

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОСЕВОГО МАГНИТНОГО ПОДВЕСА РОТОРА

Бадыков Р.Р., Ломачев А.О., Бенедюк М.А., Безбородова К.В.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва, г. Самара, benedyuk00@bk.ru

Ключевые слова: магнитный подвес ротора; конечно-элементная модель; FEMM 4.2.

В данной работе собрана экспериментальная установка для исследования возможности создания магнитного подвеса ротора с применением гибридных подшипников. Создана конечно-элементная модель в свободно распространяемом программном обеспечении FEMM 4.2. Согласно теоретическим исследованиям для заданных параметров работы гибридные АМП позволяют уменьшить потребление электроэнергии магнитного подвеса ротора на номинальном режиме на 92%, а на максимальном на 42% по сравнению с использованием классических АМП.

Для исследования динамики осевого магнитного подвеса ротора собрана экспериментальная установка. Конструкция данной установки представлена на рис. 1.

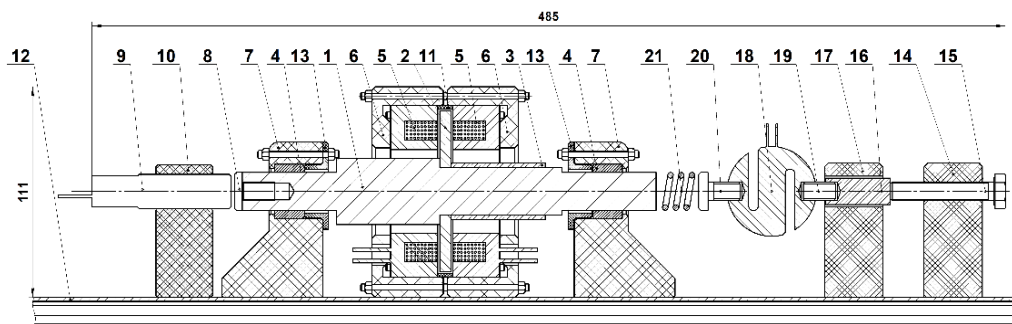


Рис. 1. Конструкция экспериментальной установки для исследования работы осевого магнитного подвеса ротора

Электромеханическую часть составляют: ротор, выполненный из стали 12x18н10т (1); диск (2); втулка (3); болт (8); АМП (5); опоры, удерживающие АМП (6); проставочное кольцо (11); осевые подшипники скольжения (4); опоры подшипников скольжения (7) и втулки (13); индуктивный датчик (9) и его опора (10); рабочий стол (12). В корпус болта (14) вкручен болт (15), который при затяжке воздействует на шток (16), свободно перемещающийся в осевом направлении в корпусе (17). Шток жестко связан с датчиком осевого усилия (18) посредством винтового соединения (19). С противоположной стороны в датчик вкручен болт (20), который воздействует на пружину (21). При затяжке болта (14) обеспечивается постоянное усилие на ротор (1).

Используя информацию, поступающую с датчиков положения, электронная система управляет положением ротора, изменяя ток в электромагнитах. В качестве закона управления выбран пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор), который позволяет выбрать наиболее подходящий режим работы. [1] Настройка ПИД-регулятора происходит «вручную» подбором коэффициентов k_P , k_D , k_I , определенных в коде программы электронной системы управления. Коэффициенты считаются подобранными, если ротор устанавливается в равновесное состояние по прошествии заданного временного интервала [2, 3].

Созданная КЭ модель электромагнита, является осесимметричной, двухмерной. В результате эксперимента для различных значений задаваемой осевой внешней силы замерены потребные величины силы тока на каждом из активных магнитов. Полученные величины силы тока заданы как граничные условия для конечно элементной модели.

При проведении эксперимента задавалось различное значение осевого усилия посредством пружинного механизма. Сравнение полученных данных приведено в табл. 1.

Табл. 1. Сравнение рассчитанных и экспериментальных данных 2-го (тягового) электромагнита

Параметр	Значение					
	Экспериментальный данные					
Несущая способность Р, Н (кг)	9,81 (1)	19,52 (1,99)	29,63 (3,02)	39,24 (4)	49,15 (5,01)	59,15 (6,03)
Суммарная сила тока I, А	0,88	1,21	1,49	1,7	1,88	2,09
Мощность суммарная, Вт	10,56	14,52	17,88	20,4	22,56	25,08
Сила тока на 2-м АМП, А	0,94	1,34	1,66	1,9	2,11	2,34
Напряжение на 2-м АМП, В	3,36	4,72	5,86	6,7	7,5	8,29
Мощность 2-го АМП, Вт	3,16	6,32	9,73	12,73	15,83	19,47
	Расчетные данные					
Несущая способность Р, Н	10,21	20,83	32,08	42,02	51,86	63,83
Сила тока на 2-м АМП, А	0,94	1,34	1,66	1,9	2,11	2,34
Напряжение на 2-м АМП, А	3,34	4,76	5,9	6,75	7,5	8,29
Мощность 2-го АМП, Вт	3,14	6,38	9,79	12,83	15,82	19,46
	Сравнение					
Разница осевого усилия, %	4,04	6,71	8,14	7,08	5,52	7,90
Разница потребной мощности, %	0,57	0,90	0,68	0,79	0,01	0,04

Установлено, что разница между результатами расчёта и полученными экспериментальными данными не превысила 8,14 % по несущей способности, что объясняется погрешностями в изготовлении пластиковых опоры для электромагнитов (магниты располагаются под углом к диску ротора). Разница между расчётной потребной мощностью и фактически замеренной на установке не превысила 0,9%.

Список литературы

1. Журавлёв Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчёт, применение. – СПб.: Политехника, 2003 – 206 с. <https://booksee.org/book/1503325>
2. Программный комплекс для моделирования активного магнитного подвеса – Ю.К. Евдокимов, С.А. Гогузов, Т.А. Изосимова.
3. Maslen, E., Allaire, P., Noh, M., and Sortore, C., 1996. «Magnetic bearing design for reduced power consumption». ASME Journal of Tribology, 118, pp.839-846.

Сведения об авторе

Бадыков Ренат Раисович, к.т.н., доцент. Область научных интересов: условия работы активных магнитных подшипников в авиационном двигателе.

Ломачев Алексей Олегович, магистрант. Область научных интересов: условия работы активных магнитных подшипников в авиационном двигателе.

Бенедюк Максим Андреевич, магистрант. Область научных интересов: условия работы активных магнитных подшипников в авиационном двигателе.

Безбородова Кристина Викторовна, магистрант. Область научных интересов: условия работы активных магнитных подшипников в авиационном двигателе.

DEVELOPMENT OF A TESTBED UNIT FOR ANALYSING THE DYNAMICS OF THE ROTOR AXIAL MAGNETIC SUSPENSION

Badykov R.R., Lomachev A.O., Benedyuk M.A., Bezborodova K.V.
Samara National Research University, Samara, Russia, benedyuk00@bk.ru

Keywords: rotor magnetic suspension, finite-element model; FEMM 4.2.

Magnetic suspension of the rotor using hybrid active magnetic bearings will allow replacing the existing classical AMBs used in vacuum, cryogenic and pumping technology, reducing energy costs, without changing the geometric parameters of the existing units' casings.