

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

Перевод Духанин В.И.

Сайт centaurproject.com

Часть 2.

3. Оптимизация конструкции.

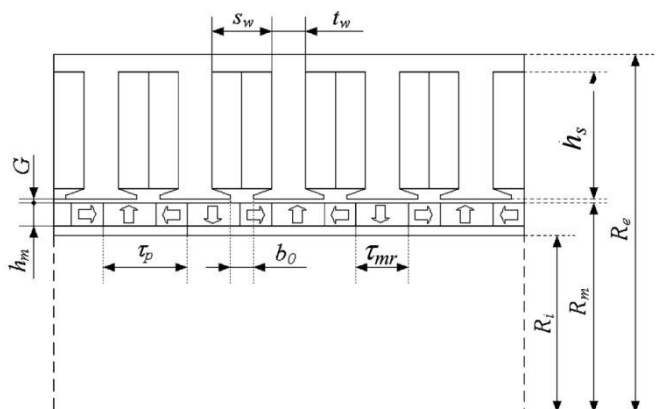


Рис.7. Основные конструктивные параметры цилиндрической ПМ-машины.

активный объем машины ограничен величиной $20\pi\tau_p$. Необходимо отметить, что ширина зубца t_w и толщина обоймы статора $R_e - h_s$ зависят от плотности потока в воздушном зазоре и максимально допустимой плотности потока в сердцевине статора. Более того, для комбинации 9 пазов/10 полюсов, ширина паза S_w дается, как $(10/9)\tau_p - t_w$. Отсюда следует, что для данного статора наружный радиус R_e , конструктивные параметры, которые имеют наиболее значительное влияние на исполнение, это размерные отношения R_m / R_e , τ_{mr} / τ_p и толщина магнита h_m и толщина магнитного зазора G .

В основном, производительность улучшается, когда h_m повышается. Однако, увеличение объема редкоземельных постоянных магнитов увеличивает стоимость и в результате утяжеляет якорь, что обычно нежелательно для движущихся магнитных машин. В этом исследовании, поэтому, толщина магнита фиксирована (6 мм), чтобы получить удовлетворительную плотность магнитного потока в воздушном зазоре и плотность осевой силы, получая, в то же время требуемую эффективность против размагничивания. Воздушный зазор также принят постоянным (1 мм), хотя и меньшая толщина воздушного зазора улучшила бы производительность, она ограничена производственными допусками, а также жесткостью и статическим и радиальным биением движущегося магнитного якоря.

В этом применении, многочисленные конструктивные требования (максимум производительности машины и системы силового электронного преобразователя с

минимальной стоимостью системы) вызывают предмет обсуждения для удовлетворения других конструктивных характеристик, таких как масса подвижного якоря не должна превышать 6 кг. Хотя задачи многопараметрической оптимизации могут быть решены, используя формальные численные методы, например, симуляционный *annealing* и групповой алгоритм и т.п., их результаты зависят от точности требований к стоимостной функции, которая не имеется в распоряжении на исследовательской стадии системы. Например, альтернатива между производительностью системы и стоимостью часто зависит от субъективных предпочтений. Таким образом, в этом исследовании, процесс оптимизации трактуется посредством эвристических улучшений, в которых исследуется влияние основных конструктивных параметров на основную производительность системы и стоимостные показатели, такие как силовая плотность, КПД, фактор мощности и диапазон вольт-амперного преобразования (ВАХ). Таким образом, в свою очередь, дадим обоснование процесса принятия решения человеком в течение этапа оптимизации конструкции.

На рис.8 показано изменение осевой плотности силы как функции τ_{mr}/τ_p и R_m/R_e , полагая $R_e = 0,097$ м и $\tau_p = 0,022$ м. Как можно увидеть, независимо от отношения R_m/R_e , имеется оптимальное отношение $\tau_{mr}/\tau_p \approx 0,4$, который дает максимум плотности силы. Это отношение представляет оптимальные условия, при которых комбинированный эффект радиальной и аксиальной намагниченности магнитов дает результат в максимуме возможности производства силы для заданного термического ограничения. Также было показано, что оптимальное отношения не зависит от шага полюсов τ_p .

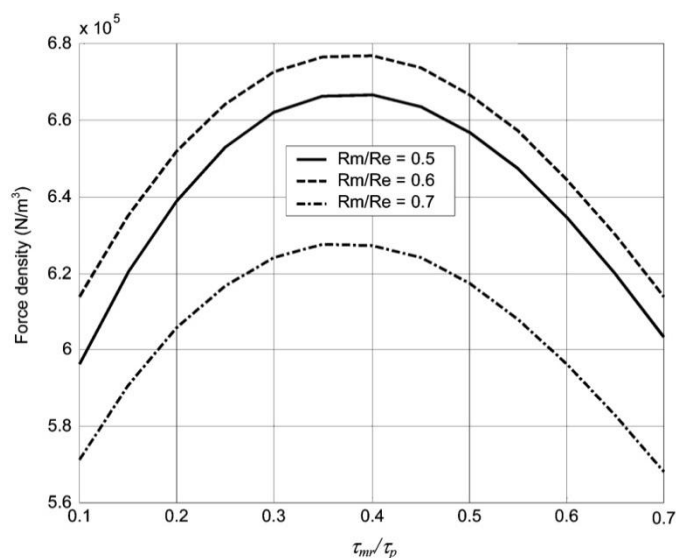


Рис.8. Изменения осевой плотности силы как функция τ_{mr}/τ_p для трех значений R_m/R_e .

а) 3-D представление; б) 2-D представление.

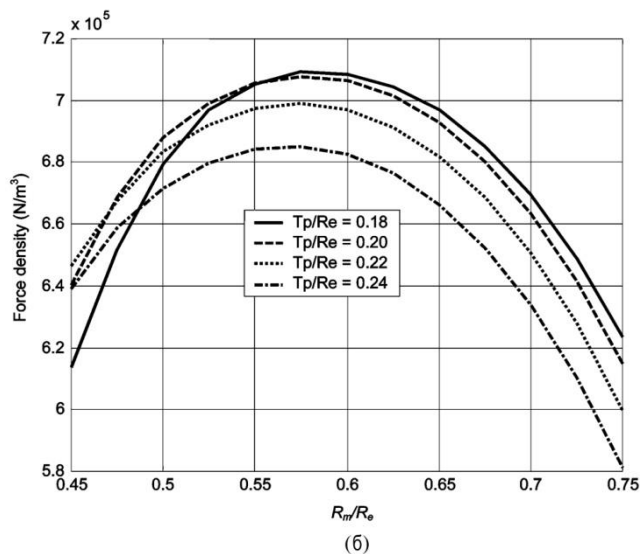
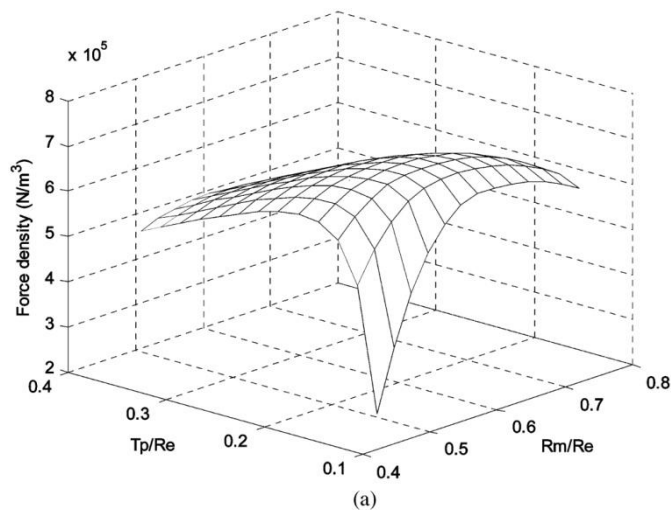


Рис.9. Осевая плотность силы как функция отношения размеров R_m / R_e и τ_p / R_e (для $\tau_m / \tau_p = 0,4$).

Следовательно, силовая способность понижается. Однако, если отношение τ_p / R_e слишком большое, магнитный поток на один полюс повышается и это дает результат в повышении насыщения, как статора, так и сердечника арматуры, если их радиусы сохраняются постоянными, или требует более толстых сердечников, если их плотность магнитного потока сохраняется постоянной. В обоих случаях, плотность силы опять понижается. Оптимальные размерные отношения для максимума плотности осевой силы равной $709,0 \text{ кН/м}^3$ будут $R_m / R_e = 0,56$ и $\tau_p / R_e = 0,18$.

На рис.9 показано влияние других двумерных отношений R_m / R_e и τ_p / R_e на осевую плотность силы. Как можно видеть, для заданного τ_p / R_e , имеется оптимальное отношение R_m / R_e , которое дает максимум плотности силы. Это отношение представляет оптимальный баланс между электрической нагрузкой и магнитной нагрузкой машины для заданной термической характеристики. Подобно, для заданного значения R_m / R_e существует оптимальное значение τ_p / R_e , которое дает максимум плотности силы. Как только отношение τ_p / R_e понижается ниже оптимального значения, поле воздушного зазора, которое создается постоянными магнитами, разрушается более быстро по радиусу и повышается потеря магнитного потока дополнительного полюса.

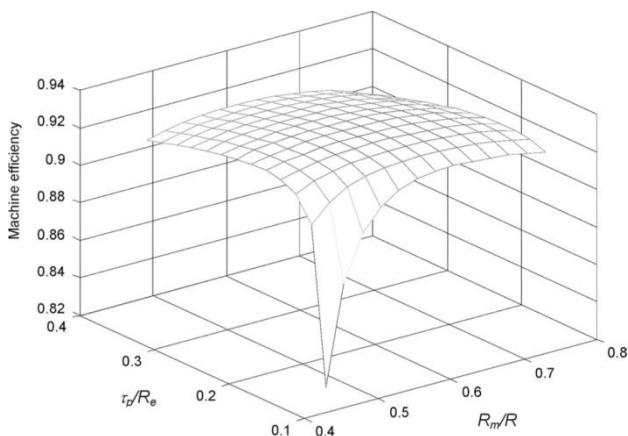


Рис.10. КПД машины как функция отношений R_m / R_e и τ_p / R_e (для $\tau_m / \tau_p = 0,4$).

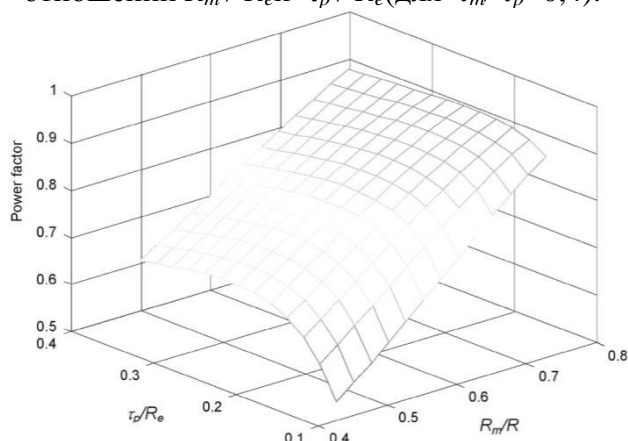
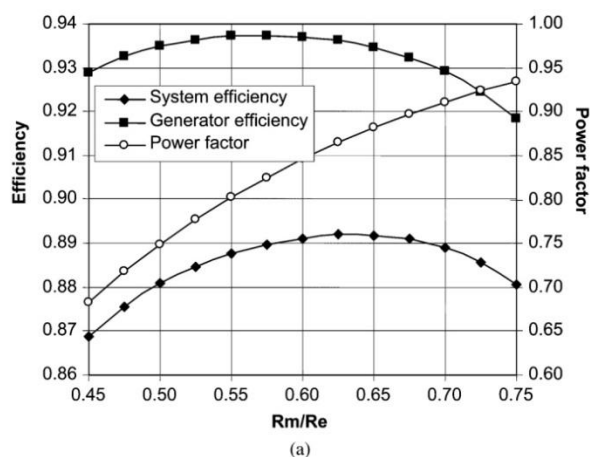
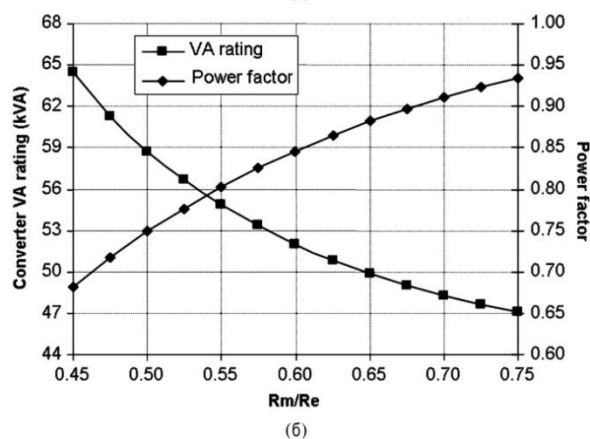


Рис.11. Фактор мощности машины как функция отношений R_m / R_e и τ_p / R_e (для $\tau_m / \tau_p = 0,4$).



(a)



(б)

Рис.12. Зависимость КПД генератора и системы конвертер-генератор, диапазон ВАХ конвертера и фактор мощности от R_m / R_e . а) КПД и фактор мощности; б) ВАХ конвертера и фактор фактор мощности.

На рис.10 и 11, соответственно, показаны изменения КПД машины и фактор мощности как функции двумерных отношений R_m / R_e и τ_p / R_e . Как можно увидеть, могут быть выбраны оптимальные отношения $R_m / R_e = 0,575$ и $\tau_p / R_e = 0,20$, которые дают максимум КПД машины 0,938. Эта тенденция подобна той, которая наблюдалась на рис.9, хотя оптимум имел место при слегка различных размерных отношениях. Следует отметить, что фактор мощности повышается, когда оба отношения повышаются. Это происходит из-за того факта, что потери паза рассчитывались для большей части индуктивности машины. Таким образом, магнитный поток потерь слота понижается, когда глубина паза понижается путем увеличения R_m , а также когда ширина паза увеличивается путем увеличения τ_p .

Необходимо отметить, что когда электрические машины взаимодействуют, как электрические системы, посредством силового электронного конвертера, фактор

мощности машины имел значительное влияние как на ВАХ конвертера, так и на потери конвертера. Следовательно, они должны быть также учтены, когда оптимизируется конструкция машины[15]. На рис. 12 показано изменение КПД генератора, фактора мощности, и ВАХ конвертера, как функции отношения R_m / R_e , для фиксированного отношения $\tau_p / R_e = 0,227$ и $\tau_{mr} / \tau_p = 0,4$ и постоянной выходной мощности 44 кВт.

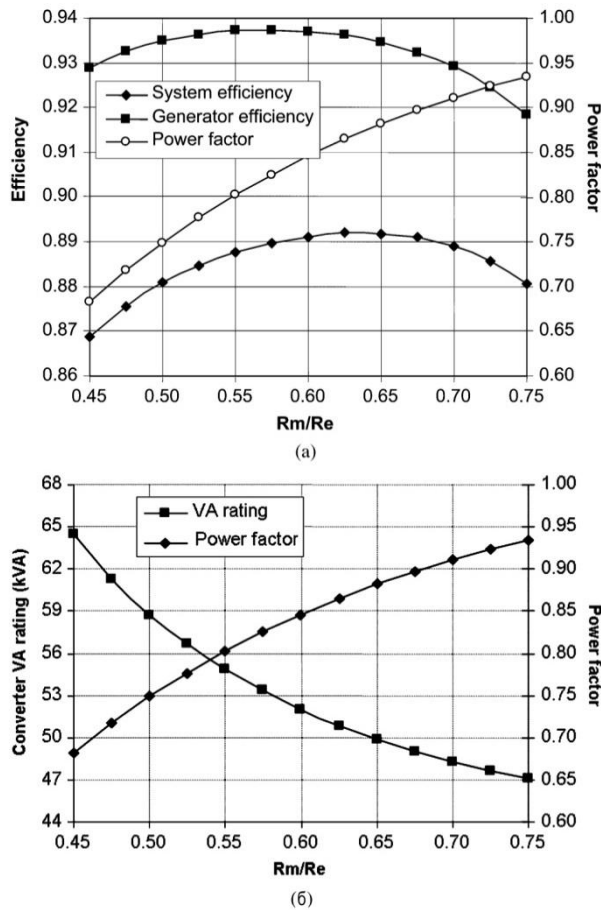


Рис.12. Изменение КПД системы генератор и конвертер-генератор, вольтамперного диапазона конвертера и фактора мощности от R_m / R_e .

- а) КПД и фактор мощности;
- б) вольтамперный диапазон конвертера и фактор мощности.

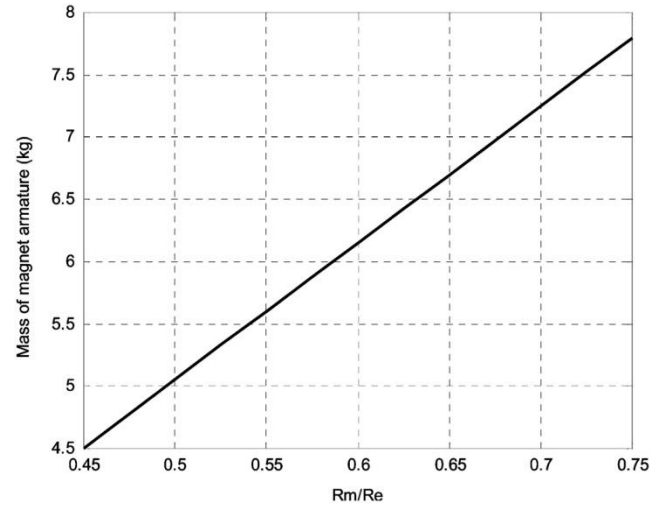


Рис.13. Масса подвижной магнитной арматуры как функция R_m / R_e .

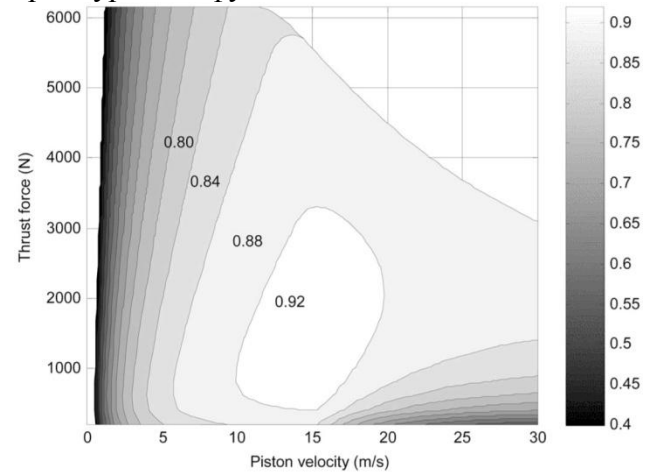


Рис.14. Карта КПД оптимизированной системы конвертер/трубчатый генератора.

Таблица 1. Параметры для вычисления потерь конвертера.

V_{ton}, B	$R_{ton}, m\Omega$	V_{don}, B	$R_{don}, m\Omega$	$f_s, кГц$
1,0	5,0	1,3	0,3	8,0
I_{cn}, A	$Q_{rrm}, \mu C$	$t_{rrm}, нс$	$t_{rr}, нс$	$t_{fn}, нс$
300	3,9	450	351	335

Параметры вычисления потерь конвертера даны в таблице 1. Как видно, оптимальное отношение $R_m / R_e = 0,575$ для максимума КПД машины значительно ниже, чем отношение 0,66 для максимума КПД системы. Это объясняется тем, что оптимальное отношение R_m / R_e для максимума КПД машины, фактора мощности много ниже, и следовательно, потери конвертера выше. Когда отношение R_m / R_e повышается, КПД конвертера вначале повышается быстрее, чем понижение в КПД машины и КПД приводной системы улучшается до тех пор, пока достигается точка, где тенденция делается обратной. Необходимо отметить, что требуемая ВАХ конвертера на $R_m / R_e = 0,57$ значительно выше, чем та, которая требовалась, когда конструкция машины оптимизировалась для максимума КПД системы. В этом особом оборудовании масса подвижной магнитной арматуры была также ограничена заданным значением, в то же время удовлетворяя другим конструктивным характеристикам. На рис. 13 показано, как общая масса подвижной магнитной арматуры, включающей в себя 15 полюсов (10 активных) и титановая несущая труба с толщиной стенки 2,5 мм изменяется как функция R_m / R_e . На рис. 14 показана карта КПД оптимизированного системы конвертер/трубчатый генератор, когда рабочая частота широтной модуляции переключения 8 кГц.