ограничивающих факторов для широкого применения электромобилей. Например, сверхкомпактный двухместный автомобиль Smart в варианте с электрической тягой имеет аккумулятор весом 112 кг (см. рис. 1), при этом энергии, запасённой в нём, хватает в лучшем случае на 160 км пробега.

Другой проблемой аккумуляторов является то, что им требуется длительная зарядка. Уже упомянутый аккумулятор для автомобиля Smart имеет ёмкость 13 кВт·ч. В России подключение электрической мощности на одно домохозяйство в среднем составляет 15 кВт. Это значит, что, если в частном доме не будет включён ни один электро-

прибор и вся разрешённая энергия сети будет направлена на зарядку электромобиля, то полностью зарядить его удастся примерно за 1 ч; если же использовать для этого меньшую мощность, например 2 кВт, то на полную зарядку уйдёт 6,5 ч.

Как заряжать автомобиль Tesla с ёмкостью батарей, например, 85 кВт·ч, вполне можно себе представить исходя из вышеописанного. При этом вес такой батареи составляет уже не 112, а 500 кг. Правда, и запас хода у этого автомобиля больше, порядка 300 км.

Как можно видеть, чисто электрические (с аккумуляторным накопителем) автомобили имеют очень ограниченный запас хода и требуют очень много времени на то, чтобы восполнить заряд аккумулятора. Ни о каких поездках на большие расстояния речь при этом идти не может. Однако даже в таком виде электромобили уже начинают использоваться в определённых нишах, например для ежедневных поездок на работу на относительно небольшие расстояния (десятки километров). Пример зарядной станции для таких автомобилей представлен на рисунке 2. Специальные электромобили также используют в горнодобывающей отрасли, в шахтах: в закрытом пространстве полное отсутствие выхлопа – ценное свойство.

Это не единственные проблемы аккумуляторов на электротранспорте, и далее вопросы, связанные с аккумуляторами и электроэнергией, будут рассмотрены более основательно. Здесь же стоит отметить, что именно из-за проблем с малой ёмкостью и необходимостью длительной зарядки аккумуляторных батарей начали разрабатываться и выпускаться гибридные автомобили раз-



Рис. 2. Общий вид зарядной станции для электромобилей

личных конфигураций с целью, с одной стороны, использования имеющейся инфраструктуры заправочных станций, а с другой – отладки электроприводов и сопутствующих систем, что во многом происходит за счёт покупателя. Созданную моду на электро- и гибридные автомобили не следует недооценивать.

Гибридных схем существует несколько:

- Мягкий гибрид – электромотор постоянно работает одновременно с ДВС без возможности отключения, помогая при разгоне и обеспечивая рекуперативное торможение. Мощность электромотора невелика, запас энергии для него – тоже, но топливная эффективность несколько повышается. Обычно для питания электромоторов в мягких гибридах используется безопасное напряжение 48 В.
- Полный гибрид – электромотор и ДВС могут отключаться независимо друг от друга. Возможно движение как только на электромоторе, так и совместное (электромотор + ДВС). Ёмкость аккумуляторной батареи больше, чем у мягких гибридов, но заметно меньше, чем у чисто электрических авто. Например, Toyota Prius имеет запас автономного электрического хода порядка 30 км. Аналогичные показатели и у других моделей.
- Последовательный гибрид – привод на колёса осуществляется только от электродвигателя, ДВС в этом случае работает только на электрогенератор. Такая схема была представлена в рекламных роликах несостоявшегося проекта «Ё-мобиль». Подобную же схему имеют электромобили BMW i3 с увеличенной дальностью хода: в чисто электрическом варианте она составляет порядка 200 км, а с расширите-

лем (range extender) это ограничение снимается. Примечательно, что двигатель в этих автомобилях небольшой и несложный: всего 0,65 л, 2 цилиндра.

Стоит отметить, что в случае гибридов, особенно последовательных, ДВС можно оптимизировать под КПД и цену. В случае обычных автомобилей необходимо, чтобы в широком диапазоне оборотов были обеспечены приемлемые характеристики тяги. Зачастую это идёт в ущерб общей эффективности. Удачные попытки «научить» ДВС работать эффективно в широком диапазоне оборотов существуют (например, Honda VTEC, Opel Twin port, BMW Vanos, Toyota VVTI), однако такие решения имеют и свою цену. И даже несмотря на это КПД бензиновых двигателей может достигать только порядка 25%, а дизельных – чуть больше 30%, причём в очень редких случаях.

Кроме того, электромобили можно строить без коробки передач, ограничившись только редуктором. При этом не нужен даже реверс, т.к. электромоторы легко можно заставить крутиться как в одну, так и в другую сторону. Однако такая схема нереализуема на

мягких и полных гибридах, где конструкция идёт только по пути усложнения (и коробка передач, и электромоторы с сопутствующей электроникой).

Как уже говорилось выше, мощность электромоторов мягких гибридов невелика, поэтому для них достаточно и 48 В, однако более серьёзные гибриды и полностью электрические автомобили вынуждены иметь аккумуляторные батареи высокого напряжения. У уже упоминавшегося двухместного Smart напряжение батареи составляет почти 400 В, а это предъявляет серьёзные требования к электрической безопасности.

Как видно, высказанное ранее утверждение о том, что автомобили создают серьёзный спрос на электронные изделия, подтверждается. И объём этих изделий при правильном подходе может вырасти ещё больше.

Стоит заметить, что на этом пути существует ряд проблем, в том числе и сильные позиции мировых лидеров автопрома на внутреннем рынке РФ. Несложно предположить, что, к примеру, концерну Renault-Nissan развитие российской электронной промышленности в луч-

шем случае безразлично, а возможно, и нежелательно. Поэтому существуют опасения, что французский автогигант не будет поддерживать как внедрение российских модулей на «АвтоВАЗе», так и самостоятельную разработку электротранспорта, поскольку Renault-Nissan продвигает уже готовые решения.

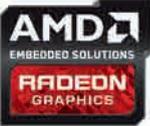
Несмотря на существенные объёмы даже внутреннего российского рынка автомобилей, нужно понимать, что электронные модули (управление двигателем, тормозами и проч.) в них преимущественно импортные, а по компонентной базе импорт приближается к 100%.

Для того чтобы переломить сложившуюся ситуацию, потребуются как работа инженеров и учёных, так и усилия гражданского общества и здоровых политических сил, а также немалая политическая воля. Зарубежные производители вряд ли будут спокойно смотреть, как их вытесняют с рынков, где они на данный момент доминируют, а по сути, безраздельно властвуют.

В следующей части статьи будут подробнее рассмотрены некоторые экономические аспекты развития электронной промышленности. ☺

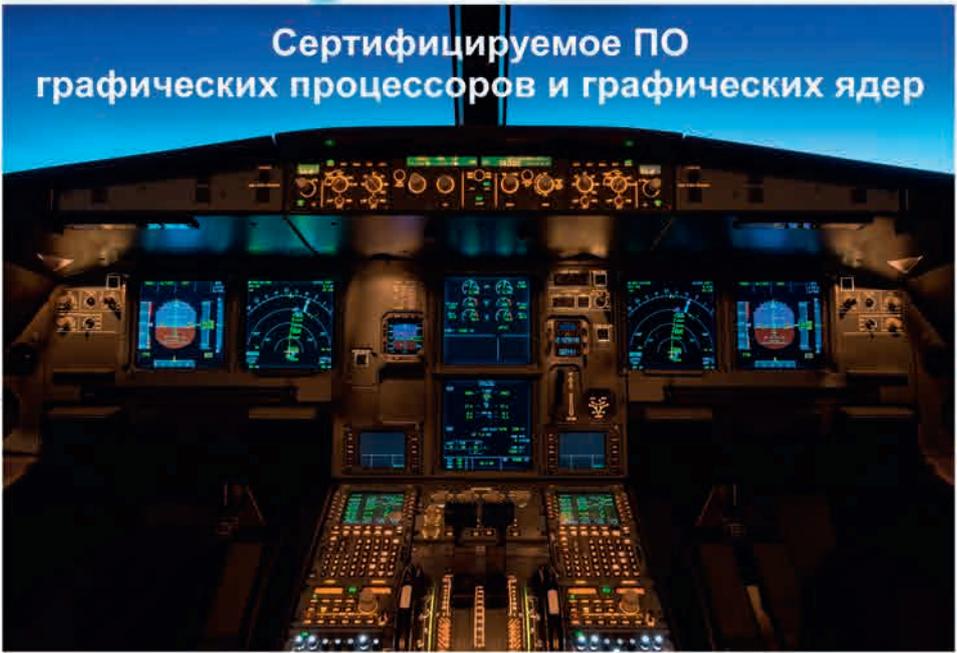


Сертифицируемое ПО графических процессоров и графических ядер
















Дистрибьютор CoreAVI в РФ - ООО «АВД Системы» - (916) 194-4271, avdsys@aha.ru

www.avdsys.ru/gpu

Реклама