

УДК 621.3

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСЕВОГО АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

Евдокимов Ю.К., Тогузов С.А.

Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева.

Тел. +7 (843) 238-18-51 E-mail: evdokimov@tre.kstu-kai.ru

Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского государственного открытого университета. Тел. +7 (8352) 63-48-74 E-mail: toguzov-sa@yandex.ru

Аннотация. Описывается математическая модель осевого активного магнитного подшипника и ее реализация в среде программирования LABVIEW LabVIEW 8.5 фирмы National Instruments.

Ключевые слова: активный магнитный подшипник, математическая модель, LabVIEW

Постановка задачи

Активные магнитные подшипники (АМП) находят все большее применение в машиностроении и других отраслях промышленности. Для улучшения динамических характеристик, увеличения надежности и КПД, например в нагнетателях компрессорных установок, контактные подшипники заменяются бесконтактными активными магнитными подшипниками. Для полного магнитного подвеса ротора в основном применяются два варианта [1]: на двух конических радиальных или на двух радиальных и одном осевом активных магнитных подшипниках. Количество подшипников может быть большим в зависимости от массы ротора. Магнитный подвес – это управляемое электромагнитное устройство, которое удерживает вращающуюся часть машины (ротор) в заданном положении относительно неподвижной части (статора). Магнитные силы притяжения, действующие на ротор со стороны электромагнитов, управляются с помощью электронной системы управления. Поэтому конструктивно АМП состоит из двух основных частей [1, 3]: электромеханической части, или собственно подшипника, и электронной системы управления.

Основные этапы проектирования устройств с полным магнитным подвесом:

- Моделирование радиальных и осевых активных магнитных подшипников.
- Разработка математической модели ротора на активных магнитных подшипниках.
- Разработка цифровой системы управления активными магнитными подшипниками.
- Уточнение полученных математических моделей на испытательном стенде или макете.

Поставленная перед авторами задача может быть кратко сформулирована следующим образом: разработать математическую модель осевого подшипника, реализовать ее в виде виртуального прибора в среде программирования LABVIEW LabVIEW 8.5 фирмы National Instruments.

Выбранный метод решения

Моделирование осевого активного магнитного подшипника состоит из следующих этапов:

- Расчет геометрии.
- Расчет магнитной цепи.
- Расчет обмотки.
- Индуктивности подшипника.
- Учет вихревых токов.

АМП, как и любой другой тип подшипника, должен обладать заданной несущей способностью F_{\max} (максимальное тяговое усилие, которое может развиваться в течение длительного времени без перегрева обмотки). В большинстве случаев статическая нагрузка на подшипник Q известна точно, реже приближенно. Всегда значение F_{\max} должно быть больше Q настолько, чтобы оставался запас для отработки динамических нагрузок, $F_{\max}/Q=2$ может быть принято как вполне приемлемое. Далее решается задача оптимизации, при которой в заданном объеме, занимаемом подшипником, реализуется максимальное усилие. В зависимости от вида стали определяется максимальное значение магнитной индукции в зазоре $B=B_{\max}$, при котором достигается F_{\max} (для электротехнической $B_{\max}=1,4$, Т, для кобальтовой $B_{\max}=1,8$ Т [1] и т.д.). Насыщение недопустимо – оно приводит к потере управляемости системы.

У осевого подшипника два полюса – внутренний и наружный. Если площади обоих полюсов равны, тяговое усилие осевого АМП

$$F = B^2 A / \mu_0 .$$

Порядок расчета:

1. Определяется радиус $r_1 = d/2 + g$,

где d – диаметр ротора, g – воздушный зазор.

2. Определяется радиус $r_2 = \sqrt{\frac{\mu_0 F_{\max}}{\pi B_{\max}^2} + r_1^2}$.

3. В случае если паз под обмотку имеет квадратную форму ($A = t_c^2$) рассчитываем

$$t_c = \sqrt{\frac{2gB_{\max}}{\mu_0 k_{Cu} j_{\max}}} .$$

4. Остальные параметры определяются

$$r_3 = r_2 + t_c ;$$

$$r_4 = \sqrt{r_2^2 - r_1^2 + r_3^2} ;$$

$$t_b = (r_2^2 - r_1^2) / (2r_2) .$$

Площадь, занимаемая обмоткой в пазу, рассчитывается по формуле

$$A = \pi(r_4^2 - r_3^2) .$$

Допустимая плотность тока можно задать или вычислить по формуле:

$$j_{\max} k_{Cu} A = \frac{B}{\mu_0} 2\delta ,$$

где k_{Cu} – коэффициент заполнения площади паза A медью (ориентировочно $k_{Cu} = 0,4 \div 0,6$).

Далее последовательно определяются площадь сечения проводника по формуле $a_0 = i_{\max} / j_{\max}$. Число витков обмотки $n = k_{Cu} A / a_0$;

средняя длина витка $l_m = \pi(d + 2g + 2(r_2 - r_1) + t_c)$;

омическое сопротивление обмотки формуле (7) и мощность тепловых потерь в обмотке при $i = i_{\max} / 2$

$$P = Ri_{\max}^2 / 4 .$$

Далее производится расчет индуктивности и учет вихревых токов. Статор и диск осевого АМП выполняются из ферромагнитного токопроводящего материала. Любое изменение магнитного потока в таком материале приводит к индуцированию вихревых

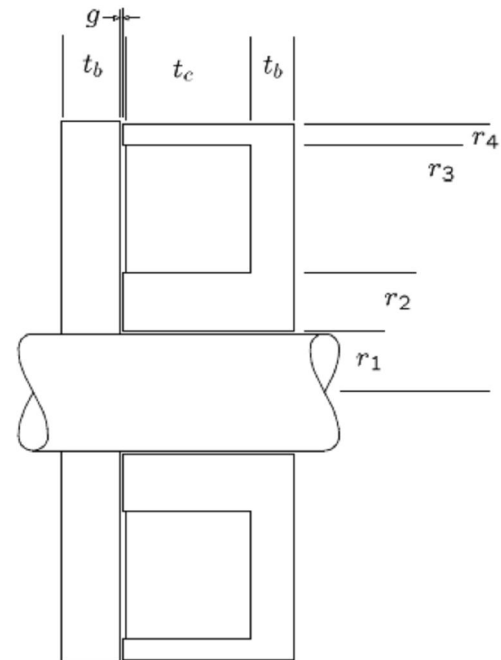


Рис. 1. Осевой подшипник

токов. Эти токи, как известно, препятствуют причине, их вызывающей, т. е. изменению основного потока. В отличие от радиального подшипника, геометрия осевого подшипника не позволяет использовать шихтованный материал. В связи с этим возникает задача учета влияния вихревых токов в осевом АМП.

Полученные результаты

Для расчета параметров осевых подшипников разработаны два виртуальных прибора. В первом (рис. 2, а) по заданному максимальному усилию, диаметру ротора и др. определяются геометрические параметры подшипника, производится тепловой расчет, расчет обмотки и индуктивности, а также учет вихревых токов. Во втором случае по заданным геометрическим параметрам подшипника определяется максимального тяговое усилие, плотность тока, число проводников в обмотке, омическое сопротивление обмотки и другие параметры (рис. 2, б).

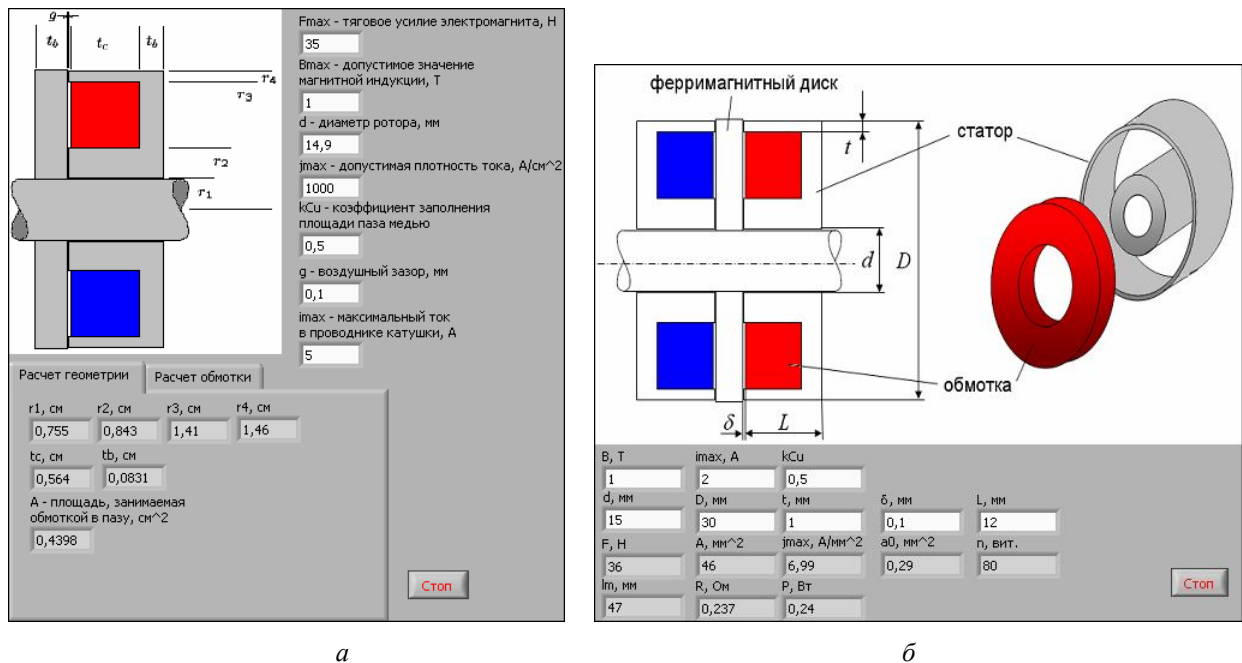


Рис. 2. Виртуальные приборы для расчета параметров осевых магнитных подшипников

Полученные результаты будут проверены на стенде для испытаний комплектов электромагнитного подвеса и в математические модели можно ввести новые уравнения и поправочные коэффициенты.

Результаты будут применены при производстве нагнетателя с использованием магнитного подвеса ротора. Для проверки системы на одном из компрессорных заводов создан стенд для испытаний комплектов электромагнитного подвеса.

Литература

1. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. СПб. Политехника, 2003. – С. 206.
2. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. М. ДМК Пресс, 2007. – С.400.
3. Schweitzer G., Blueler H., Traxler A. Active magnetic bearing. Hochschulverlag AG an der ETH Zurich. 1994. – P 244.