


Электростатический двигатель и его математическая модель

Дворников Н.В. 11 кл. МОУ «Луховский лицей».
Руководитель: Смирнова С.Г. учитель физики МОУ
«Луховский лицей»

- 
- * Целью настоящей работы является построение математической модели электростатического двигателя и поиск материала ротора.

- * Актуальность работы: электростатический двигатель является практически бесшумными и может найти применение в космосе для изготовления вентиляторов.

- * Гипотеза: изготовление электростатического двигателя с использованием пористых материалов позволяет повысить емкость ротора, что позволит увеличить вращательный момент.

- * Электростатический двигатель был изобретен Литовченко С.С. в 1982г [1]. В этом электродвигателе отсутствовали щетки, и поэтому ресурс работы таких двигателей очень большой. Они являются практически бесшумными и находят применение в космосе для изготовления вентиляторов. Недостатком таких двигателей является малый вращательный момент. Нами был изготовлен такой двигатель, в котором удалось резко увеличить вращательный момент за счет использования пористого материала для изготовления ротора. Для того чтобы провести дальнейшее увеличение вращательного момента двигателя, необходимо разобрать физику процесса работы двигателя и построить математическую модель. С помощью физической модели двигателя можно найти пути дальнейшего повышения мощность таких моторов.

Устройство и принцип действия электростатического двигателя

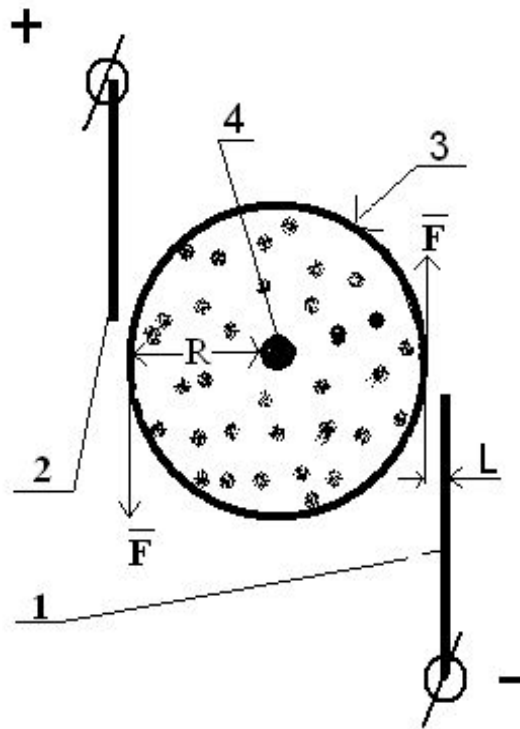


Рис 1

На рис.1 изображена схема двигателя: 1, 2 - электроды, 3 - ротор. 4 - ось ротора. Высокое напряжение подается на электроды 1, 2. Ротор располагается между электродами. Заряды стекают с острых концов электродов на ротор. Так как ротор состоит из диэлектрика, то области ротора около электродов заряжаются одноименно с электродами. Следовательно, возникают силы отталкивания (F) между электродами и ротором.

Математическая модель электростатического двигателя и поиск материала ротора

- * Вращающий момент пары сил будет равен:

$$M=2FR \quad (1)$$

- * R- радиус ротора. Определим силу F. Эта сила является силой кулоновского отталкивания между зарядами электродов и ротора. Величина зарядов, которые стекают с электродов на ротор, зависит от емкости ротора.

$$q=CU \quad (2)$$

- * Используя закон Кулона, определим силу отталкивания между электродами и ротором. Полагая заряды электродов и ротора равны $q_1=q_2=q$, расстояние от электродов до ротора обозначим L, получим:

$$F = \frac{kq^2}{L^2} \quad (3)$$

* Определим вращательный момент ротора.

*
$$M = \frac{2kC^2U^2R}{L^2} \quad (4)$$

* Из соотношения можно сделать следующие выводы: для увеличения вращательного момента необходимо:

- * увеличить радиус ротора,
- * увеличить напряжение на электродах,
- * увеличить емкость ротора,
- * уменьшить расстояние между ротором и электродами.

- * Напряжение поднимать выше напряжения пробоя ротора диэлектрика не имеет смысла. Потому что начинается нагрев ротора из-за больших токов. Увеличивать радиус ротора также в ряде случаев нельзя из-за ограничений по объёму. Уменьшать расстояние между ротором и электродами также не имеет смысла, если начинается пробой. Следовательно, лучшим способом увеличения вращательного момента является увеличение емкости.

* Вращающий момент в этом случае квадратично зависит от величины емкости. Конструкция двигателя представляет собой плоский конденсатор. В качестве электродов мы использовали металлические пластины с острыми краями. Ротор располагался между пластинами. При подаче высокого напряжения заряды с электродов стекали на ротор и возникали силы отталкивания между электродами и ротором направленные по касательной к поверхности ротора. Для оценки емкости ротора в первом приближении воспользуемся формулой:

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

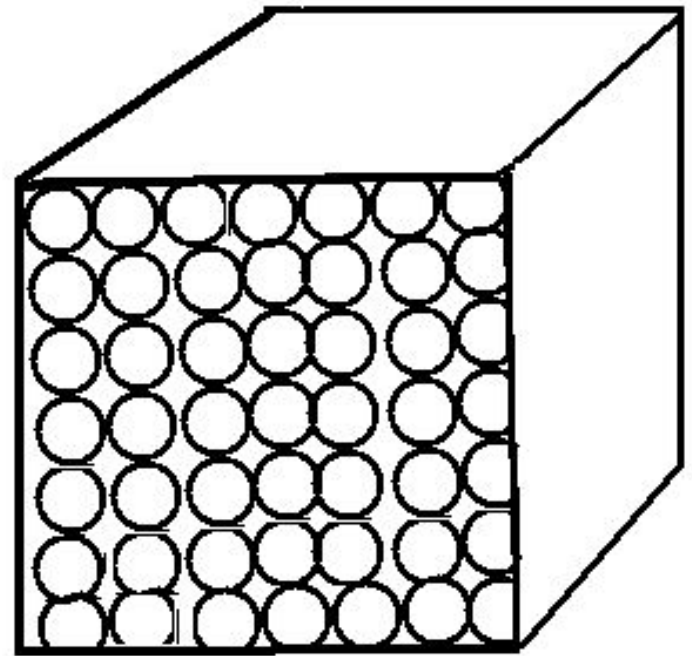
* Так как заряды на твердом теле всегда располагаются на поверхности [2] и их величина пропорциональна напряжению, то выражение (5) запишем в виде:

* где σ_0 - поверхностная плотность зарядов при потенциале 1В,

$$C = \sigma_0 S \quad (5)$$

$$[\sigma_0] = \hat{e} / \hat{A} \cdot i^2 \quad (6)$$

* Для нашего случая это соотношение является грубым приближением, но позволит нам найти пути повышения емкости. Площадь ротора можно резко увеличить, используя пористый материал. Рассчитаем площадь пористого материала. Для простоты расчетов поры будем считать шарообразными, и расчет проведем для куба.



- * Пусть a - размеры ребра куба. r -радиус пор, тогда n -число шаровидных пор, уместяющихся на ребре. Тогда количество пор в кубе равно n^3 . Поверхность пор будет равна:

$$S = 4\pi r^2 n^3 = \frac{4\pi r^2 a^3}{8r^3} = \frac{4\pi a^3}{8r} \quad (6)$$

- * Из (6) следует, что емкость пористого материала обратно пропорциональна размеру пор.

$$C = \sigma_0 S = \frac{4\pi a^3 \sigma_0}{8r} \quad (7)$$

* Чем меньше размер поры, тем больше поверхность пор в данном объёме, а следовательно согласно (7) емкость ротора. Точные выражения для удельных поверхностей пористых материалов приведены [3]. Для создания ротора необходимо использовать пористый материал. Такой материал значительно увеличит емкость ротора и, следовательно, вращательный момент. Подставляя выражение (7) в (4) получим выражение для вращающего момента в первом приближении:

$$M = \frac{2kC^2U^2R}{L^2} = \frac{AU^2a^2}{r^2} \quad (8)$$

* где $A = \text{const}$, для данного двигателя. Если размеры пор в 10 раз меньше размера ротора, то момент возрастет в 10^4 раз.

* Нами была проведена экспериментальная проверка разработанной конструкции. Были изготовлены два двигателя по схеме рис.1. В качестве источника питания служил высоковольтный школьный выпрямитель. В первом случае ротор был сделан из пластмассы как в патенте [1]. Во втором случае ротором служил пенопластовый цилиндр. Второй ротор имел скорость вращения примерно в 10 раз выше.



* В результате математического моделирования и экспериментальной проверки можно сделать следующий вывод: для резкого увеличения вращательного момента электростатического двигателя ротор двигателя необходимо изготавливать из пористого материала. В настоящее время такие материалы созданы и могут быть использованы для создания ротора. Например, ротор из графенового материала согласно [4] позволит увеличить емкость в 10^4 раз. В настоящее время электростатические двигатели не находят промышленного применения ввиду малой мощности. Мы полагаем, что предлагаемое решение позволит создать промышленный вариант таких двигателей.

Литература

- * 1. Литовченко С.С., Тимченко Н.М. Электростатический двигатель. Патент №SU 1224936
- * 2. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Чаругин В.М. Физика. Из-во: М.: Просвещение, 2014, 400 с
- * 3. Витязь П.А., Капцевич В.М., Кусин Р.А., Пилинович Л.П., Рак А.Л., Смoryго О.Л., Шелег В.К. Пористые порошковые материалы: история создания, современное состояние и перспективные разработки.
<http://www.science.by/upload/iblock/f02/f025be154eb66c4b931ccd675e3c3e92.pdf>
- * 4. Графеновый суперконденсатор.
<http://scorcher.ru/journal/art/art2359.php>

Спасибо за внимание

