

МБОУ Лицей при ТПУ

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ  
ДЕМОНСТРАЦИИ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ  
ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*Выполнил*

*И. С. Жданов*

Руководитель:

доцент кафедры

ЭЭС ЭНИИ НИ ТПУ

В.В. Шестакова

Томск - 2014

## Постановка проблемы, цели, задач

**Проблема:** Первоначальная моя цель заключалась: в проектировании и сборки модели для демонстрации основных принципов работы асинхронного электродвигателя, в предварительном расчёте его характеристик. Я сделал ротор. Он представлял собой стальное кольцо с определенным радиусом и массой. Для начала мне нужно было рассчитать вращающий момент для него. Т.е., условно говоря, определить какой должна была быть силы вращающее магнитное поле, чтобы крутить его с определенной частотой вращения. К моему удивлению в курсе физики не было ни одной задачи даже отдаленно напоминающей задачи поставленные мной. После изучения большого количества литературы на эту тему, я пришёл к такому же выводу. Наиболее близкой оказалась задача, представленная в [5], заключающаяся в расчете вращающего момента для диска индукционного реле, помещенного в магнитное поле с известной магнитной индукцией. Вращающий момент, создаваемый полем, пропорционален квадрату тока в обмотке. Пропорционален, но не равен. Знак равенства можно поставить, если учесть некий коэффициент пропорциональности  $K$ , который выбирается по таблицам в зависимости от типа реле. Для разрабатываемой модели электродвигателя указанные коэффициенты, конечно, не подходят. Я предположил, что коэффициент  $K$  для модели зависит от массы, формы и площади поверхности ротора, от числа витков обмоток статора, от их расположения в пространстве друг относительно друга, расстояния между ротором и обмотками и т.д. Эти коэффициенты рассчитываются экспериментально. После более подробного изучения вопроса выяснилось, что я имею дело с так называемой униполярной индукцией, которая заключается в наведении токов в проводящих телах, вращающихся в магнитном поле, и является частным случаем электромагнитной индукции [4]. Впрочем, и там никаких указаний по расчету не было. Я решил, спроектировав модель, вывести формулу для её расчёта, используя знания курса школьной физики и по ней рассчитать нужные характеристики.

**Цель работы:** Разработка алгоритма расчета параметров АД и проверка их правильности на основе собранной модели.

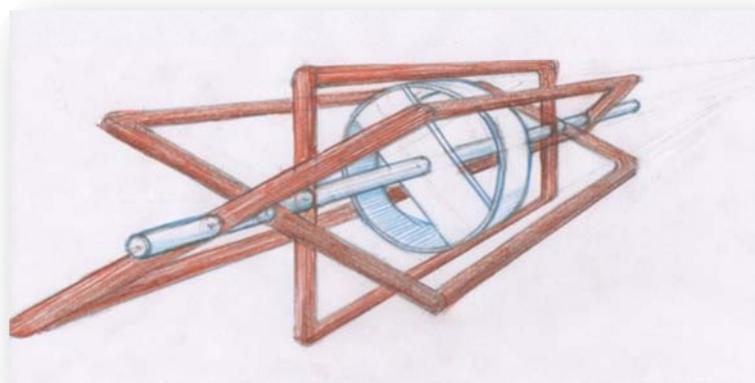
**Задачи:** 1) Путем математического моделирования на базе теории электрических машин разработать конструкцию физической модели, позволяющую наглядно демонстрировать основные принципы работы АД.

2) Вывести формулу для расчёта характеристик спроектированного двигателя.

- 3) По полученным приближительным подсчётам реализовать физическую модель.
- 4) Проверить достоверность полученной формулы экспериментально.

### **Проектирование модели. Разработка конструкции**

Наиболее оптимальным было принято следующее конструктивное решение. Создать магнитное поле тремя обмотками, расположенными на одной оси и сдвинутыми относительно друг друга на 120 градусов. Ротор расположить внутри обмоток на той же оси. Разработка модели была начата с выбора размера и конструкции ротора. Предварительный расчет показал, что ротор, спаянный из медной проволоки большого диаметра (2-3 мм) по типу «белочья клетка», будет иметь массу не менее 15-20 г. Если же уменьшить массу ротора за счет уменьшения сечения проволоки, то такой ротор не будет обладать достаточной механической прочностью. Поэтому было принято решение использовать в качестве ротора тонкостенный цилиндр из жести. Масса такого ротора всего 6 г. Изготовление модели АД в виде уменьшенной копии реального двигателя в принципе возможно, однако требует доступа к металлообрабатывающим станкам и очень хороших слесарных навыков. Я задался вопросом – можно ли изготовить модель АД без стальных сердечников? Возможно ли создать в воздухе достаточно мощное магнитное поле, которое бы «раскрутило» какое-нибудь легкое проводящее тело? В [2] указывается, что без стальных сердечников создать двигатель даже мощностью всего около 1 Вт очень проблематично. Поэтому в проектировании данной модели изначально я не ставил задачу совершения какой-то механической работы. В дальнейшем я сделал рисунок модели по которому я в последствии ориентировался при сборке и выводе формулы.



## Вывод формулы

$$M = \varepsilon J^2$$

Я предположил, что, если при правильных математических преобразованиях и выводах, основанных на законах физики, можно получить нужную формулу для расчёта характеристик моей модели. Целесообразно из этой формулы считать угловое ускорение ( $\varepsilon$ ), т.к. оно характеризует частоту вращения тела. В дальнейшем можно будет посчитать его значение экспериментально и через полученную формулу. А момент инерции( $J$ ) определяет массу и радиус тела. Я выделю основные используемые формулы:

$$\varepsilon = \frac{M}{J(1)}; M = 2F_a r (2); F_a = I_p B l \sin \alpha (3);$$

$\Delta\Phi$

$$I_p = \frac{\varepsilon D c}{R} (4); R = \frac{\rho l}{\pi K} (5); (6); \Delta\Phi = BS \Delta \cos \gamma (7);$$

$$B = \frac{1,5 \mu c W}{2\pi L} (8)$$

После математических преобразований получается формула:

$$= \frac{0 \quad 2 \quad 2 \text{ н}^2}{2}$$

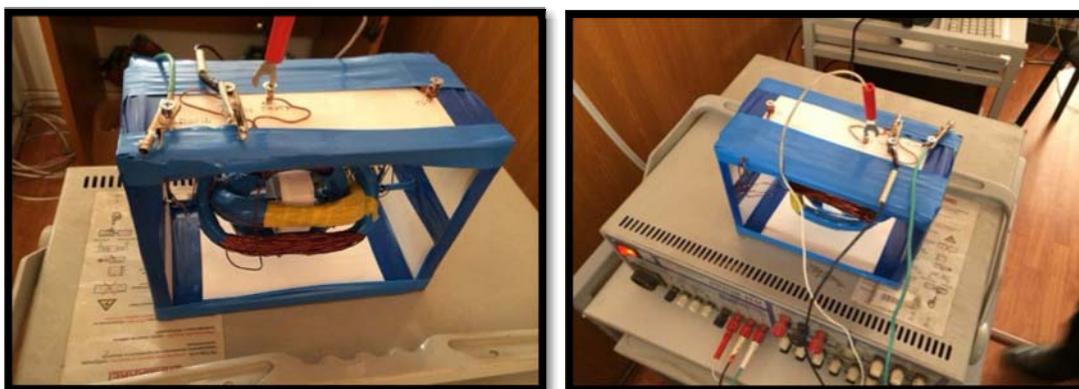
$J$ -момент инерции;  $M$ -вращающий момент(момент сил); $r$ -радиус ротора;  
 $\varepsilon$  -угловое ускорение ; $I_p$  – индукционный ток ротора(амплитудный);  $R$ -сопротивление ротора;  $F_a$  – Сила ампера, действующая на ротор(амплитудная);  $B$ - магнитная индукция (вращающегося магнитного поля статора);  $S$ - площадь контура пронизываемая магнитным потоком  $\Phi$ ;  $I$ -ток статора;  $W$ -число витков каждой обмотке ;

$L$ -среднее расстояние от обмоток до ротора;  $\mu_0$ -магнитная постоянная;  $h$  -ширина ротора;  $K$ -толщина стенок ротора;  $l$  -длина окружности ротора.

По этой формуле видно, как зависит величина углового ускорения,  $a$ , следовательно, и частота вращения от величин, характеризующих силу тока в обмотках, число витков и т.д. Для расчёта величины  $m$ ,  $\rho$ ,  $h$ ,  $k$  остаются неизменными, т.к. они характеризуют сам ротор. Поэтому, задав определенное значение частоты вращения можно определить нужные значения силы тока статора, числа витков и среднее расстояние от обмоток до ротора.

### Расчёт характеристик и реализация модели

Частота сети 50 Гц, а значит ротор с такой частотой вращаться уже не будет(т.к. поле вращается с такой частотой), поэтому я взял для расчёта частоту 45 Гц. Подставив в выведенную формулу, я посчитал значения:  $W=120$ (число витков);  $I_s$ ; Среднее расстояние от обмоток до ротора 4 мм. По этим данным я реализовал физическую модель трёхфазного асинхронного электродвигателя.



### Проверка формулы

Мне нужно было посчитать значение углового ускорения экспериментально. Пусковой ток оказался 0.9 А, при этом ротор вращался довольно медленно и можно было засечь число оборотов в минуту, оно приняло значение 150. Дальше я посчитал угловое

ускорение по стандартной формуле:  $\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = 39,25 \text{ с}^{-2}$ . Потом нужно было посчитать его через выведенную формулу, чтобы хоть как-то убедиться в её относительной правильности, для этого я подставляю значения силы тока в статоре 0.9 А. при этом по формуле:  $\varepsilon = 37,845 \text{ с}^{-2}$ .

**Вывод:** Разработанная конструкция физически реализована и работает так, как и планировалось. Выведенная формула является довольно точной для данной модели двигателя, т.к. значения, посчитанные экспериментально и теоритически приблизительно совпали. Чтобы подтвердить правильность формулы абсолютно, нужно проводить ещё большое количество опытов и расчётов.

Литература:

1. Вольдек А.И. Электрические машины, Л.: Энергия, 1974. – с. 840.
2. Виноградов Н.В. Как самому рассчитать и сделать электродвигатель. – М.: Государственное энергетическое издание. – 1958. – 161 с.
3. Учебники физики 10-11класс.
4. [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F)
5. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – 320 с.
6. Ломоносов В.Ю. и др. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 400 с.