

Альтернативные конструктивные решения электрических машин для генератора со свободным поршнем.

Перевод Духанин В.И.
сайт centaurproject.com

Часть 1.

*ALTERNATIVE ELECTRICAL MACHINE
SOLUTIONS FOR A FREE PISTON GENERATOR*

*Waqas M. Arshad¹, Peter Thelin¹, Thomas
Bäckström², and Chandur Sadarangani¹*

*¹Royal Institute of Technology (KTH),
Stockholm, ²ABB, Västerås, Sweden*

Аннотация: В настоящей статье подробно рассматриваются параметры линейных электрических машин, предназначенных для использования в генераторах со свободным поршнем (ГСП). Генератор со свободным поршнем включает в себя функции двигателя внутреннего сгорания, коленчатого вала, шатуна, вращающегося электрического генератора, используемого в обычных гибридных схемах, и представляет собой единое устройство. Его использование многообещающе в ряде гибридных транспортных средствах и в генераторных модулях энергоснабжения. В предыдущей работе авторов были исследованы машины с поверхностно монтируемыми подвижными магнитами, синхронные машины с подвижными сердечниками и линейные индукционные машины с подвижными катушками. Как продолжение этой работы исследуются магнитные машины с утопленными подвижными магнитами, индуктивные вентильные и гибридные индуктивные машины с подвижным сердечником и машины с подвижными катушками, имеющие возбуждение поля от магнитов в статоре. Определено, что только машины с поперечным магнитным потоком (*thetransverse-fluxmachines - TFM*) как с поверхностно монтируемыми магнитами, так и конструкции с утопленными магнитами представляют интерес, как наиболее полно удовлетворяющие в перспективе требованиям к системе. Также, как и для машины с поперечным магнитным потоком, всегда требовалась проверка аналитических решений посредством метода конечных элементов, однополюсная поверхностно монтируемая TF-машина была смоделирована в 3D-МКЭ. Установлено, что результаты МКЭ близки к решению из аналитических моделей, подтверждающих

многообещающе поведение ТF-машин. Однако, поскольку эти машины имеют низкий фактор мощности, рекомендуется определить параметры для устранения этого недостатка.

1. Введение.

ГСП является единым устройством, образованным соединением линейного двигателя внутреннего сгорания со свободным поршнем (ЛДВС) с линейной электрической машиной. Это позволяет понизить выбросы сгорания, повысить КПД процесса сгорания, эффективность преобразования энергии сгорания в электрическую энергию с высокой надежностью и хорошим соотношением цена-эффективность. Следовательно, система получается более эффективной, более надежной, с возможностью использования различных сортов топлива и более низкого веса. Это дает преимущества в пониженном загрязнении окружающей среды и увеличении количества работы при заданном количестве топлива. Объем батарей, по сравнению с батареями в обычном автомобиле, также может быть понижен. Стартер для обычных автомобилей может быть удален из системы, поскольку она обладает теперь свойством самозапуска.

Одна из возможных схем показана на рис.1. Здесь шток, соединяющий две оппозитно расположенных камеры сгорания, также действует как непосредственный подвижный элемент линейного электрического генератора. Периодически повторяющиеся процессы зажигания и сжатия в оппозитно расположенных камерах сгорания придают колебательное движение соединительному штоку. Последний расположен в магнитном поле (с комбинацией некоторого вида катушек), это движение штока служит причиной возмущения магнитного поля, и, как результат, в катушках индуцируется электродвижущая сила. Таким образом, энергия, освобождаемая при горении топлива (во время сгорания) преобразуется во внутреннюю энергию разогретого газа, которая затем трансформируется в кинетическую энергию поршня. Основная часть этой энергии преобразуется в электрическую посредством линейного генератора, непосредственно, без промежуточного вращающегося механического звена. Главными особенностями этой концепции являются: исключение коленчатого вала и шатуна, динамика свободного поршня (движение поршня определяется балансом сил, которые действуют на поршень), электронные управляемые клапана, пульсирующая энергия и различные реализации процесса сгорания (подобные новому экологичному гомогенному сгоранию с зажиганием от сжатия - HCCI).

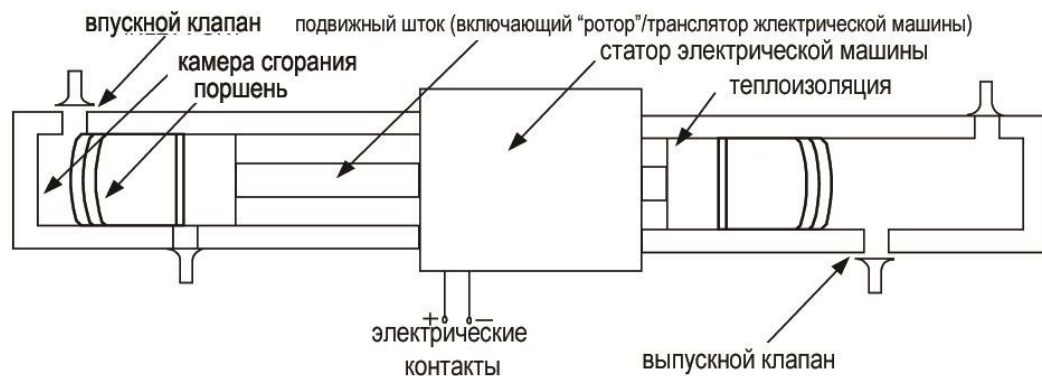


Рис.1. Интегрированный двигатель-генератор со свободным поршнем.

Главное требование для успешности FPG (*freepistongenerator*) технологии является наличие подходящей линейной электрической машины. Хотя опубликованные работы по генераторам со свободным поршнем использовали различные типы электрических машин, не существует единого мнения о лучшем конструктивном исполнении. Авторы проделали работу по определению лучшей подходящей схемы электрической машины. В предыдущей работе авторов исследовались машины с поверхностно монтируемыми подвижными магнитами, синхронно-индуктивные машины с подвижным сердечником и линейные индукционные машины с подвижной катушкой. Было найдено, что системные требования не достигнуты, а проблемы с высокой массой подвижного элемента, низкой удельной производительностью или слишком высоких напряжений в подвижных частях не преодолены. Хотя поверхностно-монтируемые машины с поперечным магнитным потоком признаны, как высоко подающие надежды, они имеют проблемы с низким фактором мощности.

В настоящей работе рассматриваются утопленные варианты линейных машин с подвижными магнитами (аксиально-радиальные типы или типы с поперечным магнитным потоком), машины с подвижным сердечником вентильно - индукторного или гибридно-индукторного типов и машины с подвижными катушками, имеющими поле, возбуждаемое от магнитов в статоре.

2. Параметры машины

Электрические машины для использования в генераторах со свободным поршнем конструктивно предназначены для использования в последовательных гибридных транспортных средствах. Конструктивные параметры представлены в таблице 1. Функциональное назначение электрической машины, прежде всего в том, чтобы

генерировать электрическую энергию, но, кроме того, обеспечивать старт двигателя и управлять движением поршня посредством регулирования его кинетической энергии. Так как энергия может передаваться только в течение 90% рабочего времени (продолжительности хода) и в машине допустимы некоторые потери, представлены также модифицированные требования к развиваемой мощности. Определены также значения максимальной длины и ширины, которые были выбраны произвольно. Другим требованием является отсутствие асимметричных сил в преобразователе. Последнее повышает потери на трение (путем воздействия на кольца поршня) и, следовательно, должно быть исключено. Это означает, что односторонние конструкции не должны рассматриваться.

Таблица 1

Параметр	Значение
Общая масса подвижного элемента, кг	4
Средняя рабочая частота, гц	30
Длина хода, мм	100
Непрерывная выходная электрическая мощность, кВт	50
Длительность генерации энергии	90% хода
Удельная мощность, кВт/кг	1
КПД, %	90
Фактор мощности	Высокий
Модифицированные требования	
Развиваемая электрическая мощность, кВт	50/0,9/0,9=61, 7
Фактическая непрерывная сила, кН	10,3
Максимальная активная длина, м	0,4
Максимальная активная ширина, м	0,5

3. Конструктивные проблемы.

Линейные машины известны, как обладающие недостаточными производительными характеристиками по сравнению с вращающимися машинами. Например, было показано, что машины с постоянными магнитами, использующиеся в устройствах со свободным поршнем будут иметь на 30% более низкую удельную мощность по сравнению с вращающимися машинами той же выходной мощности. Таким образом, конструкции

линейной машины требуют детального исследования, и факторы, которые оказывают влияние, приведены ниже:

- Собственная частота поршневой конструкции значительно ниже, чем частота вращающегося двигателя. Это приводит к понижению мощности по отношению к объему для линейной конфигурации.
- Часть либо статора, либо подвижного элемента линейной машины всегда неактивна (см. рис.2). Это приводит к сравнительно низкой удельной производительности. Для рационального использования активного материала длина статора либо транслятора должна быть равна длине рабочего хода, а другой должен быть в два раза больше этого значения.
- Имеется магнитная разрывность как в статоре, так и подвижном элементе (называемая краевым эффектом), которая понижает производительность переноса энергии двух краевых полюсов.
- Имеются высокие требования к конструкции магнитопровода (например, требование полного замыкания магнитного потока полюсов на краевых полюсах). Это снижает удельную производительность.
- В устройствах со свободным поршнем масса подвижного элемента ограничена, это существенно ограничивает количество доступного активного материала в подвижном элементе, величину доступной области активного воздушного зазора и мощностные возможности машины.
- Зависимость скорости для генератора со свободным поршнем является пульсирующей и прерывной. Это ухудшает производительность машины по сравнению со случаем постоянной скорости машины.

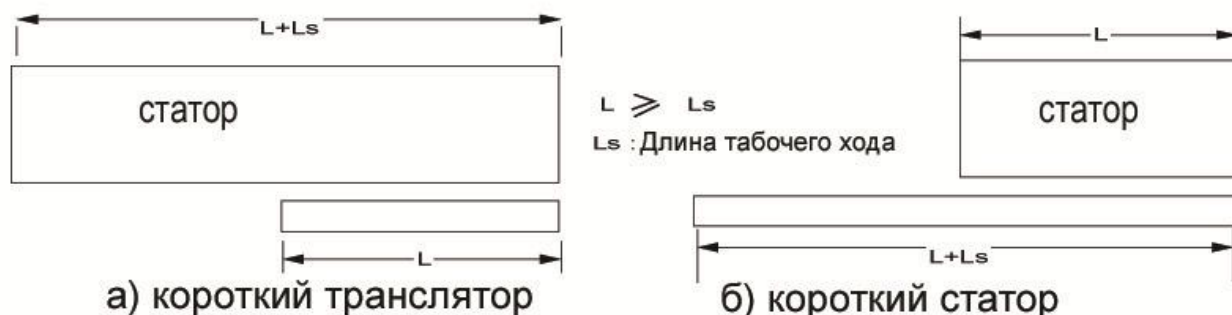


Рис.2. Классификация линейных машин:
а) с коротким транслятором; б) с коротким статором.

