

Конструкция и экспериментальная проверка линейного генератора с постоянными магнитами для преобразователя энергии со свободным поршнем.

Перевод Духанин В.И.

Сайт centaurproject.com

Часть 1.

Design and Experimental Verification of a Linear Permanent Magnet Generator for a Free-Piston Energy Converter.

*Jiabin Wang, Senior Member, IEEE, M. West,
David Howe,*

*Hector Zelaya-De La Parra, Senior Member,
IEEE, and*

Waqas M. Arshad, Member, IEEE

Аннотация: В этой статье обсуждаются проблемы, касающиеся конструкции линейного генератора с постоянными магнитами для использования в генераторе энергии со свободным поршнем. Для достижения требуемой удельной мощности, высокой производительности и низкой массы движущихся частей используется цилиндрическая машина, оборудованная модульными статорными обмотками и квази - Холбах намагниченным якорем (подвижным элементом). Показано, что конструкция машины может быть оптимизирована с соблюдением трех ключевых размерных соотношений, в то же время, удовлетворяя другим требованиям производительности. Также показано, что когда генератор связан интерфейсом с электрической системой посредством силового электронного преобразователя, как вольтамперная характеристика преобразователя, так и потери в преобразователе должны приниматься во внимание при расчете при оптимизации конструкции машины. Производительность такого цилиндрического генератора продемонстрирована измерениями прототипа машины с 10 полюсами и 9 слотами.

1. Вступление.

Гибридизация автомобильных двигательных установок путем использования более чем одного источника энергии и электрического привода, является ключевым шагом к понижению выбросов и улучшения топливной экономичности. Из различных типов гибридного транспорта последовательные гибриды предлагают, вероятно, наилучшую модульность и потенциал для низкой стоимости, оптимального использования энергии и

снижения выбросов, которые будут достигнуты управлением пропорциональным распределением энергии между устройствами хранения энергии, ДВС- электрический генератор, и электрическим тяговым приводом [2].

Преобразователь энергии со свободным поршнем (*free-piston energy converter*) ФРЕС [3]-[6], показанный на рис.1, преобразует химическую энергию непосредственно в электрическую энергию и является потенциальным силовым источником полезной энергии для использования в ряде транспортных силовых установок. Принцип свободного поршня дает уникальные возможности для реализации усовершенствованных стратегий сгорания, таких как гомогенное зажигание сжатого заряда (НССИ), в котором зажигание топливно-воздушной смеси происходит, когда газовое давление и температура сохраняют оптимальные значения в течение хода сжатия. Скорость поршня может контролироваться в каждом рабочем ходе, чтобы достичь правильного регулирования по времени для НССИ соответствующему управлению выходной мощности электрической машины в целом.

Преобразователь энергии со свободным поршнем также исключает необходимость наличия коленчато-шатунного механизма и способствует возможности по изменению степени сжатия. Как результат, может быть существенно улучшена топливная экономичность и понижены выбросы как NO_x и CO_2 [7]-[9]. Как показано на рис.1, линейная электрическая машина является ключевым элементом ФРЕС. Таким образом, в статье обращается внимание на проблемы, которые имеют отношение к оптимизации конструкции и к реализации такого преобразователя энергии со свободным поршнем.

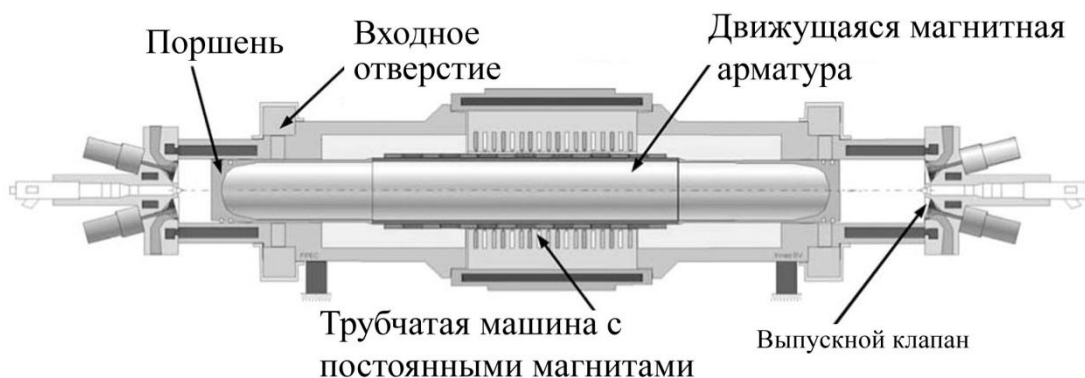


Рис.1. Схема преобразователя со свободным поршнем.

2. Линейный генератор с постоянными магнитами для ФРЕС.

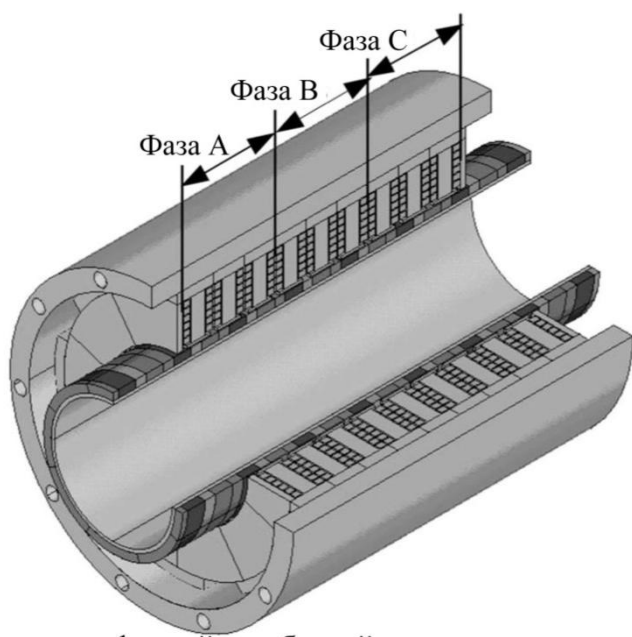


Рис.2. Схема трехфазной, трубчатой машины с постоянными магнитами с квази-Halbach намагниченной арматурой (9 слотов/10 полюсов)

Цилиндрическая трехфазная машина с постоянными магнитами, имеющая 9 пазов и 10 полюсов, оборудована модульными статорными обмотками, витки которых расположены рядом друг с другом, как показано на рис.2. Модульные статорные обмотки выполнены одинаковыми, что наиболее подходит для этого устройства. Это дает значительные преимущества в смысле его высокой плотности энергии и производительности, низкой силой сцепления и легкости в производстве по сравнению с обычными цилиндрическими машинами на постоянных магнитах [10]-[13]. Кроме того, подвижная магнитная система якоря использует квази-Halbach намагниченные магниты, каждый полюс содержит радиально намагниченный магнит и аксиально намагниченный магнит, чтобы получить по существу синусоидально распределенный магнитный поток в воздушном зазоре. Особенность квази-Halbach намагниченности состоит в том, что осевые намагниченные магниты по существу предоставляют обратный путь для потока в воздушном зазоре, и, следовательно, поток во внутреннем отверстии якоря относительно мал. Таким образом, постоянные магниты могут устанавливаться на немагнитной поддерживающей трубе с высокой прочностью без большого снижения осевой несущей способности [14], вследствие чего значительно снижается масса движущегося поршня и якоря в сборе, которая существенна для достижения высокой выходной мощности от ФРЕС.

Конструктивное исполнение цилиндрической машины, такой как показано на рис. 2, может быть вычислено заранее либо аналитически, либо анализом методом конечных элементов (МКЭ) [15], [16].

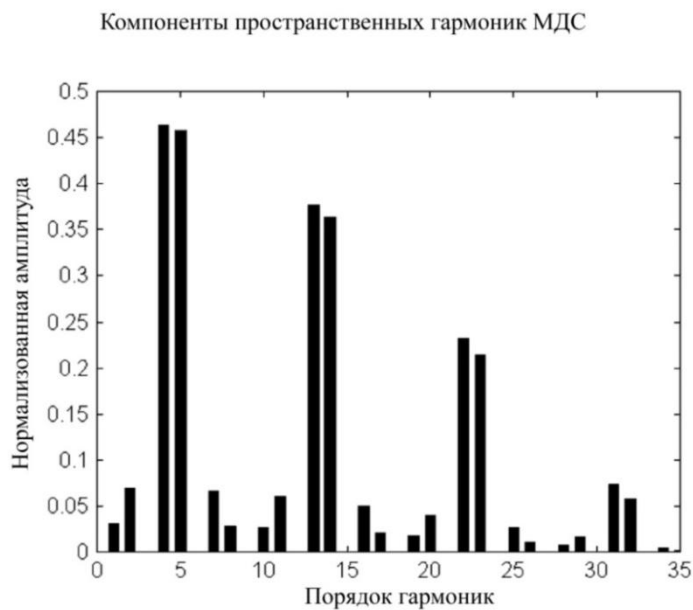


Рис.3. Нормализованное распределение пространственных гармоник МДС для трехфазного генератора с 9 слотами и 10 полюсами.

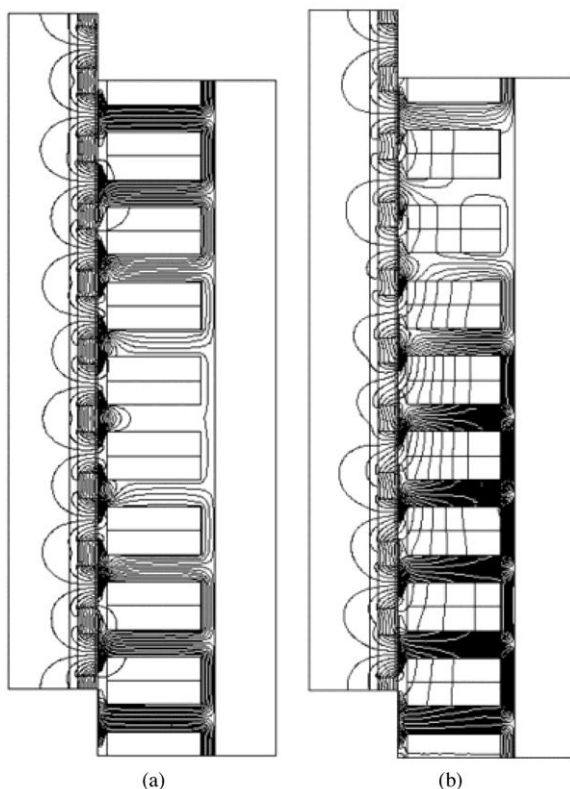


Рис.4. Распределение потока в трехфазной модульной трубчатой машине с постоянными магнитами (9 слотов/10 полюсов): а) без нагрузки; б) полная нагрузка.

зоны насыщения, шум и вибрации.

Рис.4а и 4б показано распределение потока без нагрузки и с полной нагрузкой машины, соответственно, в которой краевые эффекты, связанные с конечной длиной

В качестве примера на рис.3 показана магнитодвижущая сила (МДС) статора, распределенная на 9 слотов/10 полюсов модульной машины, приведенная к ампер-виткам на паз, поделенных на ширину просвета паза статора. Когда статорная обмотка возбуждается посредством сбалансированных трехфазных токов, генерируются движущиеся вперед в пространстве гармонические МДС в порядке $n = 1, 4, 7, \dots$, движущиеся назад в пространстве гармонические МДС в порядке $n = 2, 5, 8, \dots$, и нулевые гармоники кратные трем. Осевая сила образуется взаимодействием пятой гармонической МДС с 10 полюсным полем постоянных магнитов. Гармоники МДС низкого и высокого порядка движутся на различных скоростях вдоль якоря и индуцируют токовые вихревые потери в постоянных магнитах и несущей трубе (если она электропроводна) и могут быть причиной других нежелательных эффектов, таких как местные

статора, были приняты пренебрежимо малыми, в то время как на рис.5 и 6 сравниваются аналитические и рассчитанные методом конечных элементов фазы ЭДС и формы колебаний осевой силы при скорости якоря 11 м/с и рассчитанного тока, соответственно. Как можно увидеть, аналитически предсказанная ЭДС и осевая сила волновых форм хорошо согласуется с величинами, рассчитанными методом КЭ.

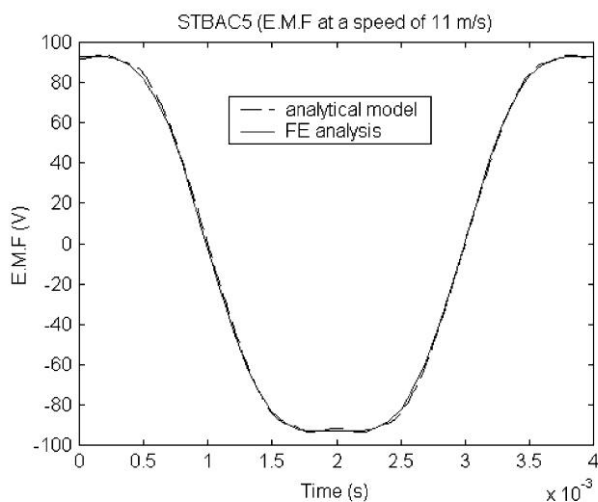


Рис.5. Сравнение аналитических рассчитанных МКЭ фазовых волновых форм ЭДС.

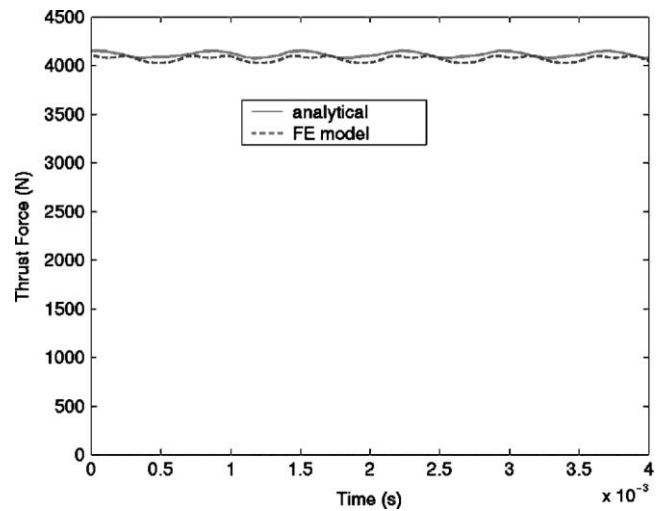


Рис.6. Сравнение аналитических рассчитанных МКЭ волновых форм осевой силы.