

Альтернативные конструктивные решения электрических машин для генератора со свободным поршнем.

Перевод Духанин В.И.
сайт centaurproject.com

Часть 2.

4. Конструкция электрической машины.

Когда проектируется линейная машина, главное внимание уделяется краевым эффектам. Однако, в настоящем подготовительном анализе они не учитывались. Тем не менее, этот эффект был учтен при расчете размеров магнитопровода, чтобы полностью переносить магнитный поток полюсов. Принятые температуры для меди - 100°C и для магнита - 80°C. Рассматривались только трехфазные машины, поскольку было принято требование самозапуска и будущие экономические преимущества в затратах на силовую электронику. Более того, рассматривался только синусоидально питаемый процесс (общая сила дана уравнением (1)), так как этот процесс дает 60% общей силы, по сравнению с питанием прямоугольными импульсами с тем же самым количеством оборотов в секунду токовой нагрузки. Рассматривались только плоская (двусторонняя) и цилиндрическая конструкции, чтобы избежать сил в нормальном направлении. Были приняты следующие значения коэффициентов: коэффициент заполнения пазов $k_{fill}=50\%$ (для пазовых машин), коэффициент Картера $k_c=1,2$, коэффициент намотки катушки $k_w=1$, коэффициент потерь магнитного потока $k_l=0,8...0,9$. Принято: высота воздушного зазора для конструкции подвижного сердечника 0,5 мм, и 1 мм для несущей конструкции.

$$F = 2 (B_g S A_{airgap} k_w k_l \sin \alpha) / \pi \quad (1)$$

4.1. Машины переменного тока с продольным магнитным потоком.

С точки зрения удельной мощности желательно иметь настолько малый шаг полюсов, насколько это практически возможно, чтобы понизить массу магнитопровода, масса которого является главной долей в массе линейной машины. В работе [4] сообщалось о величине 2-3 мм для зубца и ширины паза. Это дает минимальный шаг полюса примерно 15 мм для 1 паза/полюса/фазы обмотки машины. Чтобы иметь хорошее использование области воздушного зазора, высота паза должна быть длинной насколько это возможно. Однако чрезмерные утечки в пазе и механические пределы ограничивают

эту высоту величиной примерно 4...6 ширины паза. В работе [4] сообщалось, что для линейной машины с усиленным, то есть жидкостно охлаждаемым статором, коэффициент нагрузки (частное от токовой плотности (J_{rms}) и пиковой поверхностной токовой нагрузки (S_{peak})) имеет значение $k_{lf} \approx 300 \text{ A}^2/\text{мм}^3$. Полагая равной ширину зубца и ширину паза ($w_{tooth}=w_{slot}$), допустимая токовая плотность в первом приближении дается уравнением (2):

$$J_{rms} = \sqrt{(k_{lf}\sqrt{2}) / (k_{fill}h_{ss})} \quad (2)$$

Максимальная плотность магнитного потока в зубце ограничена величиной 1,8 Т. Это означает, что максимальная магнитная индукция в воздушном зазоре, которая может быть допустима (с условием $w_{tooth}=w_{slot}$) в воздушном зазоре (B_{g-peak}) составляет примерно 0,9 Т. Таким образом, задана минимальная величина активной области воздушного зазора, которая требуется для создания силы (равенство 1). Поверхностная плотность силы в следующем приближении ($\sim 25 \text{ кН/м}^2$), которая увеличивается до максимального значения 30 кН/м^2 для жидкостно-охлаждаемой конструкции. Теперь может быть найдены массы плоской (двухсторонней) и цилиндрической конструкций статора. Преимущество цилиндрического устройства - в отсутствии краевых обмоток. Полагая массу транслятора 4 кг (см.таблицу 1) и пренебрегая потерями в трансляторе и в неактивной части статора (для случая длинного статора), находятся наилучшие возможные удельная производительность КПД машины. Оптимизацией длины машины как параметра, показано, что лучшим решением являются удлиненные машины. Результаты представлены в таблице 2. Принято, что потери магнитного потока 10 % и полный шаговый магнитный промежуток ($\alpha=90^\circ$). Можно увидеть, что характеристики удельной производительности не соответствуют требованиям в таблице 1. Следовательно, машины переменного тока с продольным магнитным потоком не полностью удовлетворить требованиям к системе. Однако, из-за того, что имелась идея об относительной производительности этих машин, исследования были доведены до конца.

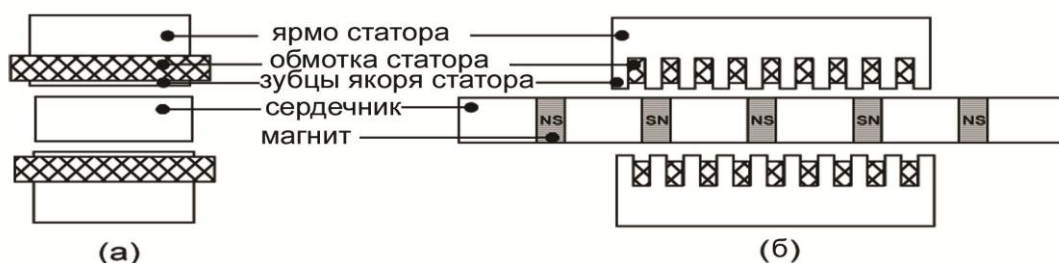


Рис. 3. Двухсторонняя машина с утопленными магнитами:
 а) поперечное сечение; б) продольное сечение.

Таблица 2. Характеристики производительности машин переменного тока с продольным магнитным потоком.			
Статор	Конструкция	Удельная мощность, кВт/кг	КПД, %
Длинный статор	Плоский	0,55	93,8
	Цилиндрический	0,51	92,9
Короткий статор	Плоский	0,67	93,8
	Цилиндрический	0,63	93,5

Машины с подвижными магнитами. Эти машины могут быть следующих типов: с поверхностно монтируемыми магнитами и с утопленными (заглубленными) магнитами. Они имеют преимущества в низкой массе ротора и высокой производительности, однако имеются проблемы с повторяющимися толчками на транслятор, тепловым потоком к магнитам и с высокой стоимостью. На рис.3 показан плоская, а на рис.4 - трубчатая конструкции с утопленными магнитами машины.

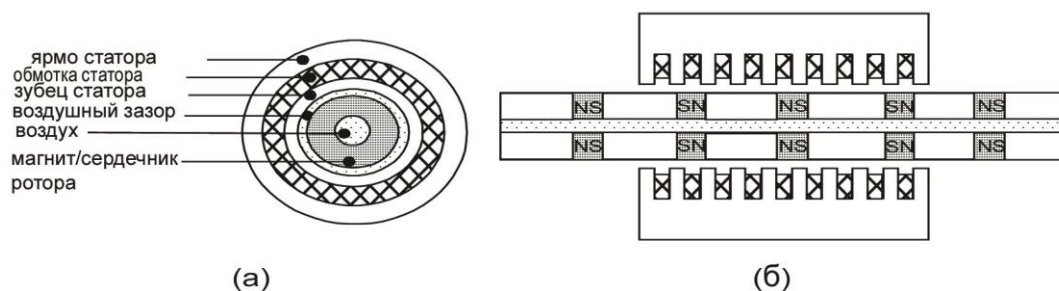


Рис 4. Трубчатая машина с утопленными магнитами:
а) поперечный разрез; б) продольный разрез.

Результаты представлены в таблице 3. «Утопленные» конструкции показывают более низкую характеристики производительности, чем установленные в таблице 2. Это происходит вследствие высоких магнитных потерь (~20%) и из-за того факта, что в этой топологии α не может быть 90° . Интересно, что определено то, что различие между удельными производительностями плоской и трубчатой конструкции незначительны. Это противоположно случаю поверхностно монтируемой конструкции, где плоская конструкция приводит к лучшей конструкции.

Другие типы машин: Другие типы машин, которые имели аналогичный статор и могли быть проанализированы подобным образом, являются индукторными и были рассмотрены ранее [1].

4.2. Машины с подвижным сердечником.

Эти машины имеют подвижный элемент, состоящий только из сердечника, и являются фактически индукторными машинами. Эти машины прочны, дешевы и надежны, однако имеют недостаток в виде высокой массы подвижного элемента и низкой производительности. Так как конструкции этих машин демонстрируют высокую массу подвижного элемента и низкие удельные характеристики производительности, попытки найти преимущества их не увенчались успехом.

Вентильные индукторные машины.

Вентильные индукторные машины (ВИМ) показаны на рис.5 [4]. Эти машины в любой момент времени используют только одну фазовую обмотку. Следовательно, их ожидаемые характеристики производительности примерно в 2~3 раза ниже, чем представленные в таблице 2. Сообщалось, что для ВИМ плотность силы на активной части статора (в любое время) может быть той же, что и установленное в разделе 4.1 [4]. Таким образом, в этом случае массы паза статора и зубца статора вырастают до коэффициента 3, в то время как может быть показано, что масса яра статора будет сохраняться той же. (Это потому, что толщина яра понижается и равна ширине только одного зубца, даже если он распространяется в три раза большую область). Это означает, что масса статора будет увеличиваться, по крайней мере, фактор 2, и удельная силовая производительность машины будет идти вниз к тому же фактору. В [4] также предлагается конструкция транслятора, позволяющая посредством заданных индуктивных переменных достичь установленной силовой плотности. (Эта процедура определяет высоту зуба транслятора равной примерно 30-кратной высоте воздушного зазора). Таким образом, может быть также вычислена масса транслятора. Результат представлен в таблице 3. Можно увидеть, что эти машины дают очень слабые решения.

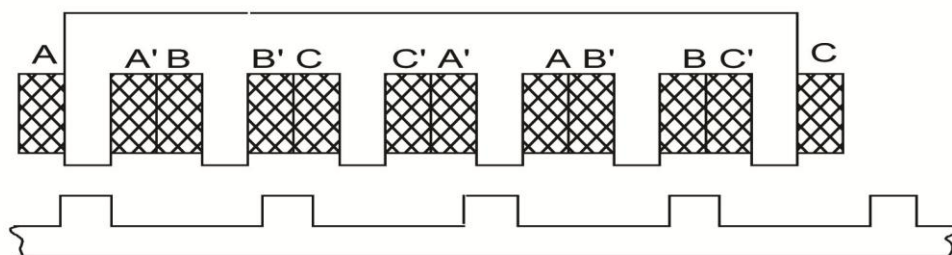


Рис.5. Продольное сечение линейной вентильной индуктивной машины [4].

Гибридные индукторные машины.

Эти машины используют постоянные магниты в статоре в дополнение к катушкам, однако в подвижном элементе используется только сердечник. В таком случае магнитный поток постоянных магнитов взаимодействует с магнитным потоком катушек, повышая производительность индуктивной машины [4]. Одна такая конструкция, которая дает возможность создания обратного магнитного потока в сердечнике и демонстрирует высокую энергетическую плотность [4], показана на рис.6. Эти конструкции по существу однофазные и для многофазной машины требуется несколько модулей. Для анализа была проделана процедура проектирования, разъясняемая в [4]. Эта конструкция использовалась в генераторе со свободным поршнем с двигателем Стирлинга. Результаты представлены в таблице 3. Можно видеть, что эти машины также представляют собой решения с очень слабыми характеристиками, в основном потому, что требуется массивный ротор.

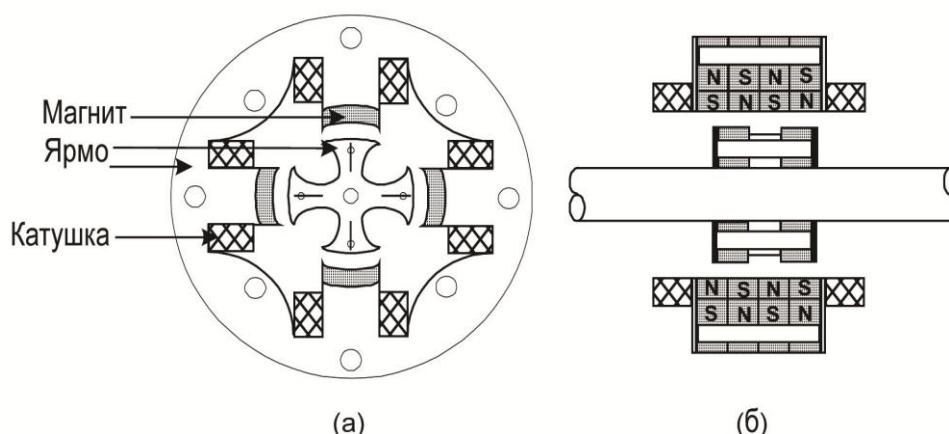


Рис.6. Гибридная индукционная машина с подвижным сердечником:

а) радиальное сечение; б) продольное сечение.