

СОВМЕЩЕННЫЕ СИСТЕМЫ СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРОВ (ОБЗОР) The combined starter-generator systems (review)

И. Ю. Бунаков, аспирант Уральского государственного аграрного университета
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Рецензент: Л. А. Новопашин, кандидат технических наук, профессор

Аннотация

В данной статье сделан обзор существующих систем стартер-генераторов. Системы в стартерном режиме позволяют производить запуск ДВС намного быстрее и с меньшим уровнем шума. В генераторном режиме системы позволяют питать бортовую сеть и системы ДВС.

Представлены преимущества системы стартер-генераторов с использованием на автомобилях. Для тракторов наиболее приемлем в использовании совмещенного стартер-генератора 3 тип – вентильная индукторно-реактивная машина (ВИРМ).

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, стартер-генератор, электрооборудование, вентильно-индуктивная машина.

Summary

This article reviews the existing starter-generators. The system in starter mode allows the internal combustion engine running much faster and with less noise. In the regenerative mode system enables to supply on-board network and system of internal combustion engine.

There are presented the advantages of starter-generators using in cars. Tractor is the most acceptable to the use of the combined starter-generator – switched inductive-reluctance machine (SIRM).

Keywords: internal combustion engine, starter-generator, electrical equipment, valve-inductive machine.

На сегодняшний день со сравнительно низким КПД традиционных генераторов удовлетворить растущие требования к тракторам и его системам невозможно. Решением задачи увеличения мощности одновременно с увеличением КПД (до 90 %) и ресурса генераторной установки, повышения экологичности и топливной эффективности тракторов, а также уменьшения массы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и пучка проводов может послужить интегрированный стартер-генератор (ИСГ).

Стартер-генератор представляет собой электрическую машину, установленную между ДВС и КПП. Стартер закрепляется на блоке цилиндров, а ротор на коленчатом валу, вместо штатного маховика.

Сегодня существует 3 типа совмещенных стартеров-генераторов (СГ): асинхронный с короткозамкнутым ротором (рис. 1), синхронный с постоянными магнитами (рис. 2) и вентильная индукторно-реактивная машина (ВИРМ) (рис. 3) [5].

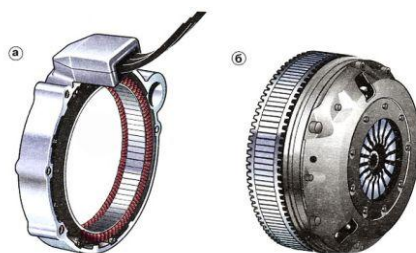


Рис. 1. Асинхронный СГ с короткозамкнутым ротором фирмы Bosch: а – статор, б – ротор



Рис. 2. Синхронный СГ с постоянными магнитами компании ZF Sachs

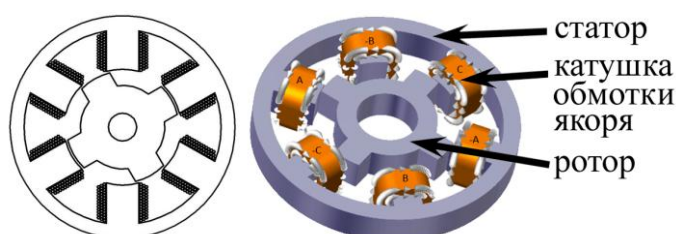


Рис. 3. Вентильная индукторно-реактивная машина

Электрические машины для ИСГ принято сравнивать по основным параметрам, таким как масса, геометрические размеры, развиваемые пусковой и номинальные моменты, потребляемая и вырабатываемая мощность, ее стоимость. Если задаться одинаковыми значениями момента для всех типов машин и сравнить, то получится, что асинхронная машина имеет как минимум в два раза большие габариты и массу. Синхронная с постоянными магнитами значительно дороже из-за применения в ней дорогостоящих магнитов на основе материала *Nd-Fe-B* (неодим-железо-бор), хотя она и обладает лучшими энергетическими показателями. А СГ на базе ВИРД отличают простота, технологичность, надежность, которые в сочетании с интенсивным развитием силовой и информационной электроники делают ее наиболее предпочтительной [1].

В стартерном режиме СГ позволяет отказаться от традиционно применяемого редуктора, являющегося маховиком ДВС, благодаря чему запуск двигателя происходит намного быстрее и с меньшим уровнем шума. Это также позволяет реализовать экономящую топливо во время остановки автомобиля систему «стоп-старт», которая заглушает ДВС, если машина простаивает дольше определенного промежутка времени и пускает двигатель с началом движения. Также возможен режим совместной работы ДВС и ИСГ, при котором ИСГ будет помогать ДВС при разгоне, существенно повышая динамику разгона и крутящий момент двигателя.

В генераторном режиме работы в зависимости от типа электрической машины и ее размеров вырабатываемая мощность может достигать 20 кВт (при частоте вращения 4000 об./мин) и более. Даже при оборотах, близких к режиму холостого хода (1000 об./мин), вырабатываемая энергия составляет 3–5 кВт. Выработка таких мощностей открывает совершенно новые возможности, например, возможность электрификации и оснащения микропроцессорной системой управления таких узлов, как рулевое управление, тормозная система трактора, водяная помпа, механизм газораспределения, компрессор кондиционера. Все эти механизмы в настоящее время потребляют от 20 до 26 кВт механической мощности. Применение электрических приводов с оптимизированной системой управления позволяет обеспечить уменьшение потребляемой мощности на 6–10 кВт, т. к. электрическая энергия потребляется только в случае необходимости [2].

На рис. 4 представлена схема микропроцессорного блока управления [4].

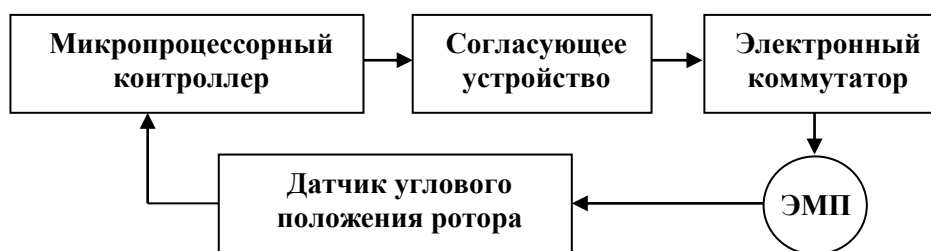


Рис. 4. Структурная схема микропроцессорного управления

Конструктивно электропривод состоит из микропроцессорного блока управления, электронного коммутатора и электромеханического преобразователя (ЭМП). Электромеханический преобразователь обеспечивает преобразование электрической энергии, поступающей от электронного коммутатора, в механическую или осуществляет обратное преобразование механической энергии в электрическую. Микропроцессорный блок управления формирует сигналы коммутатора, генерирующего импульсное напряжение питания ЭМП в зависимости от сигналов, поступающих от датчика положения ротора ЭМП. Возможен вариант без датчика положения ротора, в этом случае положение ротора определяется по величине индуктивности обмоток статора [3].

На рис. 5 представлен *ISAD* (*Integrated Starter Alternator Damper* – интегрированный стартер-генератор – гаситель вибраций) от компании *Continental*, встроенный в маховик ДВС [7].

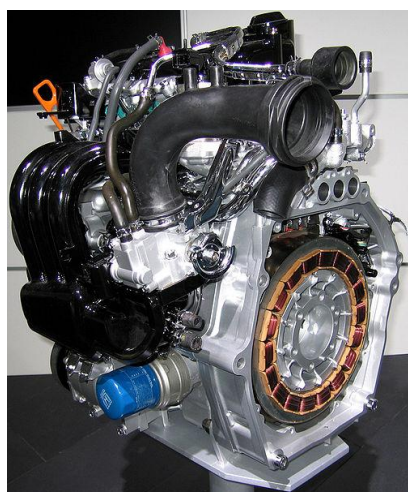


Рис. 5. Стартер-генератор компании *Continental*

Узел *ISAD* представляет собой стартер-генератор, который фактически заменяет обычный маховик. У нового устройства есть несколько неоспоримых преимуществ:

- снижается масса силового агрегата;
- экономится место под капотом;
- на 10 % уменьшается расход топлива.

Стартер-генератор устанавливается на пикапы *GMC Sierra* и *Chevy Silverado 2004* в качестве заказного оборудования. По заявлению представителей концерна *General Motors*, автомобиль с *ISAD* ни в грузоподъемности, ни в динамике не уступает своим обычным собратьям. Кроме того, пикапы со стартер-генератором оснащаются двумя электрическими розетками на 110/220 В, способными питать, к примеру, электроинструмент мощностью до 4 кВт.

Предназначение данного стартера-генератора – гашение вибраций, возникающих в двигателе внутреннего сгорания. При сжигании топлива в ДВС выделяется большое количество энергии, и в зависимости от порядка работы цилиндров изменяется величина крутящего момента. При этом из-за неравномерности выделения энергии в цилиндрах двигателя наблюдаются значительные пульсации крутящего момента, отрицательно влияющие на характеристики ДВС. Именно эти моменты и использует двигатель *ISAD*. При превышении установленного значения (слишком большой крутящий момент) коленчатый вал тормозится генератором, и избыточная энергия временно аккумулируется в конденсаторе, а в ходе следующего такта сжатия эта энергия используется для того, чтобы при недостаточном энергоснабжении увеличить скорость вращения коленчатого вала (рис. 6) [7].

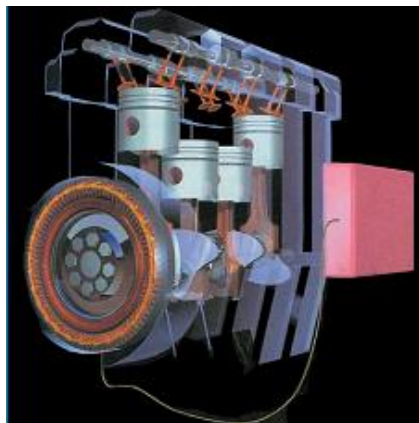


Рис. 6. Стартер-генератор с системой управления в компоновке с ДВС

Генератор также может использоваться как электромагнитный тормоз при невысоких степенях торможения, что способствует экономии топлива за счет рекуперации энергии.

Schäfer H. [6] считает, что суммарная экономия топлива, а значит и уменьшение количества вредных выбросов, с использованием интегрированного стартер-генераторного устройства (ИСГУ) может достигать 20–30 % (1–1,8 л / 100 км) в городском цикле движения. Автор сообщает, что СГУ может работать в автомобилях как большого класса, так и малого. Не имеет значения, дизельный или бензиновый мотор будет оснащаться этой системой. Однако СГУ не может быть просто добавлен или подключен к уже существующим моторам. Поэтому *Schäfer H.* рекомендует вносить конструкционные изменения в существующие модели двигателей или разрабатывать новые.

Похожую систему СГ использует и фирма *Bosch* – «*e-booster*» (рис. 7).



Рис. 7. Стартер-генератор фирмы *Bosch*

На автомобиле отсутствует стартер, его функцию выполняет реверсивный генератор, который, в свою очередь, установлен в стандартном месте. Генератор в режиме запуска ДВС приводит в действие усиленный поликлиновый ремень, который в свою очередь заставляет работать коленчатый вал ДВС. Сам генератор имеет усиленную конструкцию, что позволяет ему бесперебойно функционировать на протяжении длительного времени.

Этой системой базово оснащается *Peugeot 3008 e-HDi*. Разработкой и внедрением аналогичных технологий в последнее время заняты практически все мировые производители автомобилей совместно с производителями автоэлектрики [6].

В ФГУП НИИАЭ [4] спроектированы и изготовлены:

1) автомобильный стартер-генератор автомобиля «УАЗ Патриот»:

- двигательный режим – 12 кВт, 1100 об./мин, КПД – 84 %,
- генераторный режим – 9 кВт, 1000–5000 об./мин, КПД – 75 %,
- масса – 48 кг (встроенная конструкция);

2) автомобильный стартер-генератор автомобиля «Lada Kalina»:

- двигательный режим – 8,5 кВт, 1300 об./мин, КПД – 83 %,
- генераторный режим – 6 кВт, 1000–5500 об./мин, КПД – 73 %,
- масса – 28 кг (встроенная конструкция).

Данные изделия сделаны на основе вентильного индукторного двигателя с самоподмагничиванием (ВИМС). По сравнению с распространенными приводами с асинхронным двигателем (АД) и синхронным двигателем (СД) применение ВИМС более эффективно:

- в постоянно работающих приводах, где важным фактором является высокий КПД, – приводах насосов, вентиляторов, компрессоров;
- в высокоскоростных электроприводах, где двигатели с обмотками и постоянными магнитами на роторе менее надежны;
- в низкоскоростных электроприводах, где АД неэффективен из-за низкого КПД и СД слишком дорог, а стоимость преобразователя невелика относительно стоимости двигателя;
- при работе в тяжелых условиях, в частности при ударных нагрузках на вал двигателя;
- в автомобильных приводах, в частности в стартер-генераторах;
- при работе в условиях, где принципиальной является минимизация массогабаритных показателей привода, в частности в тяговых электроприводах.

Ученые ФГУП НИИАЭ считают, что этот список может быть значительно расширен. Электроприводы с ВИМС выполняются мощностью до 5 мВт, с максимальным моментом до 100 кНм, максимальной скоростью до 150 000 об./мин, минимальной скоростью 1 об./сутки.

На основании вышеизложенного материала можно сделать вывод, что используемые генераторы на тракторах следует заменить на совмещенные стартер-генераторы. Наиболее эффективным может быть 3 тип СГ – ВИРМ: ему свойственны простая конструкция, высокая ремонтпригодность, отсутствие механического коммутатора и постоянных магнитов, малое количество меди, высокие массогабаритные характеристики, низкая трудоемкость, гибкость компоновки. Тепловыделение происходит в основном только на статоре, при этом легко обеспечиваются герметичная конструкция, воздушное или водяное охлаждение.

Библиографический список

1. Анисимов В. М. Анализ конструктивных вариантов бесконтактных автомобильных вентильных стартер-генераторов постоянного тока // Актуальные проблемы радиотехники:

Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Самара, 2002. Вып. 6. С. 75–81.

2. Буренков К. Э. Интегрированный стартер-генератор – основа перспективных конструкций автомобиля / К. Э. Буренков, Ю. А. Купеев, А. Н. Агафонов // Автотракторное электрооборудование. 2001. № 3–4. С. 23.

3. Вентильные реактивные электродвигатели / генераторы (Switched Reluctance Motors / Generators) // Каскод-Электро: инновационно-техническая фирма [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://www.kaskod.ru/produkt/motorsrm/srm_article01/.

4. Вентильный индукторный двигатель с самоподмагничиванием (ВИМС) // ФГУП НИИАЭ: научно-исследовательский и экспериментальный институт автомобильной электроники и электрооборудования [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://niiae.ru/ru/napravleniya-raboty/elektrodivigateli/224-2012-03-14-06-40-50>.

5. Integrierter Starter-Generator für das 42-V-Bordnetz // ATZ: Automobiltechn. Zeitschrift. 2002. № 7–8. S. 668–674.

6. Schäfer H. Integrierter Starter-Generator (ISG), Das multifunktionale Bindeglied zwischen Bord-netz und Antriebsstrang im Kraftfahrzeug. Deutschland : Expert Verlag, 2001. 286 S.

7. Start ISAD. Und auf einmal ist alles ganz anders // Continental Aktiengesellschaft Hauptverwaltung Vahrenwalder [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_de/allgemein/hidden/innovation/inno_isad_de.html.