

УДК 681.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО ГИРОСКОПА ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

А. С. ЗАВИТАЕВ (Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)

Научный руководитель – д.т.н, проф. Евстифеев Михаил Илларионович
(Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)

В процессе эксплуатации ядерный магнитный гироскоп (ЯМГ) подвергается различным внешним воздействиям, что приводит к деформациям элементов конструкции и соответствующим погрешностям при работе прибора. В работе рассмотрены деформации, возникающие в магнитной системе ЯМГ.

Введение

Ядерный магнитный гироскоп (ЯМГ) – квантовый гироскоп, чувствительным элементом которого является ячейка с ансамблем ориентированных атомных ядер, обладающим макроскопическим магнитным моментом. Принцип действия ЯМГ основан на зависимости частоты прецессии макроскопического магнитного момента ядер в постоянном магнитном поле от угловой скорости вращения основания [1,2]. Независимость положения ядер в ячейке от инерционных воздействий [3] не исключает возникновения погрешности прибора от смещений периферийных элементов вследствие деформаций конструкции. Целью работы является исследование подобных деформаций в магнитной системе ЯМГ.

Основная часть

Магнитное поле внутри ЯМГ создается набором катушек, который является системой колец Баркера. В результате созданное магнитное поле должно иметь стабильное значение (10 мкТл) [4,5] и направление вектора магнитной индукции, а так же минимальное значение градиента магнитного поля (1 нТл) [4,6]. Данные показатели обеспечиваются магнитной системой, состоящей из ряда катушек и многослойного магнитного экрана из пермаллоя.

В ходе эксплуатации магнитная система подвергается как механическим, так и термическим воздействиям. Механические воздействия представляют собой вибрацию в диапазоне от 0 до 2000 Гц с амплитудой 20g. Термические воздействия являются следствием необходимости поддерживать температуру ячейки на уровне 90 °С [4]. В результате воздействий возникают деформации внутри магнитной системы. Для их анализа разработана компьютерная физико-механическая модель с применением метода конечно-элементного анализа в программе Сreo. В результате анализ показал, что деформации катушек из-за тепловых воздействий приводят к появлению градиента магнитного поля на уровне 23 нТл. При механическом воздействии возникает градиент магнитного поля на уровне 7 нТл, а так же происходит смещение вектора индукции магнитного поля, что означает смещение оси чувствительности ЯМГ. Деформации экранов в результате тепловых и механических воздействий не вносят значительных изменений в магнитное поле внутри ячейки.

Выводы.

По результатам проведенного анализа определены деформации элементов магнитной системы ЯМГ, а так же изменения в магнитном поле, к которым эти деформации приводят.

Завитаев А.С. (автор)

Подпись

Евстифеев М.И. (научный руководитель)

Подпись

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шевченко А.Н., Захарова Е.А.** Исследование зависимости качества резонанса от распределения цезия в ячейке квантового датчика вращения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. С. 567–573. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-567-573
2. **Литманович Ю.А., Вершовский А.К., Пешехонов В.Г.** Гироскоп на основе явления ядерного магнитного резонанса: прошлое, настоящее, будущее // Материалы пленарного заседания 7-й Российской мультikonференции по проблемам управления ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». – 2014. – С. 35–42.
3. Larsen M., Bulatowicz M. Nuclear magnetic resonance gyroscope: for DARPA's micro-technology for positioning, navigation and timing program // Proc. IEEE Int. FrequencyControl Symposium, 2012. doi: 10.1109/fcs.2012.6243606
4. **А.К. Вершовский, Ю.А. Литманович, А.С. Пазгалев, В.Г. Пешехонов.** Гироскоп на ядерном магнитном резонансе: предельные характеристики // Гироскопия и навигация. 2018. Т. 26. №1. С. 55-80. DOI 10.17285/0869-7035.2018.26.1.055-080
5. Sakamoto, Y., Bidinosti, C.P., Ichikawa, Y. *et al.* Development of high-homogeneity magnetic field coil for ^{129}Xe EDM experiment. *Hyperfine Interact* **230**, 141–146 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10751-014-1109-5>
6. Alexander A., B., Svetlana A., Z., Denis Yu., O., & Vladimir E., T. (2018). Fabricating a high aspect ratio ferromagnetic core 3D micro-inductor using MEMS technology. *Nanoindustry Russia*, 511–511. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2018.82.511>