

УДК 621.317.421:681.2.08

© А. Н. Темников, 2019

ПЛАНШЕТНЫЙ СКАНЕР МАГНИТНОГО ПОЛЯ С НЕПОДВИЖНЫМ СЕНСОРОМ

Описаны варианты конструкции сканера магнитного поля планшетного типа, отличающиеся количеством сенсоров и способом регистрации данных. Сенсоры закреплены неподвижно, а сканирование осуществляется перемещением источника магнитного поля. Переход от движущегося сенсора к движущемуся источнику позволяет обойти ряд принципиальных проблем и создать исключительно простую, компактную и надежную конструкцию.

Кл. сл.: магнитное поле, сканирование, сенсор

ВВЕДЕНИЕ

При конструировании магнитных систем на основе постоянных магнитов необходимо иметь информацию о пространственном распределении поля, создаваемого этими магнитами. Для получения такой информации обычно используют сканирующие магнитометры (сканеры), в которых сенсор магнитного поля может перемещаться вдоль выбранных направлений (см., например, [1–3]).

Для контролируемого перемещения сенсора в пространстве необходим прецизионный механический привод с системой управления, а также система передачи сигнала от движущегося сенсора к регистрирующему устройству, что приводит к существенному усложнению конструкции сканера. Этого можно избежать, если сенсор магнитного поля установить неподвижно, а сканирование производить, перемещая источник поля. Такой подход оправдан в тех случаях, когда необходимо исследовать распределение поля не очень больших по размеру постоянных магнитов. Ниже описаны два варианта конструкции сканера магнитного поля, разработанного на этом принципе. Сканеры различаются числом сенсоров (1 и 16), а также способом регистрации информации (ручная и полуавтоматическая).

Основой для каждого сканера служит пластина из твердого пластика (оргстекла). Верхняя поверхность пластины является рабочей, по ней перемещают исследуемый магнит, помещенный в специальный держатель. На нижней стороне пластины фрезой вырезают углубления, в которых размещают элементы электрической схемы сканера. Сенсоры устанавливаются вровень с рабочей поверхностью сканера. Это позволяет проводить

сканирование поля в непосредственной близости от поверхности магнита.

ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ КОНСТРУКЦИИ СКАНЕРА

Сканер имеет единственный сенсор магнитного поля, который размещается в центре пластины, являющейся основой сканера (рис. 1). Размеры пластины выбираются в зависимости от размеров области сканирования, которая в свою очередь определяется размером магнитов, поля которых планируется исследовать.

Для позиционирования исследуемого магнита в плоскости XU используется система миллиметровых шкал. Две шкалы нанесены на рабочую поверхность сканера симметрично слева и справа, они служат для определения координаты y сенсора относительно центра магнита. Третьей шкалой, указывающей координату x сенсора, является шкала на пластиковой линейке, которая служит направляющей при перемещении магнита вдоль оси OX . Эта линейка может передвигаться вдоль оси OY . На концах линейки установлены фиксаторы, которые прижимаются к боковым сторонам сканера и фиксируют линейку в выбранном положении.

Исследуемый магнит устанавливают в держателе (рис. 2), состоящем из основания и обоймы, закрепленной вертикально в сквозном отверстии основания. Внутренние размеры обоймы должны соответствовать размерам магнита. Расстояние z от поверхности магнита до рабочей поверхности сканера регулируется с помощью пластиковых вставок различной толщины, которые помещаются в обойму держателя и удерживают магнит на необходимой высоте над рабочей поверхностью

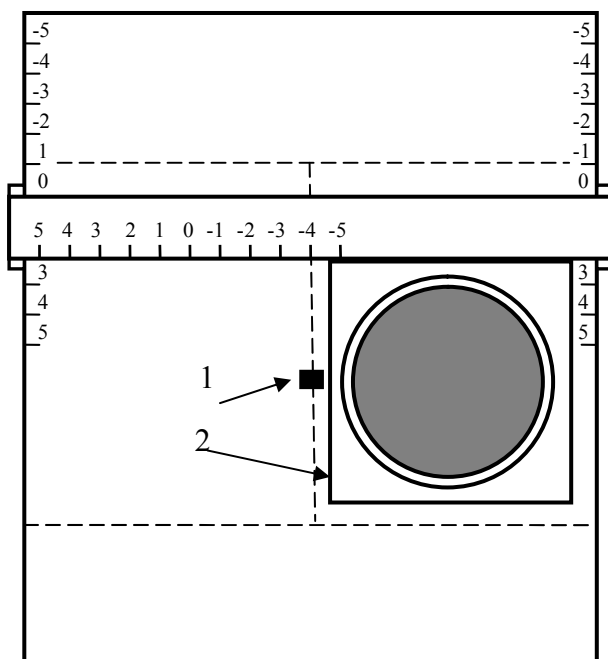


Рис. 1. Схематическое изображение сканера магнитного поля.

Черный прямоугольник 1 в центре — датчик Холла, справа 2 — держатель с установленным в нем цилиндрическим магнитом. Для упрощения рисунка миллиметровые деления на шкалах не показаны. В представленном на рисунке положении магнита координаты датчика Холла относительно центра магнита: $x = -4.6$ мм; $y = 0$ мм. Размер области сканирования поля при выбранных размерах сканера — 10×10 см.

Вертикальная пунктирная линия показывает расположение массива из 16 датчиков Холла в сканере второго типа, горизонтальные пунктирные линии указывают вертикальный размер этого сканера

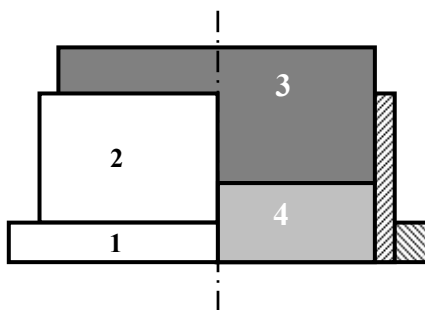


Рис. 2. Держатель магнита.

1 — основание, 2 — обойма, 3 — магнит, 4 — вставка

сканера во время сканирования.

Сканирование поля, как уже отмечалось, осуществляется перемещением источника поля — постоянного магнита. Перед началом сканирования к сканеру подключают источник питания и цифровой (как правило, интегрирующий) вольтметр. При измерениях подвижную линейку устанавливают в положение, соответствующее выбранной координате y , и закрепляют в этом положении с помощью фиксаторов. Магнит вместе с дополнительной вставкой нужной высоты (определяющей значение координаты z) помещают в держатель. Во время сканирования одну из боковых сторон основания держателя прижимают к линейке, и держатель вместе с магнитом перемещают вдоль линейки, регистрируя показания вольтметра для выбранных координат x .

В качестве сенсора в сканере используется интегральная микросхема AD22151 (Analog Device), содержащая датчик Холла, операционный усилитель, блок компенсации сдвига нулевого уровня

и блок температурной компенсации [4]. Толщина корпуса микросхемы равна 1.5 мм, поэтому минимальное расстояние от датчика Холла до рабочей поверхности сканера (или до поверхности магнита) ~ 0.75 мм. Нелинейность датчика в пределах измеряемого диапазона составляет 0.1 %. Датчик является быстродействующим, его выходной сигнал обновляется с частотой 50 кГц. Максимальный выходной сигнал AD22151 в биполярном режиме достигает 2.5 В, это дает возможность его регистрации без дополнительного усиления. Ток, потребляемый микросхемой AD22151, не превышает 10 мА, что позволяет использовать батарейный блок питания, который может быть встроено в основание сканера.

ВТОРОЙ ВАРИАНТ КОНСТРУКЦИИ СКАНЕРА

Второй сканер имеет 16 датчиков. Они установлены вдоль центральной осевой линии сканера на равных расстояниях d друг от друга (вдоль вер-

тикальной пунктирной линии на рис. 1). Увеличение числа датчиков позволяет существенно сократить время сканирования при условии наличия системы автоматической регистрации сигналов, поступающих с датчиков.

Держатель магнита для второго варианта сканера имеет одну особенность — центр обоймы, в которую помещается исследуемый магнит, сдвинут относительно центра основания держателя на расстояние, равное половине расстояния между датчиками Холла. Это позволяет за два цикла сканирования получить 32 кривые распределения поля с шагом по оси OY , равным $d/2$. Для этого достаточно перед вторым сканированием повернуть держатель магнита на 180° . При этом, конечно, необходимо инвертировать значения координат x и y датчиков. Это легко осуществляется программным путем. При использовании микросхем AD22151 минимальное расстояние между датчиками Холла составляет 5 мм, при этом шаг сканирования по оси OY равен 2.5 мм. Ширина области сканирования в направлении оси OY в этом случае получается равной $(2 \cdot 16 - 1) \cdot 2.5 = 77.5$ мм.

Линейка, служащая направляющей для держателя магнита, закрепляется неподвижно в таком положении, чтобы центр исследуемого магнита при сканировании проходил над геометрическим центром цепочки датчиков Холла. Так как перемещения магнита вдоль оси OY в данном случае не требуется, размер рабочей поверхности сканера в направлении OY может быть уменьшен почти вдвое, до границ, указанных на рис. 1 горизонтальными пунктирными линиями.

При сканировании, как и в случае со сканером первого типа, исследуемый магнит перемещают вдоль линейки, выбирают нужное значение координаты x , и компьютер по команде оператора регистрирует сигналы всех 16 датчиков Холла.

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ

Система регистрации сигналов выполнена по традиционной схеме устройства с синхронным последовательным интерфейсом (например, [5]). Для оцифровки сигналов используется 16-канальный 12-разрядный АЦП последовательного приближения AD7490 (Analog Device) с временем преобразования 1 мкс [6]. Связь с компьютером осуществляется по USB, контроллер USB построен на микросхеме FT232 (Future Technology Devices International) [7]. Вспомогательные узлы выполнены на программируемой логической интегральной схеме EPM7032 (Altera) [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт использования описанных сканеров показал, что первый сканер можно рекомендовать при эпизодических исследованиях поля единичных образцов постоянных магнитов. Время регистрации одной точки сканером с одним датчиком Холла составляет 6–8 с, и определяется в основном временем позиционирования магнита относительно датчика и временем записи результата отдельного измерения, а также в случае резкого изменения величины поля временем установления показаний интегрирующего вольтметра. Типичное время регистрации кривой диаметрального распределения поля цилиндрического магнита диаметром 60 мм при интервале сканирования 80 мм (41 точка с шагом 2 мм) составляет около 5 мин. Относительно небольшое время проведения измерений сочетается здесь с исключительной простотой конструкции.

Примерно такое же время (около 5 мин) требуется для получения двумерной карты магнитного поля размером $32 \times 32 = 1024$ точек с помощью сканера второго типа. Этот сканер, благодаря практически одновременной регистрации сигналов, поступающих сразу с 16 датчиков, обеспечивает большую скорость измерений, что делает его более предпочтительным при необходимости подробного исследования характеристик серии постоянных магнитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Keller P. Technologies for Precision Magnetic Field Mapping. URL: http://metrolab.com/wp-content/uploads/2015/07/General_tech_note_Technologies_for_Precision_Magnetic_Field_Mapping.pdf
2. Overview magnetic field mapper. URL: <http://www.senis.ch/products/mappers>
3. Field mapping. URL: <https://www.dextermag.com/services/engineering/magnetic-field-mapping/>
4. Linear output magnetic field sensor. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD22151.pdf>
5. Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. Цифровые устройства и микропроцессоры. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 832 с.
6. 16-Channel, 1 MSPS, 12-Dit ADC with Sequencer in 28-Lead TSSOP
URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7490.pdf>

7. DLP-TxRx-G USB to serial adapter. URL: <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/DLP/dlptxrx-v14-ds.pdf>
8. MAX 7000 Programmable Logic Device Family. URL: <https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ds/archives/m7000.pdf>

Контакты: Темников Алексей Николаевич,
antemnikov@yahoo.com

*Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Казань*

Материал поступил в редакцию 28.06.2018

TABLET-TYPE MAGNETIC FIELD SCANNER WITH NON-MOVING SENSOR

A. N. Temnikov

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Design options for a tablet-type magnetic field scanner are described. Scanners differ in the number of sensors and the way data is recorded. All sensors are fixed and scanning is performed by moving the source of magnetic field. The transition from the moving sensor to the moving source allows circumventing the number of principal problems and creating an exceptionally simple, compact and reliable design.

Keywords: magnetic field, scanning, sensor

REFERENCES

1. Keller P. *Technologies for Precision Magnetic Field Mapping*. URL: http://metrolab.com/wp-content/uploads/2015/07/General_tech_note_Technologies_for_Precision_Magnetic_Field_Mapping.pdf
2. *Overview magnetic field mapper*. URL: <http://www.senis.ch/products/mappers>
3. *Field mapping*. URL: <https://www.dextermag.com/services/engineering/magnetic-field-mapping/>
4. *Linear output magnetic field sensor*. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD22151.pdf>
5. Mikushin A.V., Sazhnev A.M., Sedinin V.I. *Cifrovye ustrojstva i mikroprocessory* [Digital devices and microprocessors]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2010. 832 p. (In Russ.).
6. *16-Channel, 1 MSPS, 12-Dit ADC with Sequencer in 28-Lead TSSOP*. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7490.pdf>
7. DLP-TxRx-G USB to serial adapter. URL: <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/DLP/dlptxrx-v14-ds.pdf>
8. MAX 7000 Programmable Logic Device Family. URL: <https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ds/archives/m7000.pdf>

Contacts: Temnikov Alexey Nikolaevitch,
antemnikov@yahoo.com

Article received by the editorial office 28.06.2018