

**Двадненко В.Я., к.т.н.**

**Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
г. Харьков**

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ**

*Систематизирован и обобщен опыт разработки системы управления электроприводом для гибридного автомобиля, созданного в результате конверсии из автомобиля с ДВС и механической коробкой передач. В таком автомобиле использован электродвигатель на основе синхронной электрической машины с электромагнитным возбуждением в режиме вентильного двигателя-генератора.*

### ***Вступление***

Гибридный автомобиль, имеющий как двигатель внутреннего сгорания (ДВС), так и электродвигатель, является в настоящее время оптимальным решением с точки зрения экономичности, экологической безопасности и эксплуатационных качеств. Лучшие качества электромобилей и автомобилей с ДВС сочетает гибридный автомобиль с внешней подзарядкой (Plug in Hybrid или Twin Drive). Кроме того, в такой гибридный автомобиль наиболее целесообразно конвертировать обычный автомобиль, что позволит заменить электроэнергией из сети значительную часть бензина, особенно при движении в городе. Таким путем можно сократить расход топлива и повысить экологическую безопасность автомобиля.

### ***Анализ публикаций***

В последние годы появилось много работ отечественных и зарубежных исследователей, посвященных гибридным автомобилям, обзор таких публикаций можно найти в [1]. Многие исследователи и автопроизводители проявляют интерес к конверсии серийных автомобилей. Результаты теоретических и экспериментальных исследований [2, 3] показывают, что в варианте гибридного автомобиля минимальной стоимости хорошие результаты обеспечивает применение даже недорогих свинцовых ТАБ. Обоснование целесообразности токового управления в якорной цепи и введение двухзонного управления в электроприводе гибридного автомобиля приведено в работе [4].

### ***Цель и постановка задачи***

Целью работы является разработка системы управления электроприводом гибридного автомобиля в двухзонном тяговом режиме и в режиме рекуперации с использованием вентильного электродвигателя (ВЭД) на основе синхронной электрической машины с электромагнитным возбуждением.

### ***Особенности системы управления электроприводом конверсионного гибридного автомобиля***

Применяя электропривод, целесообразно исключить маломощные и неэкономичные режимы работы ДВС: холостой ход, старт с места, медленное перемещение. Разгон автомобиля с использованием электропривода должен осуществляться только до некоторой, относительно небольшой, скорости. После ее достижения необходимо автоматически запустить ДВС и дальнейшее движение производить с использованием ДВС. При торможении в таком конвертированном гибридном автомобиле необходимо предусмотреть возможность рекуперации энергии.

Наиболее широко в гибридных автомобилях применяют ВЭД на основе синхронной электрической машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами на роторе. Такие ВЭД имеют более высокий КПД и лучшие электрические характеристики. Однако они имеют высокую стоимость. Широко распространенными являются синхронные электрические машины с электромагнитным возбуждением. Несмотря на несколько худшие значения КПД, ВЭД на основе синхронной электрической машины с электромагнитным возбуждением, помимо невысокой стоимости, имеет ряд других важных преимуществ. Среди них – возможность организовать регулирование во второй зоне. При фиксированном напряжении питания это позволяет расширить рабочий диапазон скоростей вращения ротора, а значит, и увеличить передаточное число от ВЭД к ведущим колесам. В результате удается повысить пусковой вращающий момент без увеличения запаса мощности ВЭД. Это позволит применить менее мощный, а значит, имеющий меньшую цену и меньшие габариты ВЭД. Рассмотрим более подробно эту возможность для автомобиля «Таврия-пикап» с ВЭД на основе синхронной электрической машины Г 290. На рис. 1 показаны внешние механические характеристики ВЭД, приведенные в координатах скорости автомобиля и момента на ведущих колесах автомобиля для четырех значений передаточного числа механической передачи между валом ВЭД и колесами автомобиля  $U_k = 6$ ,  $U_k = 8$ ,  $U_k = 10$  и  $U_k = 12$ . Горизонтальные участки характеристик обусловлены ограничением максимального тока в фазных обмотках электронным коммутатором ВЭД. Пятая кривая является зависимостью между скоростью автомобиля и минимально необходимым вращающим моментом на ведущих колесах для достижения этой скорости.

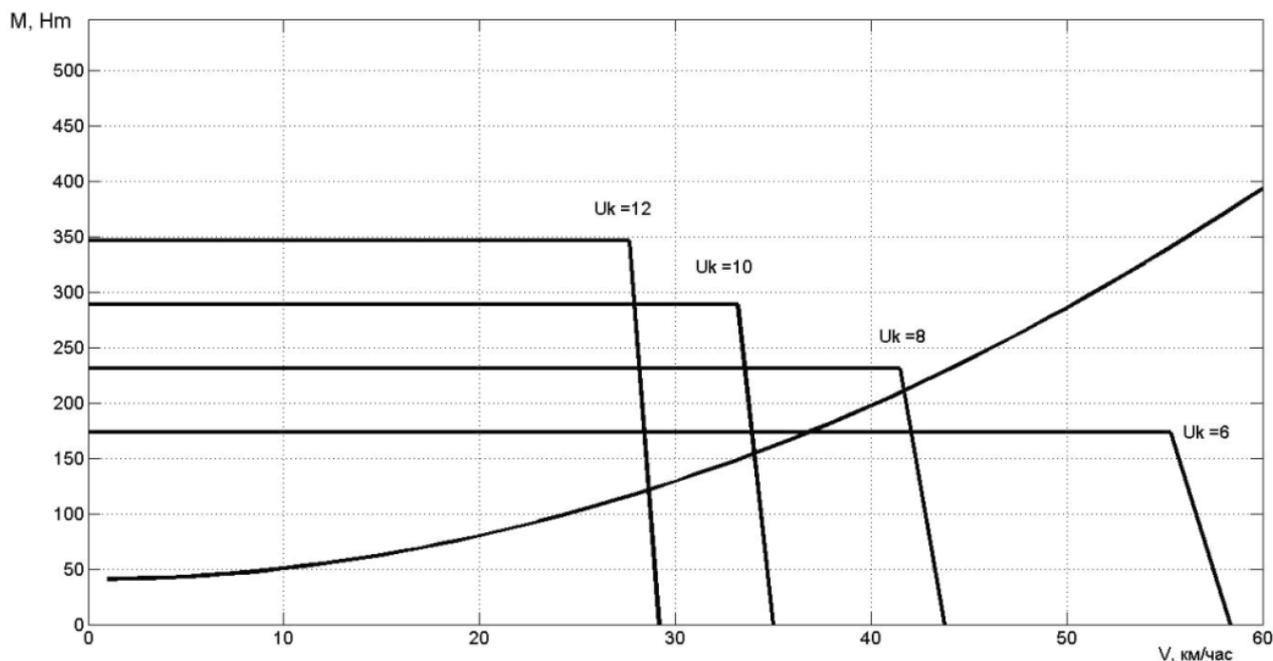


Рис. 1. Внешние механические характеристики ВЭД

Точка пересечения с этой кривой внешней механической характеристики (при выбранном значении  $U_k$ ) определяет максимально достижимую скорость с этим передаточным числом. Как видно из рис. 1, при уменьшении  $U_k$  максимально-достижимая скорость увеличивается, но приемлемыми значениями  $U_k$  являются только  $U_k = 8$ ,  $U_k = 10$  и  $U_k = 12$ , поскольку из-за ограниченной мощности ВЭД при  $U_k = 6$  максимальная скорость оказывается меньшей, чем при  $U_k = 8$ . Для каждого значения скорости автомобиля разность между ординатами выбранной механической характеристики и кривой минимально необходимого момента определяет величину ускорения автомобиля, поэтому, как видно из рис.1, для достижения максимального быстрого набора скорости автомобиля необходимо с увеличением скорости уменьшать передаточное число. Однако механическое переключение передаточного числа электропривода усложнит как конструкцию, так и управление в конверсионном



автоматический запуск последнего, а при выключении передачи (например, перед остановкой или при движении накатом) ДВС останавливается, при этом блок БУР блокирует включение электронных ключей трехфазного моста и подачу тока в обмотку возбуждения, что обеспечивает хороший накат автомобиля. Задачей блока БВЗХ является предотвращение возможности включения заднего хода при движении автомобиля вперед. Переключение направления движения автомобиля возможно только после полной остановки автомобиля. Для зарядки каждой из шести свинцовых герметизированных аккумуляторных батарей применено отдельное интеллектуальное зарядное устройство, которое заряжает батарею вначале стабилизированным током до тех пор, пока напряжение на ней не достигнет напряжения циклического заряда, затем стабилизирует это напряжение и, когда зарядный ток достаточно снизится, переходит на стабилизацию напряжения буферного заряда. Заряд возможен как от сети переменного тока, так и от ВЭД в режиме генератора при рекуперации или при движении на ДВС (в случае, когда ДВС слабо нагружен). Питание каждого из шести ИЗУ производится от гальванически развязанного источника БГР. Для питания БГР напряжением 28 В при зарядке от сети использован блок АС/DC, а при рекуперативном торможении напряжение 28 В вырабатывает ВЭД в режиме генератора, для которого с помощью блока РНТ током в обмотке возбуждения производится стабилизация напряжения на уровне 28 В и ограничение тока на уровне 150 А. Включается режим рекуперации при срабатывании реле Р вместе с включением стоп-сигнала СС. При зарядке от сети предусмотрена возможность использования предпускового подогревателя охлаждающей жидкости ДВС ППОЖ, блок управления которым БУ ППОЖ позволяет дистанционно (с сотового телефона) включить подогрев охлаждающей жидкости перед выездом.

### **Выводы**

Практическая реализация рассмотренной системы управления для конверсионного гибридного автомобиля на базе автомобиля «Гаврия-пикап» показала возможность достижения поставленных целей – повышения экономичности и экологической безопасности автомобиля. Расход бензина при движении по городу в гибридном режиме составил около 4 литров на 100 км. Полного заряда ТАБ достаточно для пробега по городу 50–70 км. Применение описанной системы управления для ВЭД с электромагнитным возбуждением позволило улучшить технико-эксплуатационные показатели тягового электропривода гибридного автомобиля и уменьшить его стоимость.

Опыт создания экспериментального гибридного автомобиля и системы управления гибридным автомобилем может оказаться полезным при разработке технологии конверсии серийных автомобилей в гибридные с целью повышения их экономичности, экологической безопасности и удобства эксплуатации.

### **Список литературы**

1. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков та ін.; під. ред. О.В. Бажинова. – Харків: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
2. Бажинов А.В. Система управления гибридной силовой установкой с тяговым электроприводом на базе вентильного двигателя с электромагнитным возбуждением / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, С.А. Сериков // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – 2010. – №7 (149). – С.61–66.
3. Бажинов А.В. Повышение экономичности и экологической безопасности транспортных средств с гибридными силовыми установками / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, С.А. Сериков // Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» Луцького національного технічного університету. – 2010. – Вип. 28. – С. 40–45.
4. Двадненко В.Я. Двухзонное управление тяговым вентильным электроприводом гибридного автомобиля / В.Я. Двадненко, С.А. Сериков // Труды ЛО МАИ. – Луганськ, 2011.

Рецензент: д.т.н., проф. О.П. Алексеев, «ХНАДУ».

Стаття надійшла до редакції 25.05.11

© Двадненко В.Я., 2011