

СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОР ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

С.А. Ганджа, А.В. Ерлышева
г. Челябинск, ЮУрГУ

Представлен стартер-генератор комбинированного возбуждения со щеточно-коллекторным коммутатором в стартерном режиме. Рассмотрена конструкция стартер-генератора, описан принцип работы в стартерном и генераторном режимах.

В настоящее время для автономных источников питания на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в качестве электрического генератора и стартерного двигателя в основном используются две отдельные электрические машины. Это обусловлено тем, что к режиму генератора и к стартерному режиму предъявляются противоречивые требования, которые сложно реализовать в одном устройстве.

Основными требованиями, которые предъявляются к электрогенераторам, являются:

- энергетические показатели (мощность, напряжение, КПД);
- массогабаритные показатели (вес, объем);
- требования к качеству электроэнергии (стабильность напряжения, уровень пульсаций напряжения)
- требования к показателям надежности. Ресурс и срок службы генератора должен быть не меньше аналогичных показателей ДВС.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют синхронные генераторы с бесконтактным регулируемым возбуждением и диодным выпрямительным блоком.

Для стартера требования к надежности, минимальным габаритам, энергетическим показателям также являются основными. Спецификой работы стартера является кратковременный режим работы и большие токи прямого пуска. Практика показала, что наиболее надежной и экономичной машиной для стартерного режима является коллекторный электродвигатель постоянного тока.

В то же время известно, что электрическая машина по своей природе обратима и может работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. Это означает, что эти два режима можно объединить в одной электрической машине – стартер-генераторе (СГ).

Предлагаемый СГ с комбинированным возбуждением имеет следующее конструктивное исполнение (рис. 1). Комбинированное возбуждение означает, что генератор имеет постоянные магниты и обмотку возбуждения. Обмотка возбуждения находится на неподвижной части генератора статора. Это позволило питание обмотки возбуждения сделать бесконтактным.

Магнитная система генератора устроена таким образом, что ЭДС в статорной обмотке скла-

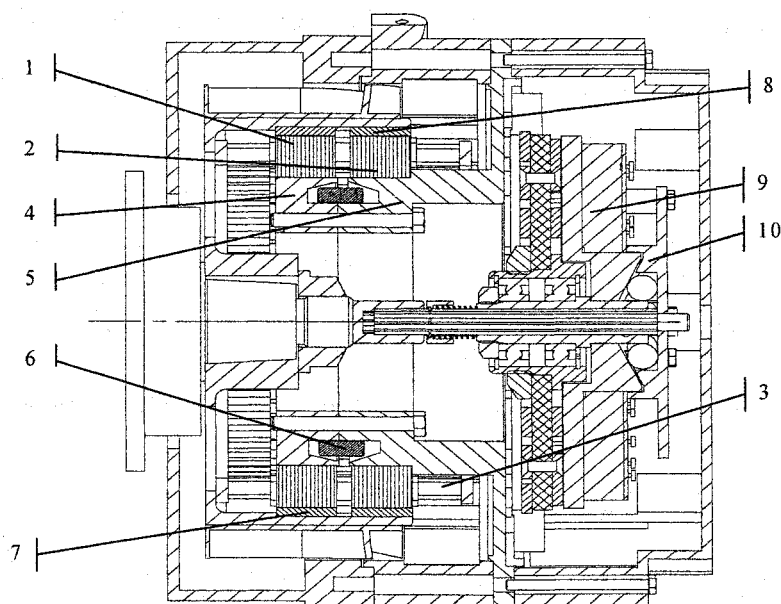


Рис. 1. Конструктивное исполнение СГ

дывается из двух составляющих: от магнитного потока постоянных магнитов и магнитного потока обмотки возбуждения.

Сердечник статора состоит из двух шихтованных пакетов 1 и 2 с пазами. Пазы пакетов в осевом направлении совпадают. В пазах пакетов расположена трёхфазная обмотка 3, активная часть которой проходит в осевом направлении через эти два пакета. Шихтованные пакеты напрессованы на массивные детали магнитопровода 4 и 5. Детали 4 и 5 насажены на втулку. Между пакетами магнитопровода расположена неподвижная обмотка возбуждения 6. Ротор генератора расположен снаружи статора. Он имеет массивные полюса и постоянные магниты 7 и 8. Постоянные магниты и полюса чередуются между собой, располагаясь по окружности. При этом они образуют два кольца, которые охватывают шихтованные пакеты 1 и 2. Магниты 7 и 8 имеют радиальную намагниченность, при этом в одном кольце магниты имеют «южную» намагниченность 7 на поверхности, обращенной к пакету, в другом кольце – «северную» 8.

Статор с трехфазной обмоткой и обмоткой возбуждения и индуктор с постоянными магнитами являются универсальными частями электрической машины. Они работают и в стартерном и генераторном режимах.

Для реализации стартерного режима трехфазная обмотка подключается к так называемому щеточно-коллекторному коммутатору (ЩКК) 9.

ЩКК включает в себя торцевой коллектор и щеткодержатель с набором щеток.

Торцевой коллектор содержит коллекторные пластины, расположенные по окружности и контактное кольцо. К соответствующим коллекторным пластинам подсоединяются концы фаз А, В, С. Торцевой коллектор является неподвижной частью.

Щеткодержатель содержит щетки для фаз А, В, С, а также щетки для подачи от аккумуляторной батареи (АКБ) положительного потенциала. Щетки для фазы А, фазы В и фазы С смещены в пространстве друг относительно друга на 120 электрических градусов. В группе щеток для каждой фазы имеются щетки, на которые постоянно подан положительный потенциал через щетку с контактного кольца и отрицательный потенциал через корпус однопроводной цепи. Щеткодержатель со щетками является подвижной частью, которая вращается вместе с ротором. При вращении щетки перемещаются по коллектору и передают пластинам попеременно положительный и отрицательный потенциал. Пространственный сдвиг щеток обеспечивает фазовое смещение напряжений для соответствующих фаз. Положение ротора и щеткодержателя друг относительно друга строго фиксировано и определено из условия оптимальной коммутации.

Работа ЩКК аналогична работе электронного коммутатора, с той лишь разницей, что преобразование постоянного напряжения в переменное осуществляется щеточно-коллекторным узлом.

Конструкция содержит центробежный привод (ЦП) 10. В процессе разгона ротора при заданных оборотах ЦП под действием центробежных сил перемещает щеткодержатель в осевом направлении. При этом щетки отходят от торцевого коллектора и трехфазная обмотка отключается от питания.

Для реализации генераторного режима СГ содержит трехфазный синхронный генератор комбинированного возбуждения, с регулируемым бесконтактным возбуждением, с трехфазной мостовой схемой.

Магнитный поток постоянных магнитов проходит по пути: постоянный магнит южного полюса, воздушный зазор, зубцовая зона железа статора первого пакета, спинка железа статора первого пакета, втулка железа статора. Далее силовые линии магнитного поля делают поворот на одно полюсное деление и продолжают идти по пути: спинка железа статора второго пакета, зубцовая зона железа статора второго пакета, воздушный зазор, постоянный магнит северного полюса, корпус ротора и замыкаются на постоянном магните южного полюса. При вращении ротора магнитные силовые линии вращаются вместе с постоянными магнитами.

Магнитный поток обмотки возбуждения проходит по пути: массивный зубец южного полюса, воздушный зазор, зубцовая зона железа статора первого пакета, спинка железа статора первого пакета, втулка железа статора. Далее силовые линии магнитного поля делают поворот на одно полюсное деление и продолжают идти по пути: спинка железа статора второго пакета, зубцовая зона железа статора второго пакета, воздушный зазор, массивный зубец северного полюса, корпус ротора и замыкаются на массивном зубце южного полюса. При вращении ротора обмотка возбуждения остается неподвижной, но магнитные силовые линии, замыкаясь по пути минимального магнитного сопротивления, поворачиваются вслед за массивными зубцами ротора.

Таким образом, магнитные потоки постоянных магнитов и обмотки возбуждения имеют свои маршруты. Они имеют общие пути только во втулке статора и корпусе ротора. Но из-за поворота на одно полюсное деление эти магнитные потоки наводят общее ЭДС в активной части обмотки статора.

Поток постоянных магнитов имеет постоянную величину. Наличие мощных постоянных магнитов из материала неодим-железо-бор позволяет минимизировать габариты генератора.

Поток обмотки возбуждения изменяется регулятором напряжения. Таким образом, суммарный магнитный поток может меняться. В зависимости от частоты вращения регулятор напряжения изменяет ток в обмотке возбуждения таким образом, чтобы выпрямленное выходное напряжение было постоянным. При этом поток от обмотки

возбуждения может как добавляться к потоку постоянных магнитов, так и вычитаться из него. При этом регулирование напряжения осуществляется по слаботочной цепи обмотки возбуждения, что значительно увеличивает ресурс данного узла.

Функциональная схема СГ представлена на рис. 2.

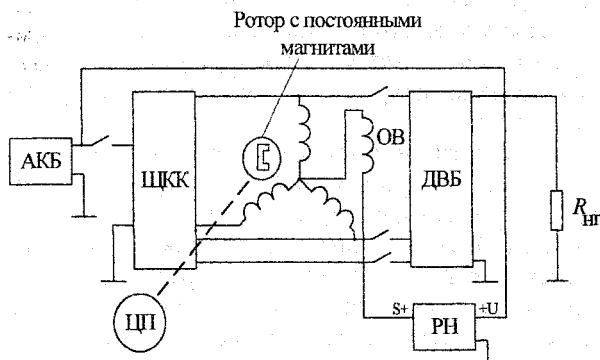


Рис. 2. Функциональная схема СГ

В исходном положении при неработающем ДВС АКБ отключена от ЩКК. Щетки щеткодержателя под действием пружины прижаты к коллекторным пластинам. При пуске ДВС плюс АКБ подается на ЩКК. При этом ЩКК вырабатывает трехфазную систему напряжений, которые подаются на обмотку статора. Электрическая машина начинает работать в режиме двигателя, осуществляя стартерный режим. ДВС запускается и начинает набирать обороты. При определенной скорости срабатывает центробежный привод и отводит щетки от коллектора. Обмотка статора отключается от напряжения АКБ. Щетки вращаются, не соприкасаясь с коллектором. Это обеспечивает их длительный ресурс. После запуска АКБ отключается от ЩКК.

При работе ДВС в электрической машине под действием магнитного поля постоянных магнитов (их поле вращается вместе с ротором) и обмотки возбуждения вырабатывается напряжение. При подключении обмотки статора к диодному

выпрямителю электрическая машина начинает работать в режиме генератора. В диапазоне частот 1000–6000 об/мин выходное напряжение стабилизируется обмоткой возбуждения, которой управляет регулятор напряжения (РН). В режиме генератора отсутствует щеточный контакт, что обеспечивает высокую надежность и длительный ресурс.

Когда ДВС останавливается, статорная обмотка отключается от диодного выпрямительного блока, центробежный привод возвращает щеткодержатель в исходное положение. Щетки соприкасаются с коллектором. Электрическая машина переходит в исходное состояние.

Новизна предлагаемого технического решения обусловлена тем, что введение в магнитную систему постоянных магнитов радиальной намагниченности позволяет увеличить полезный магнитный поток и, тем самым, повысить удельные энергетические показатели, а расположение статора внутри ротора и размещение обмотки возбуждения между пакетами статора позволяет упростить технологию сборки генератора.

Одним из достоинств данной конструкции является работа щеточно-коллекторного коммутатора только в стартерном режиме, чем обеспечивается значительное увеличение ресурса работы щеточного узла.

По представленной концепции сделан проект СГ для энергетической установки 8 кВт, 28 В на базе дизеля В24 8.2/7.83 по заказу ОАО «Моторный завод», г. Челябинск. Планируется изготовление и испытание опытного образца. По сравнению с серийно выпускаемой установкой масса снижена с 230 до 125 кг, существенно уменьшились габаритные размеры.

Таким образом, предлагаемая конструкция вполне конкурентоспособна на рынке автономных источников электроснабжения.

Литература

1. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.

Ганджа Сергей Анатольевич, в 1978 г. окончил Челябинский политехнический институт (ЧПИ), в 1985 г. – аспирантуру (ЧПИ). С 1985 г. по 2001 г. работал в СКБ «Ротор» и ОАО «Электромашин» в должностях ведущего инженера, начальника бюро, начальника отдела. В настоящее время работает техническим директором НИИ «Уралмет», доцент кафедры «Электромеханика и электромеханические системы» ЮУрГУ, к.т.н. Научные интересы связаны с разработкой вентильных машин постоянного тока.

Ерлышева Анна Валерьевна, старший преподаватель кафедры «Электромеханика и электромеханические системы» ЮУрГУ. Выпускница кафедры «Электромеханика и электромеханические системы» 1999 года.