

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МАГНИТОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ

М. А. Егорова, С. Д. Ефимов, А. Н. Панков

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Магниторезистивный датчик угла (МРД) предназначен для измерения бесконтактным способом угла поворота вала электродвигателя. К достоинствам этого датчика положения следует отнести бесконтактность, способность работать в диапазоне температур -55 до 150 °С, высокое быстродействие. В основе принципа его действия лежит анизотропный магниторезистивный эффект, который заключается в изменении сопротивления электрическому току вследствие изменения направления намагниченности внутренних доменов слоя пермаллоя под воздействием внешнего магнитного поля.

В настоящей работе представлено краткое описание устройства, принципа действия и конструкции МРД. Приведены результаты расчетов методом конечных элементов (МКЭ) вариантов электромагнитных систем, исследовано влияние геометрических параметров на магнитные поля, определены материал, форма и размер элементов.

В процессе разработки магнитной системы решались следующие задачи:

- проектирование и расчет магнитной системы с заданным распределением магнитного поля;
- выбор материалов;
- исследование влияния геометрии магнитной системы на характеристики распределения магнитного поля.

Устройство и принцип работы

Основным элементом МРД является магниторезистивный чувствительный элемент (МРЧЭ) (рис. 1), который представляет собой сложную многослойную структуру, состоящую из магниторезистивного, проводящих, изоляционных и защитного слоев. В качестве материала магниторезистивного слоя используется пермаллой со структурой Co-Fe-Ni.

Сопротивление ферромагнитных пленок зависит от ориентации вектора намагниченности, которое определяется, в том числе, направлением внешнего магнитного поля относительно тока в материале [1]. Основу МРЧЭ составляет мост Уинстона. Каждое из четырех плеч моста состоит из магниторезистивных полосок, соединенных проводящими немагнитными перемычками в меандры.

При взаимодействии с внешним магнитным полем, в диагонали моста возникает разность потенциалов, зависящая от напряжения питания моста и величины поля.

Датчик состоит из двух магнитопроводов. На жестко связанном с входным валом магнитопроводе располагается кодовый магнитный диск, который определяет амплитуду и знак импульсов на выходе МРЧЭ, а также порядок их следования.

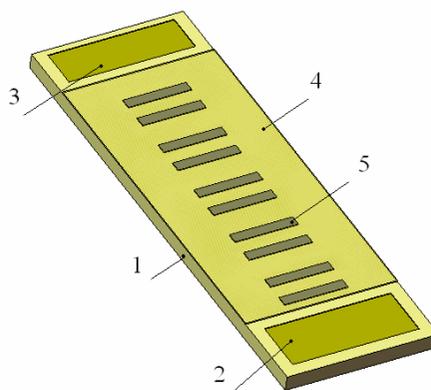


Рис. 1. Внешний вид МРЧЭ: 1 – подложка; 2, 3 – контактные площадки; 4 – защитный слой; 5 – магниторезистивный полумост

Выходная информация с разрабатываемого МРД содержит абсолютное значение углового положения, представленное немодифицированным кодом Грея [2]. Количество разрядов МРЧЭ определяет разрешающую способность (дискретность) МРД. Каждый разряд кодируется двумя дорожками, каждая из которых располагается над магниторезистивным полумостом (МРП). Таким образом, в зависимости от расположения магнитного элемента кодового диска над тем или иным МРП можно задать значение логической «1» или логического «0». Для исключения неопределенных состояний на внешней стороне кодовой шкалы диска расположен дополнительный ряд, разрешающий считывание значащих разрядов. Величина магнитного поля в центре рабочего МРП, должна составлять не менее 30 мТл, а в центре нерабочего – не более 10 мТл.

Например, если максимальный наружный диаметр кодового диска равен $\varnothing 46$ мм, внутренний – $\varnothing 20$ мм, а дискретность датчика не менее $22,5^\circ$, то максимальный размер кодирующей ячейки будет составлять $2,5 \times 3,5$ мм (рис. 2).

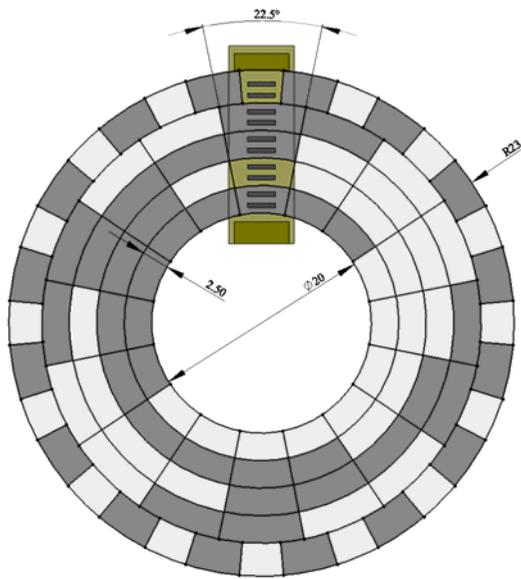


Рис. 2. Взаимное расположение МРЧЭ и кодовой шкалы

Анализ вариантов конструкций магнитной системы МРД

Возможные варианты конструкции магнитной системы МРД приведены на рис. 3.

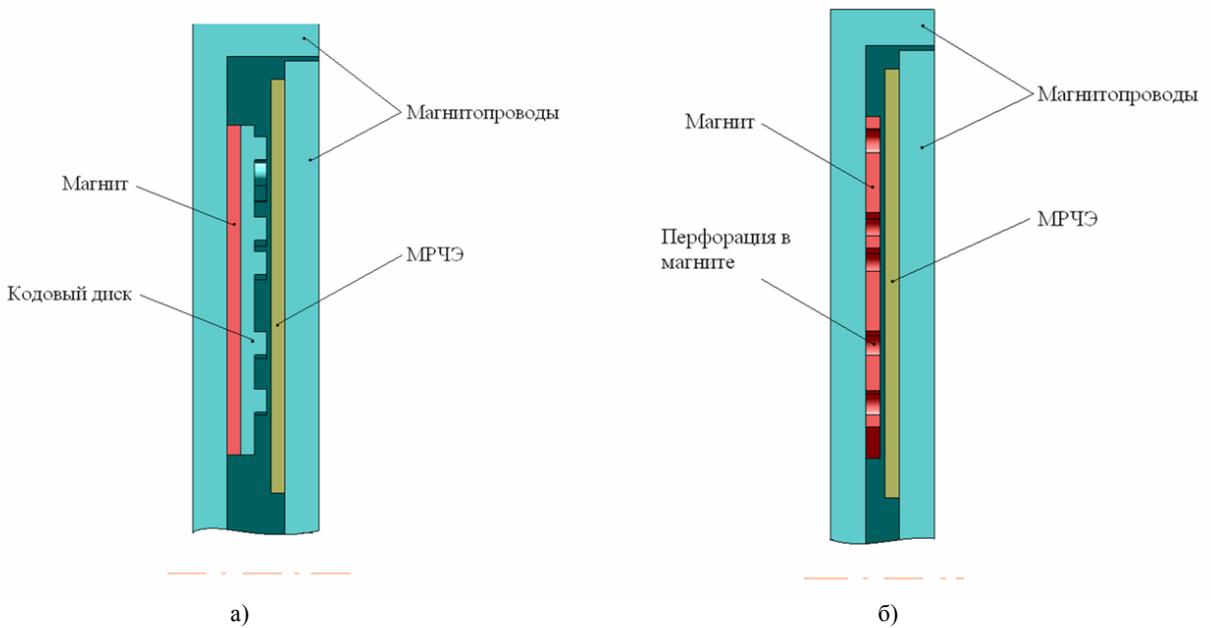


Рис. 3. Варианты конструкции магнитной системы МРД:
а – модель конструкции № 1; б – модель конструкции № 2

Третий вариант конструкции, с кодовым диском, набранным из отдельных постоянных магнитов, является частным случаем модели № 2 и ввиду технологической сложности изготовления не рассматривается.

В упрощенных моделях конструкций был выполнен анализ МКЭ зависимости величины магнитной индукции в МРЧЭ от геометрических параметров магнитной системы в положении соответствующем кодовому набору 10100 (рис. 4). Магнитные

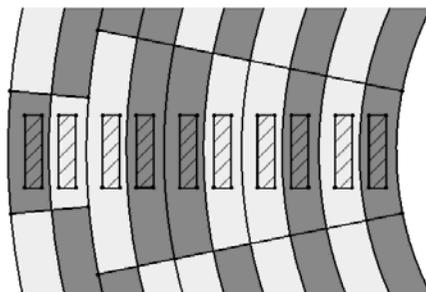
системы содержат постоянный магнит, имеющий остаточную индукцию $B_r = 0,24$ Тл, коэрцитивную силу по индукции $H_c = 135$ кА/м и магнитопроводы с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 2000$.

В табл. 1 и 2 приведены расчетные значения магнитной индукции в центре смещенного ($B_1 \geq 30$ мТл, находящегося в области с высокой магнитной индукцией, окрашено темным цветом на рис. 4) и несмещенного ($B_2 \leq 10$ мТл) МРП.

Из табл. 1 видно, что B_2 в модели конструкции № 1 превышает пороговое значение магнитного поля 10 мТл, а изменение геометрических параметров магнитной системы не оказывает существенного влияния на отношение K .

Модель конструкции № 2 удовлетворяет требованиям, предъявляемым к разрабатываемому датчику.

Из результатов расчетов следует, что для увеличения отношения K необходимо уменьшать толщину кодового магнитного диска и увеличивать ширину пазов перфорации.



- площадь, занимаемая чувствительной зоной МРЧЭ

Рис. 4. Фрагмент кодирующего диска

Таблица 1

Результаты расчетов для модели конструкции № 1

| Название параметра | Величина, мм | B_1 , мТл | B_2 , мТл | $K = B_1/B_2$ |
|----------------------------------|--------------|-------------|-------------|---------------|
| Длина выступов на кодовом диске | 0,3 | 53 | 41 | 1,3 |
| | 0,5* | 55 | 38 | 1,4 |
| | 0,7 | 56 | 38 | 1,5 |
| Толщина подложки МРЧЭ | 0,3 | 74 | 45 | 1,6 |
| | 0,6* | 55 | 38 | 1,4 |
| | 1 | 44 | 32 | 1,4 |
| Ширина выступов на кодовом диске | 0,4 | 52 | 37 | 1,4 |
| | 0,6 | 54 | 38 | 1,4 |
| | 1* | 55 | 38 | 1,4 |
| Толщина магнита | 0,4 | 52 | 37 | 1,4 |
| | 0,5 | 54 | 38 | 1,4 |
| | 0,6* | 55 | 38 | 1,4 |

* – обозначает основные размеры, использованные при варьировании параметров

Таблица 2

Результаты расчетов для модели конструкции № 2

| Название параметра | Величина, мм | B_2 , мТл | B_1 , мТл | $K B_1/B_2$ |
|-----------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Толщина подложки МРЧЭ | 0,3 | 8 | 57 | 7 |
| | 0,6* | 4 | 47 | 12 |
| | 1 | 5 | 43 | 9 |
| Толщина кодового магнитного диска | 0,4 | 7 | 37 | 5 |
| | 0,5 | 5 | 43 | 9 |
| | 0,6* | 4 | 47 | 12 |
| Ширина пазов | 0,4 | 25 | 51 | 2 |
| | 0,6 | 13 | 50 | 4 |
| | 1* | 4 | 47 | 12 |

* – обозначает основные размеры, использованные при варьировании параметров

На рис. 5 представлены изображения распределения магнитной индукции в МРЧЭ для вариантов модельной конструкции.

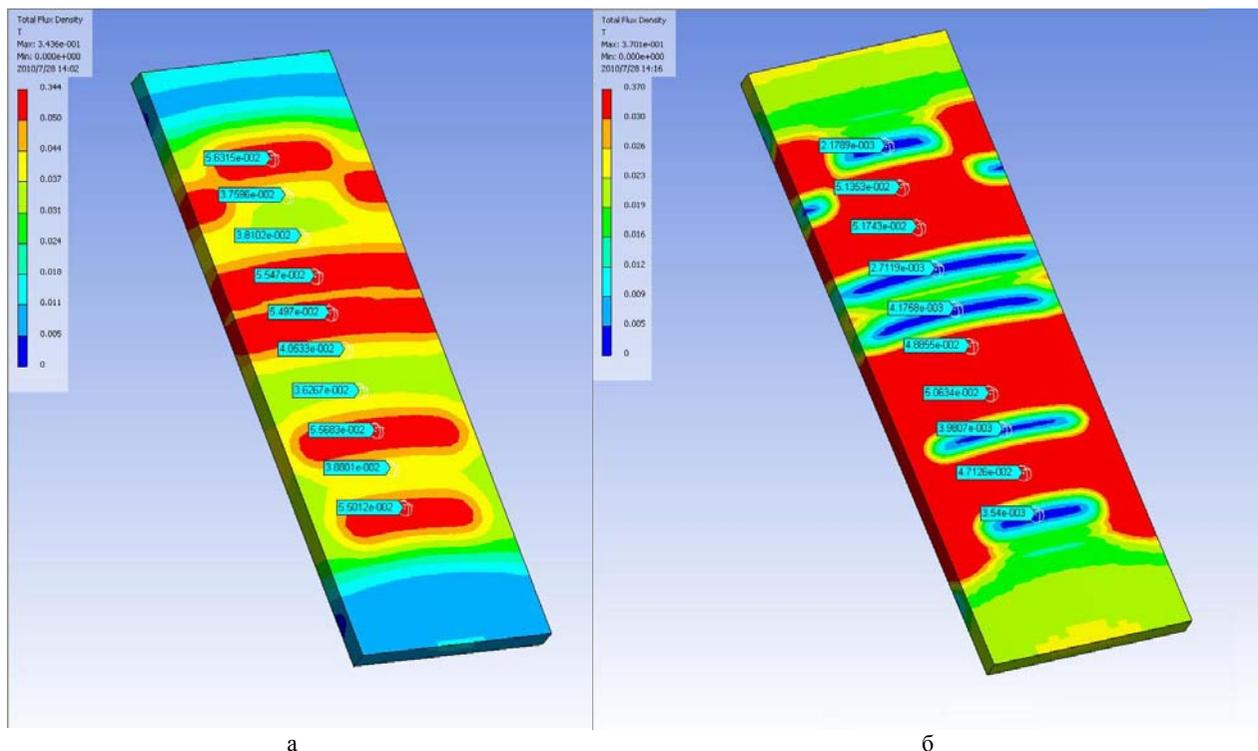


Рис. 5. Распределение магнитной индукции в МРЧЭ: а – в модели № 1; б – в модели № 2

Выбор материалов

В качестве материала постоянного магнита предлагается использовать ферромагнетик, например, феррит бария. Ферромагнетики изготавливаются из дешёвого сырья – окислов железа – по керамической технологии и технологии порошковой металлургии с прессованием (для анизотропных ферритов – в магнитном поле) и двукратным высокотемпературном спекании. Из механообработки допускается шлифовка и резка алмазным инструментом [3].

Феррит бария отличается высокой стабильностью магнитных свойств, слабой подверженностью размагничиванию, температура точки Кюри не менее 450 °С. Основными недостатками являются хрупкость и низкая технологичность [4]. Ввиду сложной формы магнита кодового диска его изготовление должно выполняться по заказу потребителя.

По своим магнитным свойствам для изготовления кодового диска допустимо использовать магнитопласты. Они технологичны, имеют высокую стабильность и однородность магнитных свойств [4]. Однако, допустимая рабочая температура не более 100 °С, что накладывает ограничение на их применение в магнитной системе МРД.

Для магнитопровода предлагается использовать магнитомягкий сплав температурный коэффициент

расширения (ТКР) которого наиболее близок к ТКР подложки МРЧЭ.

Таким образом, выбраны следующие материалы: материал магнитопроводов сплав 45Н (ТКР = $8,9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), подложки – ситалл СТЛ-1 (ТКР = $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). В качестве материала магнитного кодового диска выбран бариевый магнитотвердый феррит 6БИ250 ($H_c = 120 \text{ кА/м}$, $\mu = 1,26$).

Влияние величины зазоров

После определения конструкции, геометрии и используемых материалов магнитной системы МКЭ был выполнен подробный расчет МРД (рис. 6).

Как видно из изображения индукции магнитного поля в зоне МРЧЭ (рис. 7) предлагаемая конструкция обеспечивает формирование заданного распределения. В площадках, где расположены МРП, значения магнитной индукции удовлетворяют требуемым значениям.

Так как при изготовлении и сборке датчика неизбежно возникнут технологические погрешности взаимного расположения, МКЭ был выполнен расчет зависимости значений магнитной индукции в МРЧЭ от величины зазоров «а» и «б» (рис. 6). Результаты расчетов приведены в виде графиков на рис. 8 (а, б).

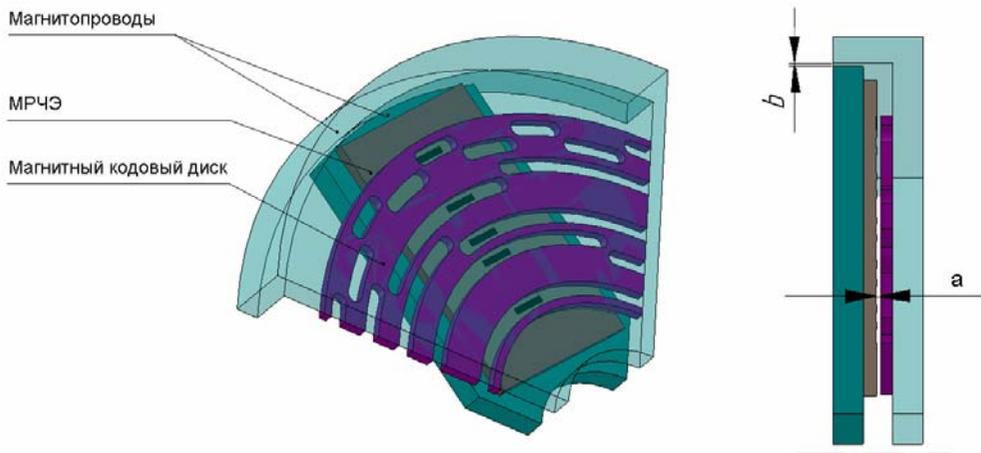


Рис. 6. Внешний вид МРД

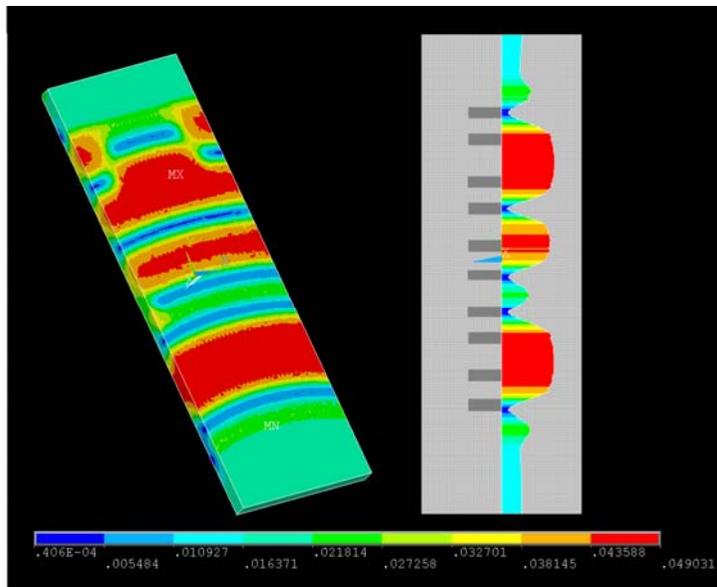


Рис. 7. Распределение магнитного поля в МРЧЭ

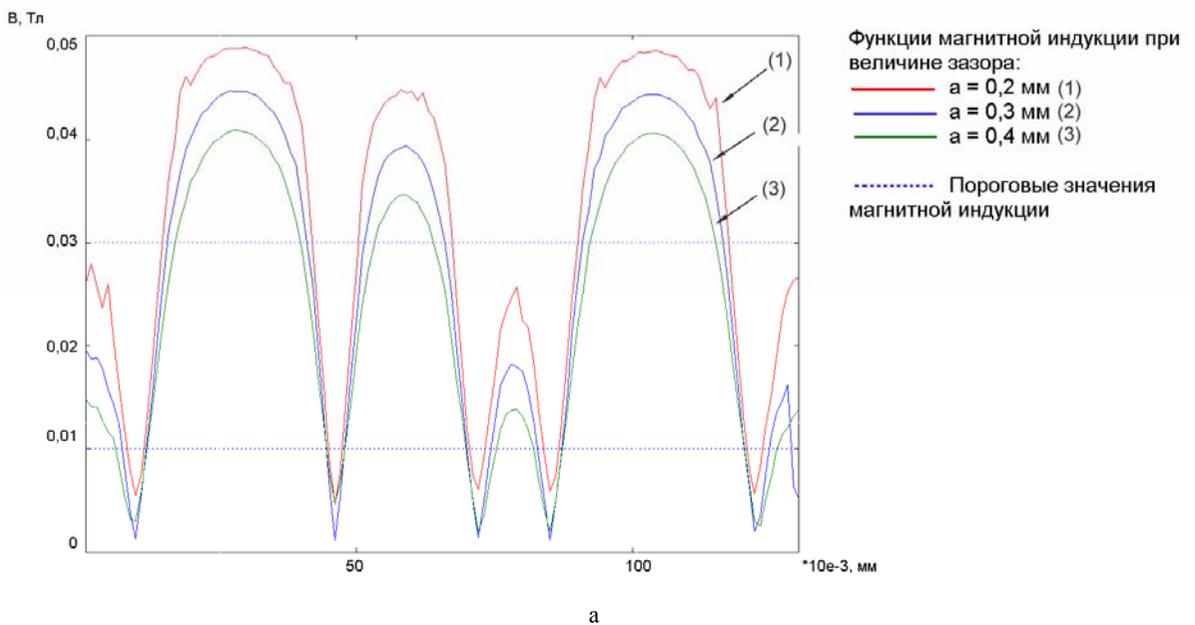


Рис. 8. Изменение функции магнитной индукции: а – от величины зазора «а»; б – от величины зазора «б» (см. также с. 442)

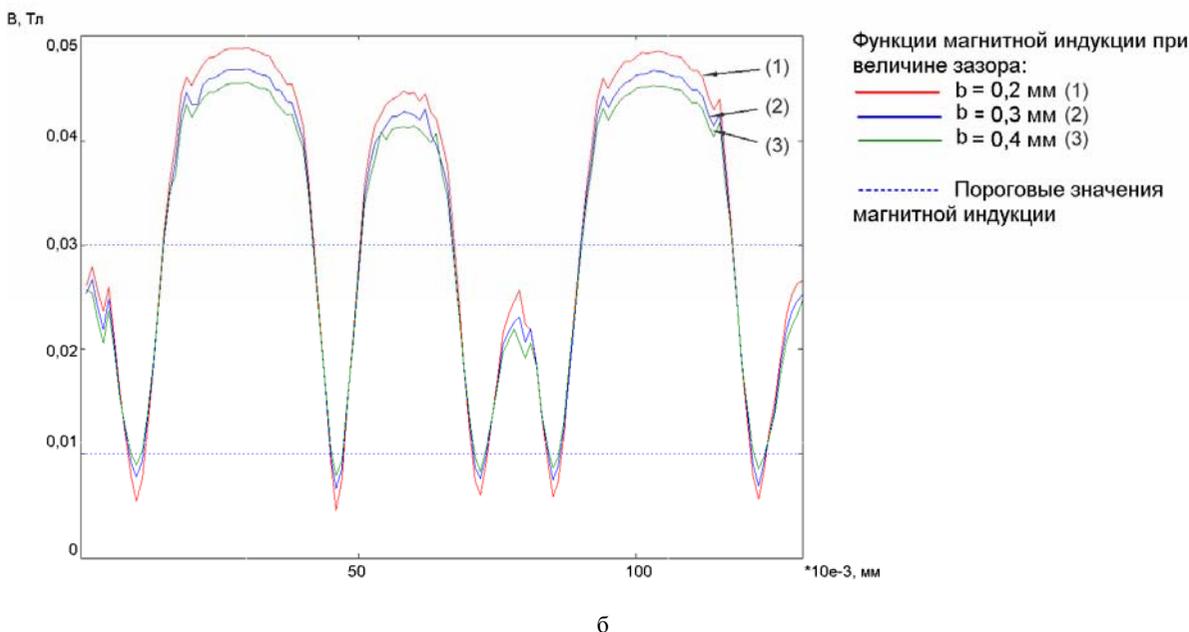


Рис. 8. Окончание

Из рис. 8 (а, б) следует, что оптимальная величина зазора между МРЧЭ и кодовым диском $a = 0,3$ мм, а между магнитопроводами $b = 0,2$ мм.

Заключение

Описана конструкция датчика абсолютного углового положения, реализуемого на основе МРЧЭ и кодового диска с немодифицированным кодом Грея. В статье рассмотрена реализация четырехразрядного датчика. Приведены варианты построения и результаты моделирования магнитной системы МРД. Обоснована оптимальная конструкция магнитной системы, проведена оценка влияния геометрии на распределение магнитного поля в МРЧЭ, определены размеры и выбраны материалы. Представленные

результаты могут быть использованы при конструировании магнитных систем электрических машин.

Литература

1. Касаткин С., Муравьев А. Тонкопленочные магниторезистивные датчики // Электронные компоненты. 2003. № 3. С. 93–96.
2. Принцип работы абсолютного энкодера. JSC «Multichip». http://www.radioradar.net/articles/scientific_technical
3. Хрульков В. А. Механическая обработка изделий из магнитных материалов в приборостроении. М.: Машиностроение, 1966.
4. Пятин Ю. М. Постоянные магниты. М.: Энергия, 1971.