

ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Высоцкий В.Е., Шамесмухаметов С.Л., Старухин А.А.
Самарский государственный технический университет

Тел. +7 (846) 2423129 E-mail: toe_fp@samgtu.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы применения синхронных машин возвратно-поступательного движения в качестве источников энергии – линейных генераторов с постоянными магнитами, этапы и алгоритм их расчета, конструкция и проектирование. Приведены результаты расчета ряда типоразмеров линейного генератора.

Ключевые слова: синхронная электрическая машина, возвратно – поступательное движение, расчет, алгоритм, типоразмер.

Постановка задачи

В современных технологиях достаточно широко и успешно применяются традиционные электрические машины асинхронного и синхронного типов для непосредственного создания колебательных (возвратно-поступательных) движений рабочего органа или иного устройства. Наличие промежуточного механического звена в виде кривошипно-шатунного механизма, кулачкового валика с толкателем и иного преобразовательного механизма обеспечивает более высокие технико-экономические колебательных и вибрационных устройств и облегчает их интеграцию с рабочим агрегатом [1].

Генераторные же режимы упомянутых электрических машин с возвратно-поступательным движением используются крайне редко либо не используются вообще.

Выбор линейного генератора в качестве электромеханического преобразователя (ЭМП) источника питания с приводом возвратно-поступательного движения обусловлен, прежде всего, простотой кинематической связи с движителем (рабочим телом). Интенсивное развитие технологии предъявляет особые требования к движителям линейного перемещения промышленного и специального оборудования. Имеется достаточный выбор первичных механизмов, реализуемых в линейном генераторе (механических, гидравлических, пневматических и др.). Проблема обеспечения улучшенных технических характеристик генераторов линейного движения, является актуальной задачей, поскольку, по крайней мере, 40-50% производственных машин и механизмов имеют линейное (в том числе возвратно-поступательное) перемещение первичных рабочих органов. При выборе движителя, обеспечивающего реализацию линейных перемещений, с точки зрения таких важнейших технических параметров как экономичность, масса, габариты, энергопотребление – предпочтение, в большинстве случаев, справедливо отдается варианту с движителем вращательного движения и устройством согласования движения ротора генератора с выходными координатами движителя. В тоже время, при разработке специальных генераторов, где на первый план выдвигаются специфические требования к использованию имеющихся энергетических ресурсов, компоновке узлов в условиях ограниченного пространства, надежности, обслуживанию, уровню шума, альтернативным, а часто и единственным решением становится применение генераторов с линейным и, в частности, с возвратно-поступательным перемещением подвижного элемента. Среди таких областей – космические аппараты, комплексы активного виброгашения, робототехника [2].

Основной задачей при расчете линейного генератора с постоянными магнитами (ЛГПМ) является создание конструкции, обеспечивающей получение максимальной мощности в единице объема ЛГПМ, что сопряжено с несколько заниженным уровнем КПД. Но так как кривая реального КПД имеет пологий максимум, то небольшое отклонение

рабочей точки от этого максимума не приводит к существенному снижению КПД. В основу конструкции взят ЛГПМ с цилиндрическими магнитами, так как он имеет наибольшую длину зазора по окружности магнита и способен развить наибольшую ЭДС.

Исходными данными для расчета являются параметры со стороны электросети:

- выходное напряжение ЛГПМ;
- выходная мощность ЛГПМ;

со стороны движителя:

- частота возвратно-поступательного движения движителя;
- амплитуда возвратно-поступательного движения движителя;
- значение движущей силы $Q_{дв}$;

приводимые в движение);

- потери («сухое трение», не зависящее от скорости, «вязкое трение», пропорциональное скорости движения).

Алгоритм расчета

На основе методики расчета, представленной в [8], расчет ЛГПМ можно выполнить в последовательности изображенной на (рис. 1).

Рассмотрим более подробно этапы расчета главных размеров активной части и параметров обмотки.

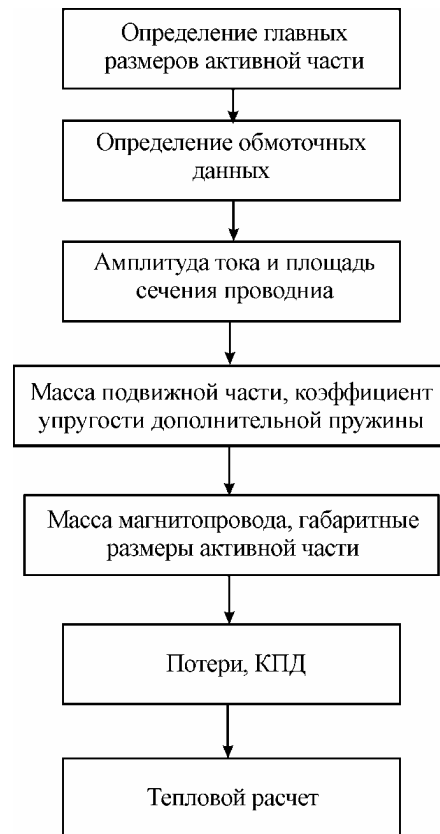


Рис. 1. Последовательность расчета

Определение главных размеров

Главными размерами активной части генератора являются размеры магнита: длина l_M , ширина b_M , и толщина L_M . Размеры остальных деталей определяются исходя из размеров магнитов и выбранной конструкции ЛГПМ. Толщина магнита выбирается из размеров,

имеющихся в каталогах фирм. Ширина магнита связана с амплитудой колебаний x_m . Так как рабочий промежуток колебаний магнита, обеспечивающий приемлемые характеристики, не превышает половины ширины магнита, то можно принять:

$$b_M := 2.5 \cdot x_m$$

Длина по окружности расположения магнитов l_M находится из выражения для определения движущей электромагнитной силы, вызванной взаимодействием потока обмотки и постоянных магнитов.

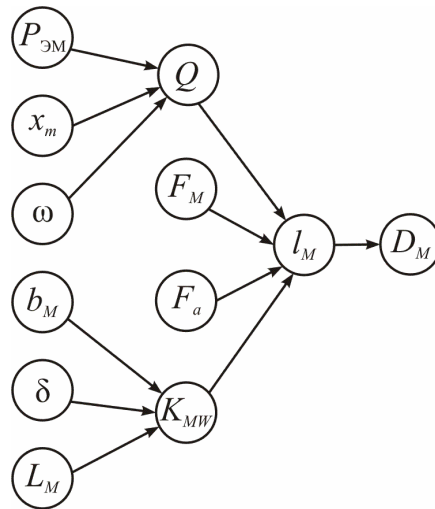


Рис. 2. Расчет главных размеров

Определение параметров обмотки

Коэффициент нагрузки холостого хода определяется исходя из проводимости для потока, сцепленного с обмоткой G_0 , длины витка и площади окна, выделенного под обмотку. Число витков выбирается исходя из требуемого выходного напряжения. Далее определяются активное и реактивное сопротивления обмотки.

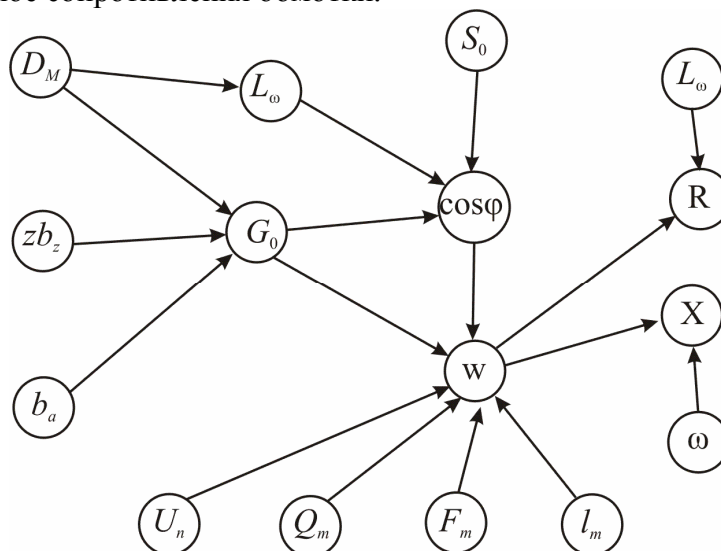


Рис.3. Расчет параметров обмотки

При определении компоновки в качестве базового варианта ЛГПМ используем линейный ЭМП с индуктором, размещенным на подвижном элементе [2].

Рассмотрим упрощенную конструктивную схему ЛГПМ (рис.4)

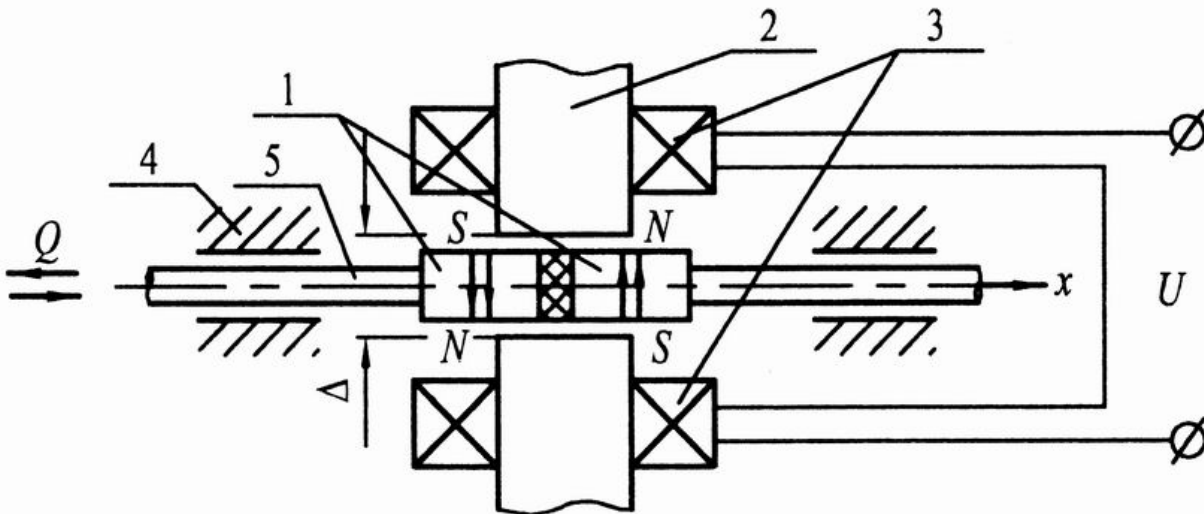


Рис.4 Упрощенная схема ЛГПМ

Два постоянных магнита 1, закрепленных на штоке 5 образуют подвижный элемент ЛГПМ. Магниты 1 намагничены в противоположном направлении, как показано на рисунке, разделены между собой с краев немагнитным промежутком. На шток 5 действует сила Q передаваемая от приводного механизма.

Магниты 1 помещены в зазор образованный полюсными наконечниками замкнутого магнитопровода 2 (на рис.4 вся замкнутая магнитная цепь не показана) На магнитопроводе, в частном случае, в специально отведенных для этого пазах, расположена катушка 3, в которой в результате перемещения вдоль оси X магнитов наводится ЭДС. Магнитопровод 2 вместе с катушкой 3 и опорами 4 образуют неподвижную часть машины (статор). Шток 5 вместе с закрепленными на нем магнитами образуют подвижную часть машины ЛГПМ.

Одной из основных задач проектирования является создание конструкции, обеспечивающей получение максимальной мощности в единице объема ЛГПМ. Мощность $P_{рг}$, которую может развить генератор, соответствует определенному усилию на штоке Q и заданной амплитуде колебаний подвижной части xm . Стремление обеспечить максимальную удельную мощность $P_{рг} / Vg$ или $P_{рг} / mg$, где Vg и mg — объем и масса машины, в большинстве случаев сопряжено с несколько заниженным уровнем КПД.

Дело в том, что, как и в традиционных электромеханических преобразователях, в рассматриваемом генераторе точки максимума мощности и максимума КПД не совпадают. Если достижение высокого уровня КПД имеет не менее важное значение, чем получение высокой удельной мощности, то необходим поиск компромиссного решения. Эта задача, однако, облегчается тем обстоятельством, что кривая реального КПД имеет пологий максимум, и небольшое отклонение рабочей точки от этого максимума не приводит к существенному снижению КПД.

Другой задачей является выбор типа конструкции. Конструкция с цилиндрическими магнитами имеет наибольшую длину зазора по окружности магнита $l_m = \pi Dm$. Такая конструкция характеризуется наилучшим использованием материала. Однако она относительно сложна и в производстве может оказаться более дорогостоящей, чем, например, конструкция с плоскими магнитами, содержащая только пару плоских магнитов и простой магнитопровод.

Результаты расчета ряда типоразмеров линейных генераторов 150-5000 Вт

Табл. 1.

	150 Вт	250 Вт	500 Вт
Расчетная мощность, Вт	164,77	274,95	558,834
Длина генератора, м	0,026	0,028	0,028
Диаметр генератора, м	0,07	0,09	0,15
Диаметр магнита, м	0,04	0,06	0,12
Толщина магнита, мм	3	3	3
Длина магнита, мм	13	13	13
Сечение сердечника, мм	6,7x3,75	12x3,75	27x3,75
Количество сердечников	12	12	12
Напряжение, В	63	63	63
Номинальный ток, А	7,7	14,636	29,38
Расчетный КПД	0,92	0,913	0,924
Амплитуда колебаний, мм	5	5	5
Необходимое усилие на штоке, Н	33,5	53,22	114,214
Частота колебаний, Гц	300	300	300
Масса магнитов, кг	0,07	0,11	0,22
Масса подвижной части(ротора), кг	0,11	0,16	0,31
Масса статора, кг	0,44	0,70	1,44
Масса активных элементов, кг	0,55	0,86	1,75
Расчетная масса машины, кг	1,96	3,06	6,21
Удельная мощность, Вт/кг	84,24	89,85	89,95

Как видно из табл.1 при увеличении мощности генератора параметры (КПД, массогабаритные показатели) так же улучшаются, при этом отношение длины машины к её диаметру становится все меньше этот факт объясняется тем, что при большем диаметре магнита соответственно увеличивается его длина окружности, а это один из главных, с точки зрения расчета, параметров. При увеличении длины окружности магнита уменьшается влияние краевых эффектов потоков рассеяния, что в свою очередь позволяет более эффективно использовать магнит. Однако при увеличении мощности, а соответственно и

длины окружности генератора на первый план выходит необходимость применения как можно большего количества сердечников для того, что бы сохранить в минимальных пределах величину воздушного зазора (расстояние между магнитом и магнитопроводом).

Из таблицы 1 следует, что при количестве сердечников $z = 12$, расчетный КПД при увеличении мощности незначительно падает, а при увеличении количества сердечников до 48 шт. в генераторе мощностью 5000 Вт значение КПД увеличивается на 3%.

Еще одним немаловажным моментом при проектировании подобных машин является величина амплитуды колебаний. Так, например, при увеличении амплитуды колебаний мы видим значительное улучшение удельной мощности (с 95 Вт/Кг при 2500 Вт до 111 Вт/ Кг у генератора мощностью 5000 Вт) однако это усиливает требования к первичному двигателю. Требование заключается в увеличении требуемого усилия на штоке в 10 раз вместо предполагаемых 2-х раз. Такое решение, вероятно, приведет к снижению КПД всей системы в целом. Это означает, что вопрос взаимодействия первичного двигателя и линейного генератора, а так же их инерционности и влияния друг на друга требует более глубокого исследования.

Литература

1. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. М.:Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
2. Хитерер М.Я., Овчинников И.Е. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения, СПб.: Корона принт, 2004. – 368