



УДК 615.478; 616-7

## РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО КАРДИОМОНИТОРА

*А.А. Сомова, somova.anastasia.a@mail.com, Н.Д. Наракидзе, ndaz@mail.ru,*

*Б.В. Черкасов, ette.26@mail.ru.*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

В данной статье рассматривается разработка датчика геомагнитного поля для мобильного кардиомонитора. Электромагнитные поля естественного происхождения постоянно окружают человека. Воздействие геомагнитного поля с высокой интенсивностью на электромагнитное поле человека приводит к ухудшению здоровья. Геомагнитное поле влияет на скорость химических реакций в организме в зависимости от суммы молярных магнитных восприимчивостей промежуточных продуктов обмена веществ. Также геомагнитное поле ускоряет или замедляет обменные реакции. Особенно чувствительна к влиянию геомагнитного поля сердечно-сосудистая система. Брадикардия, гипотония, сердцебиение, одышка – возможные последствия влияния геомагнитного поля высокой интенсивности на сердечно-сосудистую систему. Таким образом, разработка датчика геомагнитного поля для мобильного кардиомонитора является актуальной задачей, как для здравоохранения, так и для гигиенического нормирования воздействия геомагнитного поля на организм человека.

**Ключевые слова:** датчик геомагнитного поля, анизотропный магнеторезистивный датчик, электромагнитное поле, мобильный кардиомонитор.

## DEVELOPMENT OF A GEOMAGNETIC FIELD SENSOR FOR A MOBILE HEART MONITOR

*A.A. Somova, N.D.Narakidze, B.V. Cherkasov*

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article discusses the development of a geomagnetic field sensor for mobile heart rate monitor. Electromagnetic fields of natural origin constantly surround people. The impact of the geomagnetic field with high intensity on the electromagnetic field of a person leads to poor health. The geomagnetic field affects the rate of chemical reactions in the body, depending on the amount of molar magnetic susceptibility of the intermediate metabolic products. Also, the geomagnetic field accelerates or slows down exchange reactions. The cardiovascular system is especially sensitive to the influence of the geomagnetic field. Bradycardia, hypotension, palpitations, shortness of breath - the possible consequences of the influence of the high intensity geomagnetic field on the cardiovascular system. Thus, the development of a geomagnetic field sensor for a mobile heart monitor is an urgent task, both for health care and for hygienic regulation of the effects of the geomagnetic field on the human body.

**Keywords:** sensor of the geomagnetic field, anisotropic magnetoresistive sensor, electromagnetic field, mobile heart monitor.

Человека постоянно окружают электромагнитные поля (ЭМП) естественного происхождения. Для синхронизации биоритмов человека с окружающей средой используются стабильные частоты 1-100 Гц. Эти частоты определяют работу всего организма, а именно разных его систем: воспринимающей, передающей, анализирующей информацию, формулирующей команды.

Со стороны медицины и магнитобиологии в настоящее время уже не вызывает сомнений тот факт, что ЭМП естественного происхождения (естественный электромагнитный фон Земли) следует анализировать как один из наиболее важных факторов окружающей среды. Наличие естественных ЭМП в окружающей среде необходимо для нормальной жизнедеятельности, а их отсутствие или недостаток – приводит к серьезным негативным, иногда даже необратимым послед-



ствиям для организма. Необходимость принятия мер защиты от влияния естественных магнитных бурь в первую очередь диктует потребность в средствах их обнаружения в реальном времени [1].

В подавляющем большинстве ситуаций, связанных с магнитным контролем приходится иметь дело с кратковременным измерением или индикацией магнитных полей. В этих случаях используют различные магнитные преобразователи, из которых широкое распространение получили феррозондовые, индукционные и магниторезистивные датчики, а также датчики Холла.

Принцип действия анизотропного магниторезистивного датчика основан на способности магниторезистивного материала изменять сопротивление в зависимости от взаимной ориентации протекающего тока и вектора преимущественной намагниченности магнитных доменов пленки, например пермаллоевой ( $NiFe$ ) пленки. Приложенное к анизотропному магниторезистивному ( $AMP$ ) элементу исследуемое магнитное поле  $H$  поворачивает вектор намагниченности тонкой магнитной пленки на угол  $\beta$ , значение которого зависит от направления и величины поля. При условии, что  $H \ll H_o$ . При этом сопротивление пленки изменяется по формуле [2]:

$$R = R_0 + \Delta R \left( 1 - \left( \frac{H}{H_o} \right)^2 \right) = R_0 + \Delta R \cdot \cos^2 \beta, \quad (1)$$

где,  $R_0$  - сопротивление пермаллоевой пленки вне действия магнитного поля;  $\Delta R$  - максимально возможное изменение сопротивления ( $R_{B=0} = 2 - 3\%$ );

$H_o$  – подмагничивающее поле;  $\sin \beta = H/H_o$ .

Согласно формуле (1), углу  $\alpha = 90^\circ$  соответствует минимальное сопротивление пленки, углу  $\alpha = 0^\circ$  (в отсутствии поля) — максимальное значение сопротивления, равное базовому сопротивлению ( $R_0$ ), к которому прибавляется максимальное  $\Delta R$ . В отсутствии магнитного поля направление тока и направление вектора намагниченности пермаллоя параллельны друг другу, а при увеличении напряженности поля  $H$  угол  $\alpha$  увеличивается, а сопротивление  $R$  уменьшается на максимальную величину  $\Delta R$ , зависящую от свойств материала пленки. Данная характеристика зависимости сопротивления нелинейна и не уникальна, другими словами, она не зависит от направления действия поля напряженностью  $H$  в плане датчика [2].

Из выражения (1) можно сделать вывод, что сопротивление  $AMP$ -элемента квадратично зависит от слагаемого  $(H/H_o)$  при  $H_o = const$ . Эта квадратичная зависимость отдаляет выходную характеристику сенсора от желаемого линейного вида. В значительной мере линеаризовать выходную характеристику  $AMP$ -элемента возможно путем задания «зазубренной» структуры. В этом случае сопротивление  $AMP$ -сенсора будет определяться соотношением:

$$R = R_{B=0} + \Delta R_{\max} \cos^2(\beta - 45^\circ), \quad (2)$$

где угол  $45^\circ$  соответствует углу наклона пермаллоевых и немагнитных плоскостей относительно общей ориентации  $AMP$ -элемента в пространстве (1).

Учитывая, что  $\cos^2(\beta - 45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2} (\cos \beta - \sin \beta)$

можем записать:  $R = R_{B=0} \pm \Delta R_{\max} \frac{H}{H_o} \sqrt{1 - \left( \frac{H}{H_o} \right)^2}$ . (3)



Знак « $\pm$ » в выражении (3) соответствует одной из возможных ориентаций немагнитных перемычек, т. е. их наклон либо слева направо, либо справа налево [2].

В случае, когда  $H \ll H_o$ , выражение (3) допустимо переписать в виде:

$$R = R_{B=0} \pm \Delta R_{\max} \frac{H}{H_o}. \quad (4)$$

Функциональные зависимости (3) – (4) имеют более предпочтительный квазилинейный характер по сравнению с выражением (1) [2].

Рассмотрим соединение единичных АМР-элементов по принципу полностью дифференциального измерительного моста. Физически данная структура представляет собой четыре эквивалентных «*barber-pole*» АМР-элемента, сформированных путем осаждения тонкого слоя пермаллоя на подложку в форме квадрата, соединенных по схеме, представляющей из себя плечи измерительного моста. Напряжение, снимаемое с измерительной диагонали такого моста, будет определяться в соответствии с выражением:

$$U = \left( \frac{R1}{R1 + R4} - \frac{R2}{R2 + R3} \right) \cdot U_o, \quad (5)$$

где  $U$  – напряжение, снимаемое с измерительной диагонали моста;  $R1, R2, R3, R4$  – сопротивление плеч измерительного моста;  $U_o$  – напряжение питания моста [2].

Согласно выражениям (3) и (4) и предполагая, что все АМР-элементы, входящие в состав измерительного моста, физически эквивалентны между собой, выражение (5) для случая АМР-измерительного моста можно переписать в виде:

$$U(H) = 2U_o \Delta R_{\max} \left( \frac{H}{H_o} \right) \sqrt{1 - \left( \frac{H}{H_o} \right)^2} = 2U_o \Delta R_{\max} \left( \frac{H}{H_o} \right). \quad (6)$$

Из выражения (6) очевидно, что напряжение на выходе мостового АМР-сенсора, квазилинейно по своей природе, прямо пропорционально зависит от напряжения питания моста и чувствительно к знаку поля. Таким образом, выражение (6) представляет собой универсальную математическую модель мостового АМР-сенсора, учитывающую основные процессы, протекающие в тонких магнитных пленках типа «*barber-pole*» [2].

На практике при проектировании сенсорных магнитных модулей вероятны ситуации, когда в предполагаемом отсутствии внешнего магнитного воздействия выходной информационный сигнал на выходе АМР-сенсора не соответствует нулевому уровню [2]. Природа подобных смещений информационного сигнала может объясняться как неучтенными источниками магнитного поля (ферромагнитные элементы корпуса, электронных элементов или разъемов), так и неидеальным исполнением непосредственно самого АМР-сенсора или свойствами среды [2].

Исключить на начальных стадиях обработки информационного сигнала влияние данных факторов на результат проводимых измерений технически достаточно сложно. В случае же нахождения информационного сигнала преимущественно в ультранизкой области частот (например, геомагнитное поле) проблема нулевого смещения информационного отклика АМР-сенсорного модуля приобретает особо актуальный характер. В качестве решения данной проблемы предлагается использовать компенсирующий электромагнит (в виде плоской катушки индуктивности), активизируя который обеспечивается возможность (по принципу суперпозиции) компенсировать постоянную составляющую внешних магнитных наводок и выводить тем самым информационный сигнал магнитного сенсора в



нулевое положение при условно нулевом воздействии внешнего магнитного поля. Магнитная индукция (напряженность), генерируемая таким магнитом, будет зависеть как от геометрических параметров спиралевидной катушки индуктивности, так и от параметров пропускаемого через нее электрического тока [2].

В результате предлагаемый подход позволит как улучшить параметры выходного сигнала АМР-сенсорного модуля в частности, так и повысить метрологические характеристики магнитометрической ИИС, построенной на его основе, в целом.

#### **Список цитируемой литературы**

1. Аношин О.А., Кужекин И.П., Максимов Б.К., Никитин О.А. Влияние электрических и магнитных полей низкой частоты на организм человека//Материалы Международной 2-й конференции «Электромагнитные поля и здоровье человека». М., 1999. С.79.
2. Котенко Г. И. Магниторезисторы. – М.: Энергия, 1972. – 80 с.

© А.А.Сомова, Н.Д.Наракидзе, Б.В.Черкасов, 2019