

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОТОРА МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПИТАНИИ

Самодуров И.Н., Кодермятов Р.Э., Иванова А.Г.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М. к.т.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [blackeel@yandex.ru](mailto:blackeel@yandex.ru)

В настоящее время на кафедре Точного Приборостроения ведутся активные исследования моментного двигателя с ленточной намоткой. Для данных исследований был создан макет двигателя, с помощью которого появилась возможность получить экспериментальные и аналитические данные. Одной из главных задач являлось получение реальных значений характеристик данного двигателя. Решение этой задачи позволило бы точно описать характер его движения.

В ранее проводимых исследованиях[2] был описан импульсный режим работы моментного двигателя с ограниченным углом поворота, получен график силовой характеристики данного двигателя, а так же проведена его кусочно-линейная аппроксимация.

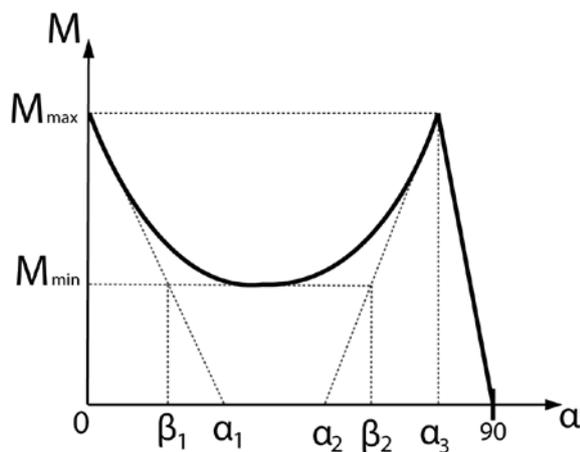


Рисунок 1. Силовая характеристика двигателя.

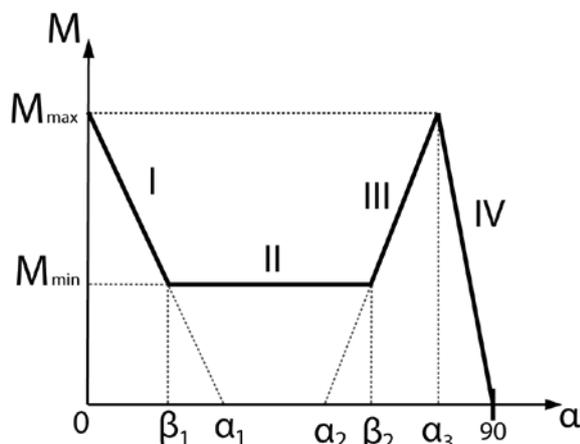


Рисунок 2. Кусочно-линейная аппроксимация силовой характеристики.

$$\beta_1 = 10^\circ, a_1 = 15^\circ, a_2 = 75^\circ, \beta_2 = 80^\circ, a_3 = 85^\circ.$$

После этого для каждого участка кусочно-линейной аппроксимации (Рис.2) составлялось уравнение движения с учетом особенностей прохождения этого участка. Из данных уравнений рассчитывались: время прохождения участка, конечная скорость, зависимость изменения координаты с течением времени.

Экспериментальным путем[1] были получены характеристики данного двигателя: максимальный и минимальный момент двигателя ( $M_{\max}$  и  $M_{\min}$ ), а так же момент инерции( $J$ ).

$$M_{\max} = 13.2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad M_{\min} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}, \\ J = 3.37 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

На основе заданных уравнений и полученных экспериментальных данных[1] появляется возможность расчета конкретных значений угловой скорости и время прохождения каждого из участков.

Уравнение движения для первого участка:

$$J\ddot{\alpha} = M_{\max} - \frac{M_{\max}}{a_1} \alpha.$$

Используя операторный метод решения дифференциальных уравнений, находим зависимость изменения угла с течением времени:

$$\alpha(t) = a_1 - a_1 \cdot \cos \sqrt{\frac{M_{\min}}{J \cdot a_1}} \cdot t.$$

Из полученной выше зависимости выводим время прохождения данного участка графика:

$$t_1 = \sqrt{\frac{J \cdot a_1}{M_{\min}}} \cdot \arccos \frac{M_{\min}}{M_{\max}} = 0,367 \text{ с.}$$

Зная то, что скорость это первая производная по времени находим конечную угловую скорость на данном участке:

$$\dot{\alpha}_1 = \sqrt{a_1 \cdot \frac{M_{\max}}{J} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{\min}}{M_{\max}}\right)^2\right)} = 1,001 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Для других участков графика кусочно-линейной аппроксимации (Рис.2) решаем аналогичные уравнения, различия в которых обусловлены лишь характером движения на каждом отдельном участке. Так же учитываем, что

конечная скорость на предыдущем участке является начальной для данного участка.

Для второго участка имеем:

$$J\ddot{\alpha} = M_{\min}$$

$$\alpha(t) = \frac{M_{\min}}{2 \cdot J} \cdot t^2 + \dot{\alpha}_2 \cdot t$$

$$t_2 = \frac{J \cdot \dot{\alpha}_1}{M_{\min}} \left[ \sqrt{1 + \frac{2 \cdot M_{\min}^2 \cdot a_2}{J \cdot M_{\max} \cdot a_1^2}} - 1 \right] = 0,199 \text{ с.}$$

$$\dot{\alpha}_2 = \sqrt{a_1 \cdot \frac{M_{\max}}{J} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{\min}}{M_{\max}}\right)^2\right) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot M_{\min}^2 \cdot a_2}{J \cdot M_{\max} \cdot a_1^2}\right)} = 1,119 \text{ рад/с.}$$

Для третьего участка:

$$J\ddot{\alpha} = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{a_2 - \beta_2} \cdot \alpha \cdot M_{\min}$$

$$\alpha(t) = B(\text{ch}At - 1) + \frac{a_2}{A} \cdot \text{sh}At$$

$$A = \sqrt{\frac{M_{\max} - M_{\min}}{J(a_2 - \beta_2)}} \quad B = \frac{M_{\min}(a_2 - \beta_2)}{M_{\max} - M_{\min}}$$

$$t_3 = 0.6944 \text{ с.}$$

$$\dot{\alpha}_3 = A \cdot B \cdot \text{sh}At_3 + \dot{\alpha}_2 \cdot \text{ch}At_3 = 44.182 \text{ рад/с.}$$

Для четвертого участка:

$$J\ddot{\alpha} = M_{\max} - \frac{M_{\max}}{a_3 - a_2} \cdot \alpha, \quad C = \sqrt{\frac{M_{\max}}{J(a_3 - a_2)}}$$

$$\alpha(t) = (a_2 - a_2) \cdot (1 - \cos Ct) + \dot{\alpha}_4 \sqrt{\frac{J(a_3 - a_2)}{M_{\max}}} \cdot \sin Ct$$

$$t_4 = \sqrt{\frac{J(a_3 - a_2)}{M_{\max}}} \cdot \arcsin \frac{a_3 - a_2}{\sqrt{(a_3 - a_2)^2 + \dot{\alpha}_4 \frac{J(a_3 - a_2)}{M_{\max}}}} = 0,001974 \text{ с.}$$

$$\dot{\alpha}_5 = (a_3 - a_2) \cdot C \cdot \sin Ct + \dot{\alpha}_4 \cdot C \sqrt{\frac{J(a_3 - a_2)}{M_{\max}}} \cdot \cos Ct = 44,186 \frac{\text{рад}}{\text{с.}}$$

Общее время прохождения двигателем отрезка равного 90° составило 1,271 с. Конечная скорость развитая данным двигателем равна 44,186  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ . Пуск двигателя производился из положения с максимальным моментом ( $M_{\max}$ ).

Наличие экспериментальных и аналитических данных дает нам возможность проводить

дальнейшие исследования данного двигателя. При сравнении графиков зависимости угла поворота с течением времени, полученных по этим данным, можно заметить, что в графике, полученном на основе экспериментальных данных, угол с течением времени изменяется медленнее, чем в графике, полученном на основе аналитических данных. Это обусловлено тем, что при расчете аналитических данных не учитывались моменты сопротивлений, влияющих на работу двигателя.

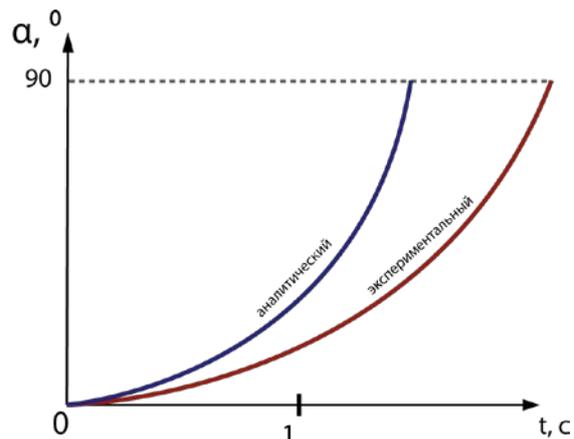


Рисунок 3. Графики зависимости изменения угла поворота с течением времени (аналитический и экспериментальный)

В будущем стоит задача расчета приведенных выше уравнений с учетом моментов сопротивления и максимальному приближению аналитических данных к данным полученным экспериментальным путем.

Одним из путей возможного применения данного двигателя предполагается использование его как двигателя маховика. Работа двигателя в импульсном режиме позволяет включать его на короткие промежутки времени. Зная его характеристики, появится возможность управлять углом поворота по средствам включения его на определенные промежутки времени или подачи токов разной силы [3].

#### Литература

1. Р.Э. Кодермятов, И.Н. Самодуров Экспериментальное определение характеристик двигателя с ленточной намоткой статора. // На данном сборнике.
2. В.М., Мартемьянов, А.Г. Иванова. Р.Э. Кодермятов Исполнительные двигатели с ленточной намоткой // Вестник Науки Сибири 2013. Номер 1 (7)
3. Моментный двигатель: Патент РФ №2441310. МПК H02K 26/00 /В.М. Мартемьянов, А.Г. Иванова. Заявлено 10.08.2010; Опубликовано 27.01.12 Бюллетень №3 6с.