

ИЗТОЧНИЦИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНО ПОЛЕ С НЕКЛАСИЧЕСКА ФОРМА ЗА МАГНИТОРЕЗИСТИВНИ СЕНЗОРИ С МОСТОВИ СХЕМИ НА СВЪРЗВАНЕ

Иван Костов, Стефчо Гунински

Резюме: В работата е извършен подбор на форми на тънкослойни намотки, предназначени за магниторезистивни сензори. Направени са сравнителни експериментални измервания в активните зони на намотки с форма меандър, проведени с магниторезистивен преобразувател, който притежава координатна чувствителност в слаби магнитни полета.

Ключови думи: магниточувствителен сензор, магниторезистор, меандър

NONCLASSICAL SHAPE EMF SOURCES FOR MAGNETORESISTIVE SENSORS IN BRIDGE CIRCUITS

Ivan Kostov, Stefcho Guninski

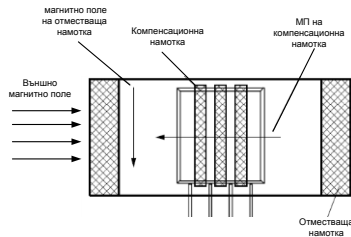
Summary: The work has selected forms of thin coils for Magneto sensors. Made comparative experimental measurements in active zones of coils shaped meander conducted with magnetoresistive converter that has coordinate sensitivity in weak magnetic fields.

Keywords: magneto-sensitive sensor, magnetoresistor, meander-form

1. Въведение

Развитието на съвременните измервателни и управляващи системи стремително се увеличава благодарение на ролята на т.н. интелигентни сензори като конструктивни елементи на индустриалната автоматизация. Интелигентните сензори се състоят от три компонента: чувствителен елемент (преобразува физичните и химични величини в електрически сигнал); изчислителен (с включен аналоговоцифров преобразувател) и комуникационен интерфейс. Чувствителните елементи, използващи магниторезистивни ефекти в последните десетина години, с навлизането на нанотехнологиите и наноматериалите позволиха значително да се увеличи диапазона на областите на приложение на сензорите, а също и да се създадат съвършено нови типове сензори. [1,2,3].

Източници на електромагнитно поле (ЕМП) за магниторезистивни чувствителни елементи, освен постоянните магнити, са токопроводящи намотки с различна форма. Използването на новите технологии налага разработката на тънкослойни намотки с неklasическа форма (под класическа форма разбираме соленоидна и тороидна намотка) като възбудители на ЕМП.



Фиг1. Схема за използване на сензор KMZ за магнитно поле със соленоидни намотки

2. Същинска част

2а. Теоретична постановка.

За аналитичното описание на свойствата на магнитни полета (МП) могат да се използват диференциалните уравнения за силовите линии, които в правоъгълна Декартова координатна система имат вида [1] :

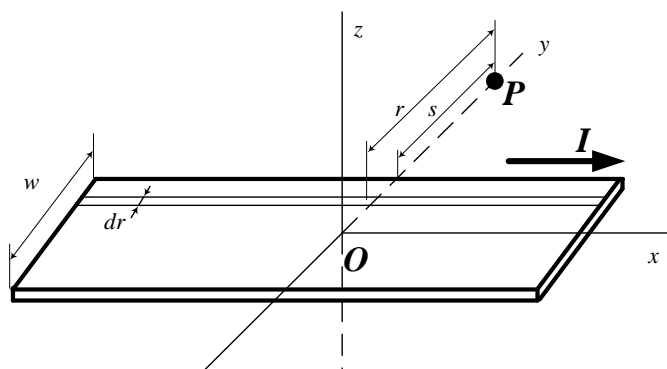
$$\frac{dx}{B_x} = \frac{dy}{B_y} = \frac{dz}{B_z}, \text{ където } B_x, B_y \text{ и } B_z \text{ са проекциите на вектора } \vec{B}(\vec{r}, t) \text{ по осите}$$

Ox, Oy, Oz а x, y и z съответно проекциите на радиус-вектора \vec{r} върху тези оси за момент от време $t > t_0$.

В [1,7] е показано как с помощта на обобщени функции и метода на интегралните трансформации може аналитично да се определи магнитното поле на намотка, чиято форма е геометрична фигура, съставена от отсечки.

Пълната система уравнения на Максвел позволява еднозначно да се определи полето във всяка точка от пространствената област, ако за момента от време са зададени началните условия, стойностите на вектора \vec{B} във всички точки на тази област, а така също и стойностите на нормалните съставки на повърхността, ограничаваща разглежданата област от пространството[2].

За целите на микромагнителектрониката в хибридни интегрални схеми могат да се използват за източници на магнитни полета мрежи от тънкослойни намотки. Елемент от тези намотки може да се разгледа като безкрайно дълга тънка метална лента със ширина w в равнината xy , през която протича ток I по направление $+x$ както е показано на фиг. 2. [3]. Търси се магнитното поле, представено чрез вектора на плътността на магнитния поток \vec{B} в точка P , отдалечена на разстояние s от лентата по оста y .



Фиг.2.

Разглеждаме елементарна част от лентата с ширина dr , успоредна на посоката на тока и на разстояние r от т. P (фиг.2). Елементарния ток е

$$dI = I \left(\frac{dr}{w} \right)$$

Съгласно закона на Ампер този ток създава магнитно поле

$$dB = \frac{\mu_0}{2\pi r} I \left(\frac{dr}{w} \right).$$

След интегриране на този израз получаваме:

$$B = \int_s^{s+w} \frac{\mu_0 I}{2\pi w} \left(\frac{dr}{r} \right) = \frac{\mu_0 I}{2\pi w} \ln \left(\frac{s+w}{s} \right).$$

Посоката на вектора на магнитната индукция в т.Р съвпада с $+z$ оста, или

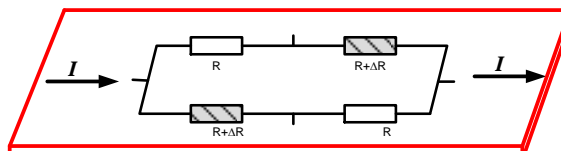
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi w} \ln \left(\frac{s+w}{s} \right) \hat{k}$$

В случаите, когато широчината е пренебрежимо малка, $w \ll s$, $\ln(1+w/s) \approx w/s$, може да се опрости изразът за магнитното поле на тънка метална лента.

Базов елемент в сензорите за магнитно поле е магниторезистор, който се изработва също като лента от феромагнитен материал, например пермалой ($20\%Fe, 80\%Ni$). Нека приемем, че когато липсва външно МП вектора на намагнитването е с посока паралелна на тази на тока, протичащ през пермалоевата лента. При прилагане на външно МП, успоредно на равнината на феромагнитната лента, но перпендикулярно на протичащия през нея ток, то векторът на намагнитването на магниторезистора ще се завърти на определен ъгъл, зависещ от големината на външното МП. В резултат на това съпротивлението на пермалоевата лента се променя като функция на полето, създадено от външен източник, в случая от описаната по-горе метална токопроводяща лента.

2б Форми на тънкослойни намотки съдържащи магниторезистори в мостова схема:

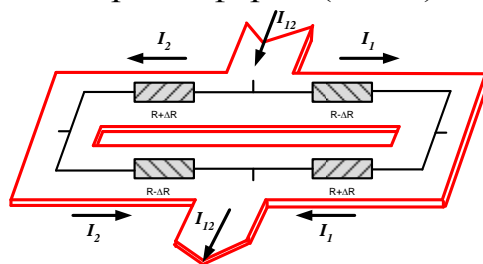
- еднолентова намотка (фиг. 3)



Фиг. 3

В този случай се използва мостова схема с два линейни резистора и два магниторезистора, на които съпротивлението нараства с увеличение на приложеното магнитно поле, функция на тока през лентата. (недостатък-нелинеен и малък изходен сигнал)

- лентова намотка с О-образна форма (Фиг.4)

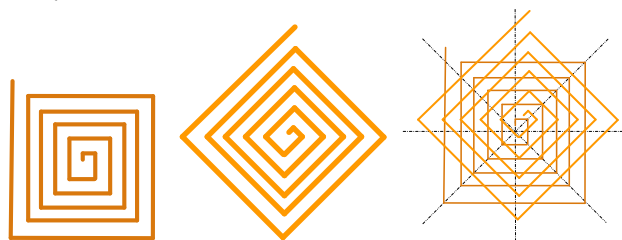


Фиг.4

Мостовата схема е от четири магниторезистора, като двата в диагонала на моста са с положително нарастване, а другите два са с отрицателно нарастване на съпротивлението при увеличение на приложеното магнитно поле.

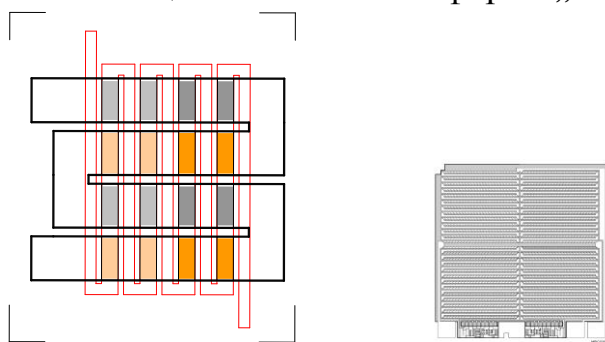
- намотки с квадратна форма (фиг.5)

Четири магниторезистора са разположени в четирите сектора на квадратната намотка и технологично се изработват от феромагнитни ленти. Възможно е, с помощта на още една квадратната намотка, разместена на 90 градуса, да се създаде МП с друго въздействие върху магниторезисторната схема. Превключването се извършва от външна електронна схема. Предимството се състои във възможността за смяна на знака на изходния сигнал, т.е. напрежението в измервателния диагонал на мостовата схема. Съществува и доста сложен вариант с две мостови схеми от магниторезистивни чувствителни елементи.



фиг.5

- спомагателна и компенсационна намотка с форма „меандър“ (фиг.6)

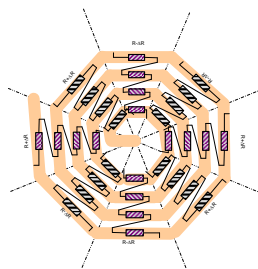


фиг.6

В [6] KMZ серията от магниточувствителни елементи четирите магниторезистора са ленти от пермалой, подредени във форма „меандър“ и след това свързани в мостова схема за получаване на двойно по-голяма чувствителност. При тези сензори за измерване на МП или измерване на електрически ток посредством полето, което той създава, се прилага метод на компенсация. Магнитното поле, създадено от компенсационната намотка, е равно по големина, но противоположно по посока на измерваното МП.

Използвайки този метод на обратна връзка имаме директна мярка за измервания неизвестен ток или например земното магнитно поле. Предимството на метода, особено при измерване на слаби МП, е висока точност поради липса на смущения, зависещи от температурата, нелинейности в елементите на сензора и паразитни външни магнитни полета.

При двуфазни сензори като например сензор за ъглово преместване [4], подобни сензори за скорост, ускорение и позициониране [5], магнитното поле се създава от наслагване на постоянно МП от въртящи се магнити и спомагателни намотки. Тези спомагателни намотки се захранват обикновено с импулсни напрежения с различна форма и коефициент на запълване и в редуване, определено от електронна схема.



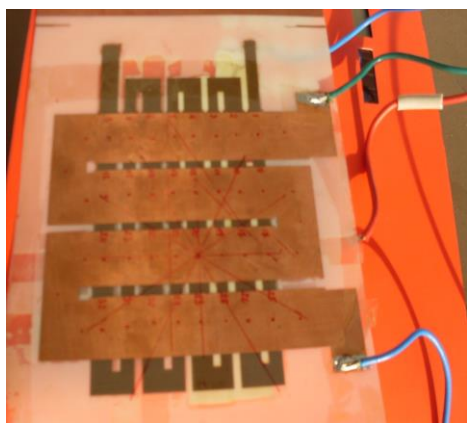
Фиг.7 Спомагателна намотка с осмоъгълна форма и две магниторезистивни мостови схеми

Магнитния поток на един елемент от осмоъгълната спомагателна намотка е в радиална посока и в равнина над магниторезисторите. Електронна схема за управление дава възможност на сумарния магнитен поток рязко да сменя своя фазов ъгъл (по посока на часовниковата стрелка или обратна. Спомагателната намотка с осмоъгълна форма за две магниторезистивни мостови схеми позволява да се получат същите характеристики както при две квадратни спирали. По този начин се избягва увеличаването на размера на сензора и се намаляват производствените разходи.

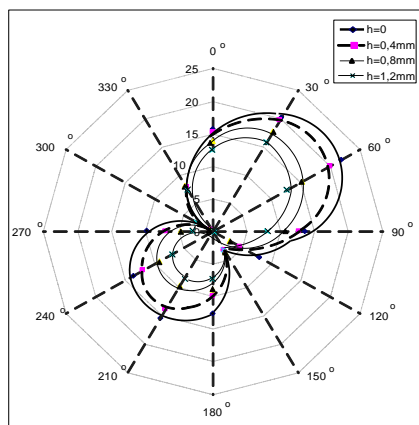
Експеримент

Този тип сензори могат да се използват в качеството на векторни магнитометри, като в този случай магнитната ос на сензора е твърдо свързана с неговия корпус и паралелна на равнината, в която са разположени магниторезисторите. Тъй като АМР-сензора има пренебрежимо малка дебелина е прието, че се измерва тангенциалната съставка на полето, понеже тази проекция съвпада с магнитната ос. Смущенията от нееднородност на полето по отношение на координатата z са пренебрежимо малки. Когато АМР-сензора е ориентиран така, че магнитните силови линии съвпадат с магнитната му ос, изходният сигнал има максимална положителна стойност.

За изследване влиянието на посоките и съотношението на големините на полетата на двете намотки, от наслагването на които се получава резултантното



фиг.8а



фиг.8б

МП е прието съотношението на токовете в ОВН и КВН да е 2:1 , а чрез промяна на поляритета на захранващите източници на ток са определени още нива на изменение на този фактор . При снемане на данните е приет за неизменен ъгъл $\theta = 45^\circ$ на ориентация на сензора за всички активни области.

За изследване влиянието на пространственото разположение на АМР-сензора е записвана стойността на изходния сигнал при завъртане на сензора на определен ъгъл θ ($0 < \theta < 360^\circ$) през 30° . Освен това е извършвана промяна на отстоянието h на сензора от повърхността на ОВН. Резултатите от тези изследвания са показани графично като ориентационни диаграми при параметър h (фиг.8б.) .

Заклучение

Сканиращи и измервателни модули, съставени от така описаната мрежа от намотки с форми меандър и осмоъгълна форма и АМР - сензори с линейна или матрична организация могат да бъдат използвани в електромагнитните безразрушителни методи за контрол.

Благодарност

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по договор ДФНИ Е02/8 с Фонд „Научни изследвания“ при МОН.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Guninski S., *Output Signal of Electromagnetic Transducer with Perpendicular Windings at Present of Relative Movement*: Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 53, 2003, pp. 191-199.
- [2] V.Panin, B.Stepanov: ”*Measurement of the impulse magnetic and electrical fields*”, Energoatomisdat, 1987, Moscow.
- [3]http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-013-electromagnetics-and-applications-spring-2009/readings/MIT6_013S09_notes.pdf
- [4]http://www.researchgate.net/publication/226743739_360degree_Rotation_Angle_Sensor_Consisting_of_MRE_Sensors_with_a_Membrane_Coil. T.Ina, K.Takeda, T. Nakamura, O.Shimomura, T.Ban, T.Kawashima.
- [5] www.bosch.de/aa/de/fachliteratur/index.htm

[6] Philips Semiconductors Technical Note ,”*Magnetic Field Sensors* “, 1999,8р..

[7] Гунински С., И. Петров, ***Исходен сигнал на електромагнитен преобразувател със спирална форма***, Научни известия на НТС по Машиностроене, год. XII, бр. 1 (79), юни 2005 год., Дефектоскопия‘2005. XX Национална конференция по безразрушителен контрол с международно участие, Созопол, 13-15 Юни 2005 г., с. 243-247.

Автори: Иван Костов, доц. д-р ТУ - София; ЕФ,кафедра Обща електротехника, *email: igkostov@tu-sofia.bg*

Стефчо Гунински, доц. д-р ТУ - София; ЕФ,кафедра Обща електротехника, *email: sgg@tu-sofia.bg*