

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ С СОХРАНЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

**В.Я. Двадненко, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Аннотация.** Рассмотрены особенности рекуперации подзаряжаемого гибридного автомобиля. Предложена методика рекуперативного торможения подзаряжаемого гибридного автомобиля с сохранением тепловой энергии. Разработан для практической реализации предложенной методики блок преобразователя. Задача его преобразовать напряжение вентильного электродвигателя в режиме генератора в рабочее напряжение предпускового подогревателя.*

***Ключевые слова:** вентильный электродвигатель, конверсия автомобиля, гибридная силовая установка, рекуперация, преобразователь напряжения.*

## ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ ДЛЯ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ З ЗБЕРЕЖЕННЯМ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

**В.Я. Двадненко, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Анотація.** Розглянуто особливості рекуперації гібридного автомобіля, який заряджається. Запропоновано методику рекуперативного гальмування такого гібридного автомобіля із збереженням теплової енергії. Розроблено для практичної реалізації запропонованої методики блок перетворювача. Завдання його перетворити напругу вентильного електродвигуна в режимі генератора в робочу напругу передпускового підігрівача.*

***Ключові слова:** вентильний електродвигун, конверсія автомобіля, гібридна силова установка, рекуперация, перетворювач напруги.*

## VOLTAGE CONVERTER FOR REGENERATIVE BRAKING SYSTEM OF HYBRID CAR WITH THERMAL STORAGE

**V. Dvadenko, associate professor, Ph.D., HNADU**

***Abstract.** We reviewed the characteristics recuperation rechargeable hybrid car. The technique of regenerative braking of a hybrid rechargeable car retaining heat. Designed for the practical implementation of the proposed methodology converter unit. His task is to convert the voltage BLDC motor as a generator to the operating voltage preheater.*

***Keywords:** BLDC motor, the conversion of a vehicle, a hybrid propulsion system, electric drive, recuperation, DC-DC convertor.*

### **Введение**

В настоящее время хорошо известны преимущества подзаряжаемых гибридных автомобилей. Особо следует отметить малый

расход углеводородного топлива, а значит и малый выброс CO<sub>2</sub>, при эксплуатации в городских условиях, поскольку значительную часть пути, связанную с неэкономичными режимами работы ДВС, такой автомобиль

может проходить за счёт энергии взятой из электрической сети при зарядке тягового аккумулятора. Эта энергия, сравнительно недорогая, существенно дешевле энергии из бензина, особенно если зарядка производится в ночное время, когда электроэнергия имеет низкую стоимость,

### Анализ публикаций

Переоборудование (конверсия) обычного автомобиля в подзаряжаемый гибридный автомобиль (Plug-in Hybrid) дает возможность в несколько раз уменьшить стоимость километра пробега и существенно улучшить экологию. Для осуществления конверсии обычный автомобиль необходимо дополнить тяговым электроприводом. Тогда часть пути подзаряжаемый гибридный автомобиль может с высокой эффективностью двигаться только на электрической энергии тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ) [1,2].

### Конверсия

На кафедре автомобильной электроники ХНАДУ была проведена конверсия автомобиля Ланос-пикап. Особенностью конверсии является относительно небольшая мощность электропривода и относительно небольшая энергоёмкость ТАБ (масса дополнительного оборудования менее 100 кг). Такой выбор обусловлен необходимостью достижения не только минимального увеличения массы и минимальной стоимости переоборудования, но и обеспечения малого времени зарядки ТАБ (2 часа). ТАБ состоит из 20 ячеек литиевых аккумуляторов WB-LYP90АНА суммарной энергетической ёмкостью 5,9 кВт\*час и имеет массу 60 кг. Вентильный электродвигатель (ВЭД) для тягового электропривода, с целью снижения стоимости, разработан на базе синхронной электрической машины с электромагнитным возбуждением (автомобильного генератора Г290) [3]. Такой путь конверсии обычного автомобиля с механической коробкой перемены передач (МКПП) сохраняет возможность использовать его и как обычного автомобиля. Относительно небольшая мощность ВЭД (10 кВт) делает целесообразным кинематическую связь его с ведущими колесам через вторичный вал МКПП с таким передаточным отношением, чтобы обороты идеального холостого хода ВЭД соответствовали скорости автомобиля примерно 50 км/час. Это позволит на элект-

троприводе трогаться с места и уверенно набирать скорость около 40 км/час. Проблемы, связанные с малой мощностью электропривода и малой запасенной энергией в ТАБ не являются принципиальными. В случае необходимости преодолеть крутой подъем, рыхлый песок или снег (что требуется сравнительно редко) можно воспользоваться режимом обычного автомобиля с ДВС. Можно также на ДВС осуществлять энергичный разгон, однако следует отметить, что динамика разгона на таком сравнительно маломощном электроприводе в подавляющем большинстве случаев оказывается вполне достаточной в городском движении.

### Дополнительные возможности рекуперации

В конверсионном гибридном автомобиле есть возможность организовать подзарядку ТАБ при рекуперативном торможении, когда ВЭД, работает в режиме генератора. После конверсии в автомобиле появляется возможность торможения с помощью ВЭД, которая позволит более гибко регулировать процесс замедления. В отличие от замедления при задействовании режима принудительного холостого хода (ПХХ) ДВС, замедление с помощью ВЭД имеет более простое включение-выключение и регулирование. Рассмотрим более подробно замедление с помощью ВЭД. Это замедление целесообразно включать вместе со «стоп-сигналом», путем отведения от упора педали тормоза, когда включение «стоп-сигнала» уже произошло, а соприкосновения колодок с дисками или барабанами еще нет. При этом появляется дополнительная возможность экономии энергии в условиях, когда отпущена педаль акселератора, но не нажата педаль тормоза, тогда реализуется режим движения без замедления от ВЭД, т.е. «накатом». В этом режиме после отпускания педали акселератора необходимость нажать на нее возникнет значительно позже, чем при движении в режиме ПХХ ДВС. В отличие от обычного автомобиля допустимость движения «накатом» в гибридном автомобиле появляется потому, что торможение с помощью ВЭД, происходит без перегрева тормозной системы, и без усложнения процесса управления автомобилем. Величина замедления при торможении с помощью ВЭД примерно соответствует замедлению в режиме ПХХ ДВС, но при этом простое многократное включение и выключение

замедления с помощью ВЭД позволяет водителю эффективно использовать кинетическую и потенциальную энергию автомобиля при движении. Более того, в режиме замедления подзаряжается ТАБ.

### Сохранение энергии торможения

Однако существует проблема: относительно невысокая емкость ТАБ в конверсионном гибридном автомобиле, не позволяющая обеспечить необходимую эффективность электрического торможения во всех условиях, например, когда ТАБ достаточно заряжена и поэтому мала электрическая нагрузка ВЭД в режиме генератора. Кроме того, в гибридном автомобиле есть еще одна проблема: остывает ДВС при движении на электроприводе, поэтому повышается расход бензина при движении на остывшем ДВС. Также и в начале движения, пока идет прогрев ДВС, имеет место повышенный расход бензина. Для решения комплекса этих проблем в разработанном конверсионном автомобиле при нажатии на педаль тормоза (включении стоп-сигнала) электрическая энергия вырабатываемая ВЭД сохраняется не только путем зарядки ТАБ, но и путем подогрева охлаждающей жидкости (ОЖ) системы охлаждения ДВС [4]. Предложенный принцип рекуперативного торможения не только возвращает часть электроэнергии в ТАБ, но и помогает поддерживать тепловой баланс ДВС, а также позволяет иметь более широкий выбор режимов замедления автомобиля и экономить как углеводородное топливо, так и электроэнергию. Поскольку подзаряжаемый гибридный автомобиль, как правило, подключен к электросети на стоянке или в гараже, есть возможность перед выездом подогреть ОЖ от энергии, взятой из сети, что во много раз дешевле, чем бензин, который будет дополнительно израсходован на прогрев ДВС. Реализация подогрева ОЖ как от ВЭД в режиме генератора, так и от сети, связана с необходимостью преобразования напряжения вырабатываемого ВЭД к рабочему напряжению предпускового подогревателя. Использован электрический предпусковой подогреватель «Северс-М» на 220 В 1,5 кВт с сопротивлением нагревателя 32 Ом. Включение подогрева от электрической сети перед выездом производится с помощью таймера или путем дистанционного управления по сотовой сети.

### Преобразователь напряжения

Оптимальное выходное напряжение ВЭД в режиме генератора 28В, а для предпускового подогревателя «Северс-М» рабочее напряжение 220В. Поскольку подогреватель может быть запитан переменным высокочастотным напряжением, возможно применение преобразователя DC-AC. Мы считаем, что наилучшим образом удовлетворяет предъявленным требованиям резонансный полумостовой преобразователь, который при правильном выполнении не требует дополнительных защит, а «мягкое» переключение силовых ключей кроме того повышает КПД и снижает требования к силовым транзисторам и радиатору, на котором они смонтированы. Функциональная схема этого преобразователя приведена на рис.1, где, и далее по тексту, использованы сокращения: СЭМ – синхронная электрическая машина, ОВ – обмотка возбуждения синхронной электрической машины, БУВ – блок управления возбуждением, БУР – блок управления рекуперацией, БПОЖ – блок подогрева охлаждающей жидкости ДВС, ЛСС – лампа «стоп-сигнала», Ш – токоизмерительный шунт. Рассмотрим работу системы рекуперативного торможения. ВЭД состоит из СЭМ и контроллера ВЭД. Силовые MOSFET ключи управляемого трехфазного моста этого контроллера на рис.1 обозначены Q1 – Q6. При срабатывании выключателя стоп-сигнала S1 напряжение с лампы стоп-сигнала подается на БУР и активизирует питание обмотки возбуждения, что обеспечивает питание от ВЭД полумостового резонансного преобразователя. Питание этого преобразователя происходит от трехфазного мостового выпрямителя, который выпрямляет трехфазное переменное напряжение, вырабатываемое ВЭД в режиме генератора. Диодами, выпрямляющими положительные полуволны, являются диоды D1 – D3, а диодами, выпрямляющими отрицательные полуволны - обратные диоды MOSFET ключей Q2, Q4, Q6. Конденсатор C1 сглаживает выпрямленное напряжение. При работе преобразователя поочередно открываются транзисторы Q7 и Q8 с рабочей частотой, которая удовлетворяет условию резонанса цепи, состоящей из суммы индуктивностей L1 и индуктивности рассеяния первичной обмотки нагруженного трансформатора T1, а также конденсатора C3. Резонансный режим работы обеспечивает переключение силовых транзисторов при

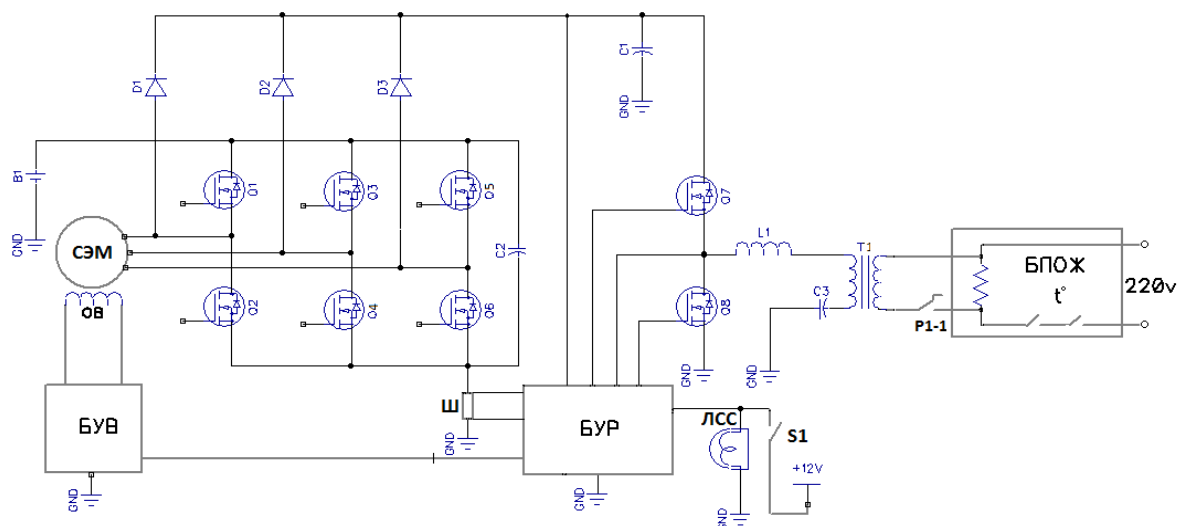


Рис.1 Функциональная схема системы рекуперативного торможения

минимальном токе и позволяет существенно повысить КПД и надежность преобразователя, а также снизить его стоимость. Трансформатор Т1 имеет коэффициент трансформации обеспечивающий на вторичной обмотке эффективное напряжение 220В. Поскольку регулирование выходного напряжения резонансного преобразователя выводит его из резонансного режима и снижает его эффективность, принято решение стабилизировать напряжение ВЭД в режиме генератора (входное напряжение преобразователя). Это напряжение поступает на БУР и задействовано там в цепи автоматического регулирования генерируемого напряжения через БУВ путем изменением тока в обмотке возбуждения. БУР обеспечивает по сигналу с шунта Ш ограничение предельного тока. На выход Т1 подключен нагреватель БПОЖ, питаемый переменным высокочастотным током. При каждом нажатии на педаль тормоза, в том числе и при отводе ее от упора без торможения колодками, срабатывает концевой выключатель S1, контакты P1-1 находящегося в БУР реле P1 замыкаются. В результате пока контакты S1 замкнуты, будет производиться питание нагревателя БПОЖ. При размыкании S1 питание реле P1 исчезает и его контакты возвращаются в исходное состояние. В случае, когда БПОЖ подключен к сети, контакты реле P1-1 обязательно разомкнуты и подогрев ОЖ до требуемой температуры осуществляется с участием терморегулятора встроенного в БПОЖ «Северс-М».

### Выводы

Рассмотренные особенности рекуперации подзаряжаемого гибридного автомобиля поз-

воляют реализовать дополнительные возможности по экономии топлива и электроэнергии. Предложенная методика рекуперативного торможения подзаряжаемого гибридного автомобиля позволяет также сохранять тепловую энергию охлаждающей жидкости ДВС. Для реализации предложенной методики разработан простой и эффективный блок преобразователя напряжения ВЭД в режиме генератора в рабочее напряжение предпускового подогревателя.

### Литература

1. Конверсія легкового автомобіля в гібридний. / [Бажинов О.В., Двадненко В.Я., Хакім М.], монографія. – Харків: ХНАДУ, 2014. – 200 с.
2. Бажинов А.В., Двадненко В.Я. Хаким Мауш. Электропривод для конверсионного гибридного автомобиля. Автомобильный транспорт (Харьков), вып.30, 2012. с.7 – 12.
3. Василевский В.И. Автомобильные генераторы/ В.И. Василевский, Ю.А. Купеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – 159 с.
4. Патент України на корисну модель №52009. Система рекуперативного гальмування гібридного автомобіля. Бажинов А.В., Двадненко В.Я., Колесников А.В. 10.08.2010. Бюл. №15, 2010 р.

Рецензент А.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редколлегию 25.04.2015