

# РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.389: 621.397: 681.2

## ДИСТАНЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВНУТРИВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК, СОПРЯЖЕННЫХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ МАГНЕТИКОВ

Г.И. Леонович<sup>1,2</sup>, А.Ф. Крутов<sup>2</sup>, К.Е. Воронов<sup>2</sup>, А.М. Телегин<sup>2</sup>,  
В.Н. Захаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Секция прикладных проблем при Президиуме РАН, г. Москва  
<sup>2</sup>«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** датчики положения, магнетики, дистанционное магнитное взаимодействие.

В научно-технической литературе широко представлены различные варианты эффективного применения постоянных магнитов для дистанционного контроля работы коммутирующих устройств, клапанов, задвижек, крышек, замков и т.п. [1-3]. Вместе с тем остается нерешенным ряд задач, связанных с обеспечением высокого уровня точности, достоверности и надежности, как способов измерения, так и реализующих их технических устройств. Авторами предложены варианты измерительных устройств, содержащих постоянные магниты и намагничивающиеся материалы, позволяющие существенно улучшить позиционную характеристику (ПХ) и расширить возможности дистанционного определения состояния контролируемых объектов, функционирующих в жестких условиях эксплуатации. В качестве материала для подвижного или фиксированного элемента измеряемого объекта в зависимости от его функциональных особенностей используется ферромагнетик, парамагнетик или диамагнетик.

Для измерения положения двухпозиционного клапана, реле или крышки в известных измерительных устройствах применяются два постоянных магнита ( $M_1$  и  $M_2$ ), в момент сближения и соединения которых

фиксируется существенное изменение напряженности суммарного магнитного поля, которое измеряется вынесенным чувствительным элементом (ЧЭ). В качестве ЧЭ обычно применяются датчики Холла и магниторезистивные датчики. Если по причине особенностей эксплуатации требуется использовать пассивные сенсорные системы, то наиболее известны гибридные датчики (ГД) на основе участков оптоволокна (ОВ) с внутриволоконными брэгговскими решетками (ВБР), соединенных с пластиной из терфенола.

Введением в состав ГД дополнительного постоянного магнита  $M_3$  на основе ферромагнетика, взаимодействующего с  $M_1$  и  $M_2$ , рабочий участок ПХ терфенола смещается в линейную зону с высокой чувствительностью и стабильностью. Кроме того, снижается влияние сторонних шумов. Линейность и крутизна ПХ такого датчика обуславливаются геометрическими и физическими параметрами ферромагнетиков.

Для достижения более высоких значений крутизны ПХ возможно применение в исполнительном устройстве элемента из диамагнетика или парамагнетика. В частности, парамагнетик способен намагничиваться в направлении внешнего магнитного поля так, что внутри него к действию внешнего поля прибавляется действие наведенного этим полем внутреннего поля. Дополнительно можно использовать зависимость магнитной восприимчивости от температуры и гистерезиса. На рисунке 1 приведен пример структуры взаимодействия магнитных элементов для пояснения эффекта и вариантов применения парамагнетиков при оценке изменения измеряемого магнитного поля в процессе взаимного смещения элементов измеряемого объекта до их полного соединения.

Измерение производится гибридным датчиком релейного типа, содержащим закрепленный магнитный элемент на участке ОВ с ВБР. Здесь обозначены:  $M_1$  – перемещающийся вдоль оси  $x$  элемент цилиндрической формы из ферромагнетика;  $M_2$  – зафиксированный в точке  $x=0$  элемент цилиндрической формы из парамагнетика;  $M_3$  – установленный в точке  $x=x_0$  (место установки и фиксации датчика) элемент цилиндрической формы из ферромагнетика;  $R, h$  – радиус и высота цилиндров, соответственно, одинаковые для всех объектов;  $x_1=x_{10}-\Delta x_1$  – расстояние между  $M_1$  и  $M_2$ ;  $x_3=x_{30}-\Delta x_3$  – расстояние между  $M_2$  и  $M_3$ . В корпусе датчика (КД) выполнен паз, который позволяет  $M_3$  перемещаться в пределах интервалах  $(0 \div \Delta x_{3\max})$ .

Соответственно, участок ОБ с ВБР, закрепленный на  $M_3$ , подвергается осевой деформации  $\Delta x_3$ , вызываемой силой  $F$  магнитного взаимодействия  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$ :

$$\Delta x_3 = \frac{4F}{E_f \pi d_f^2}, \quad (1)$$

где  $E_f$  и  $d_f$  – модуль Юнга и диаметр сердцевины ОБ, соответственно.

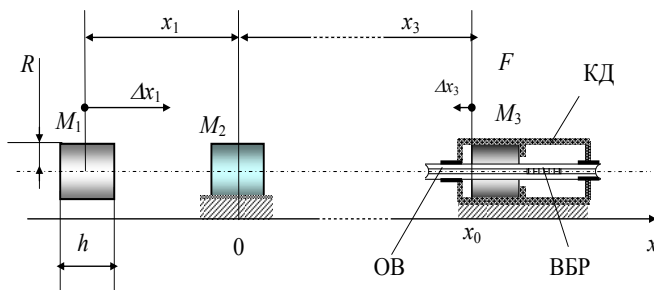


Рисунок 1 – Измерительная система на основе ферромагнетиков, парамагнетика и гибридного датчика релейного типа

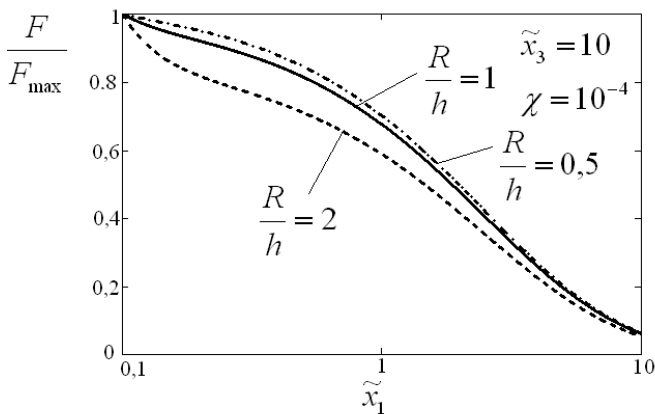


Рисунок 2 – Позиционная характеристика измерительной системы на основе ферромагнетиков, парамагнетика и гибридного датчика релейного типа

Восстановление буферного или нанесение специального регулирующего покрытия на сенсорный участок ОБ изменяет силу его упругости, тогда:

$$\Delta x_3 = \frac{F}{\left( k_{bf} E_f \frac{\pi d_f^2}{4} + k_{fb} E_b \frac{\pi (d_b - d_f)^2}{4} \right)}, \quad (2)$$

где  $k_{bf}$  – коэффициент передачи деформации от покрытия к ОВ,  $k_{fb}$  – коэффициент передачи деформации от ОВ к покрытию;  $E_b$  и  $d_b$  – модуль Юнга и внешний диаметр покрытия, соответственно.

Формула для силы  $F$  воздействия напряженности суммарного магнитного поля на элемент  $M_3$ , закрепленный на участке ОВ с ВБР, имеет вид:

$$F = \frac{3}{2} \mu_0 \frac{\pi R^4}{h^2} J_s^2 \left( \frac{1}{(\tilde{x}_1 + \tilde{x}_3)^4} + \chi_M \frac{R^2}{2h^2 \tilde{x}_1^3 \tilde{x}_3^4} + \chi_M \frac{R^2}{h^2 \tilde{x}_3^7} \right), \quad (3)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная вакуума;  $\chi_M$  – магнитная восприимчивость парамагнетика ( $M_2$ );  $J_s$  – плотность магнитного момента ферромагнетика ( $M_1$  и  $M_3$ ),  $\tilde{x}_1 = \frac{x_1}{h}$ ,  $\tilde{x}_3 = \frac{x_3}{h}$ .

Как видно из (1)-(3) и из рисунка 2, подбором геометрических и физических параметров магнитных элементов и ОВ с ВБР можно сформировать требуемую позиционную характеристику датчика, крутизна которой в несколько раз выше, чем в полностью ферромагнитных структурах. При этом, как исполнительная, так и сенсорная части устройства в силу отсутствия гальванических элементов и простых мер по защите ОВ способны функционировать в жестких условиях эксплуатации, в том числе в агрессивных средах, с большими перепадами температуры и давления.

#### Список использованных источников

1. Леонович Г.И., Олешкевич С.В. Гибридные датчики на волоконно-оптических брэгговских решетках 2016 Известия Самарского научного центра РАН, т. 18, № 4(7), 2016.–С.1340-1345.
2. Особенности проектирования гибридных волоконно-оптических датчиков на основе внутриволоконных брэгговских решеток / И. Л. Борисенков и др. //Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. (г. Самара, 15-17 мая 2018 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т); 2018. - С. 9-14.
3. Борисенков И.Л., Крутов А.Ф., Козлов Н.П. и др. Математическая модель отраженного оптического сигнала при неоднородной продольной деформации внутриволоконной брэгговской решетки //Нано- и микросистемная техника. — 2020. — Т. 22. № 7. — С. 361-368.