

Галваномагнитен преобразувател за измерване на електрически ток

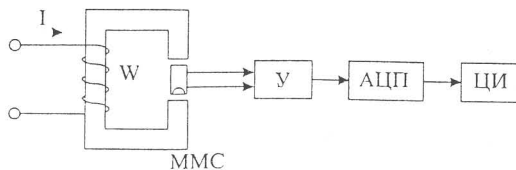
гл.ас. д-р Александров, А.Т., доц. д-р П.Ж. Тодоров, ТУ-Габрово

The paper deals with the possibility of realizing a galvanomagnetic converter for measuring electric current on the basis of an experimental series of a lateral two-collector magneto-transistor of the 2Т1МП1 type. The block schematic of the galvanomagnetic ammeter has been presented. The conversion characteristics obtained by experiment have been shown in three current ranges: $(0\div 0,1)\text{A}$; $(0\div 1)\text{A}$; $(0\div 10)\text{A}$. The relative sensitivity of the galvanomagnetic sensor has been determined for each of the measurement ranges studied. The function of conversion is presented in an analytical form. The advantages of a galvanomagnetic ammeter with a sensitive element a two-collector magneto-transistor have been pointed out.

Основното приложение на галваномагнитните сензори (елементи на Хол, магниторезистори, магнитодиоди, магнитотранзистори и др.) е в областта на автоматиката и измервателната техника. Известни са галваномагнитни сензори за измерване на ток на базата на елементи на Хол [1,2,3] и мултисензор за измерване на ток и температура с помощта на двуколекторен магнитотранзистор [4].

На основата на експериментална серия латерален двуколекторен силициев NPN магнитотранзистор с паралелно-полева магниточувствителност, тип 2Т1МП1, разработка на ИПФ-гр. Пловдив, е създаден галваномагнитен преобразувател за измерване на ток. Принципът му на действие се основава на измерване на магнитната индукция \mathbf{B} , която се създава от протичащия през проводник електрически ток.

Блоковата схема на галваномагнитния преобразувател за измерване на ток е показана на фиг.1.



фиг.1. Блокова схема на преобразувател за измерване на ток

Тя включва следните блокове:

MMC - магнитомодулаторна система;

У - усилвател;

АСП - аналого-цифров преобразувател;

ЦИ - цифрова индикация.

Магнитомодулаторната система включва концентратор на магнитно поле от ферромагнитна сърцевина с въздушна междина, разположена около проводника, през който протича измервания ток. Галваномангнитният сензор е монтиран във въздушната междина.

Магнитната индукция B_{δ} във тази междина на електромагнит с брой на навивките W , през който протича ток I , се определя по зависимостта [5]:

$$B_{\delta} = \frac{\mu_0 WI}{\delta + \frac{S_{\delta}}{S_M} \cdot \frac{\ell_M}{\mu_r} \zeta}, \quad (1)$$

където за конкретната магнитна система:

S_M - площ на магнитопровода;

S_{δ} - площ на въздушната междина;

δ - гължина на въздушната междина;

ℓ_M - гължина на магнитопровода;

ζ - коефициент на разсейване;

μ_0 - магнитна проницаемост на въздуха;

μ_r - относителна магнитна проницаемост.

За дадена магнитомодулаторна система всички величини във формула (1) с изключение на тока са константи, т.е. зависимостта $B_{\delta} = f(I)$ има линеен характер и добива вида:

$$B_{\delta} = K_{MC} \cdot I, \quad (2)$$

където: K_{MC} - коефициент на преобразуване на електромагнитната система.

За магнитотранзисторния сензор индукцията във въздушната междина B_{δ} е входна величина. Големината на B_{δ} трябва да не надвишава максимално допустимата магнитна индукция на магнитотранзистора. За използвания магнитотранзистор 2Т1МП1 B_{max} има стойност 100mT. Двуклекторният магнитотранзистор се включва в схема ОЕ на диференциално стъпало със симетричен изход. Работната точка по постоянен ток е избрана в активен режим, близък до границата на насищане, с цел получаване на максимална магниточувствителност. При входен ток $I=0$ ($B_{\delta}=0$) и уравновесена несиметрия колекторните токове през лявото и дясното рамо на диференциалното стъпало са равни ($I_{C1} = I_{C2}$), т.е. разликата между двата тока $\Delta I_C = 0$.

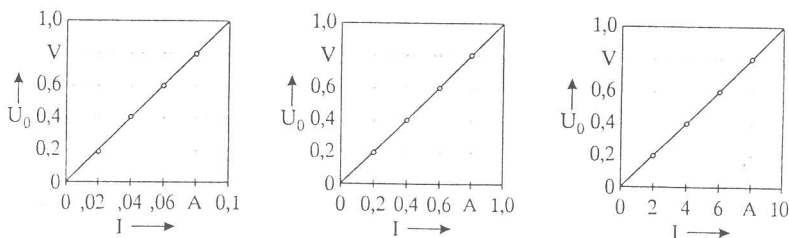
При входен ток, различен от нула, магнитната индукция $B_0 \neq 0$, в резултат на което единият колекторен ток нараства, а другият - намалява съгласно принципа на действие на двуколекторния магнитотранзистор. В този случай ΔI_C е пропорционален на входния ток I .

Тъй като АЦП работи с входно напрежение $\pm 1V$, то е необходимо включването на усилвателно стъпало с подходящ коефициент на усилване. Този блок е реализиран като диференциален усилвател по ток.

Създаденият галваномагнитен амперметър има три измервателни обхвата $(0 \div 10)A$, $(0 \div 1)A$ и $(0 \div 0,1)A$.

За всеки един обхват се използват различни магнитомодулаторни системи (брой навивки и сечение на проводника) и коефициенти на усилване на усилвателното стъпало. Изходното му напрежение се калибрира от 0 до 1V за всеки един обхват чрез промяна на коефициента на усилване.

На фиг.2 са показани експериментално получените преобразувателни характеристики, които имат линеен характер. Измерванията са проведени с универсален цифров уред тип В721А с кас на точност в различните обхвати от 0,01 до 0,05. При промяна посоката на измервания електрически ток, характеристиките се получават симетрични спрямо началото на координатната система. Следователно, преобразувателят може да се използва за измерване както на постоянен, така и на променлив ток.



фиг.2. Преобразувателни характеристики $U_0=f(I)$ при измерване на постоянен ток

Относителната чувствителност на галваномагнитния сензор $S_{00} = \frac{\Delta U_0 / U_{0nom}}{\Delta I / I_{nom}}$ за всеки от изследваните измервателни обхвати е: $S_{00} = 100$ [$I = (0 \div 0,1)A$], $S_{00} = 1$ [$I = (0 \div 1)A$], $S_{00} = 0,01$ [$I = (0 \div 10)A$].

При отчитане на симетричността на характеристиката спрямо началото на координатната система, с помощта на опитната

постановка от фиг.1, са проведени експерименти за измерване на променлив ток. Преобразувателните характеристики и относителните чувствителности са аналогични на тези при измерване на постоянен ток.

Преобразувателната функция $U_0=f(I)$ може да се представи аналитично чрез зависимостта:

$$U_0=k \cdot I, \quad (3)$$

където: k - чувствителност на преобразувателя:

$$k=k_{МС} \cdot k_{МТС} \cdot k_{AI}, \quad (4)$$

където: $k_{МТС}$, k_{AI} - коефициенти на преобразуване на магнитотранзисторния сензор и усилвателната схема.

В електромагнитната верига измерваният електрически ток I се преобразува в електромагнитна индукция B . Коефициентът на преобразуване на електромагнитната система $k_{МС}$ се определя от зависимост (1):

В магнитотранзисторния сензор магнитната индукция B се преобразува в еквивалентна промяна на разликата между колекторните токове ΔI_C :

$$\Delta I_C=k_{МТС} \cdot B \quad (5)$$

$$\Delta I_C=I_{C1} - I_{C2}=(\beta_1-\beta_2) \cdot I_B, \quad (6)$$

където: β_1 , β_2 - коефициенти на усилване на магнитотранзистора:

$$\beta_1 - \beta_2 = \frac{E \cdot B}{U_T^2 \cdot b \cdot \tau} \cdot [a^4 - (a - b)^4] = M \cdot B, \quad (7)$$

$$\text{където: } M = \frac{E}{U_T^2 \cdot b \cdot \tau} \cdot [a^4 - (a - b)^4], T^{-1};$$

τ - време за живот на инжектираните токоносители;

a , b - конструктивни параметри на магнитния сензор;

E - електрическо поле.

От зависимости (5), (6) и (7) се получава следната зависимост за коефициента на преобразуване на магниточувствителния сензор $k_{МТС}$:

$$k_{МТС}=I_B \cdot M, A/T. \quad (8)$$

След усилване от диференциалния усилвател по ток изходното напрежение U_0 е функция от разликата между колекторните токове ΔI_C :

$$U_0=\Delta I_C \cdot A_1=-\Delta I_C \cdot R_{OB}.$$

Следователно, коефициентът на преобразуване на усилвателната схема е равен на съпротивлението в обратната верига R_{OB} :

$$k_{AI}=R_{OB} \cdot \Omega \quad (9)$$

След заместване на стойностите на коефициентите k , k_{MC} , k_{MTC} и k_{AI} в (3), се получава следният аналитичен израз на преобразователната функция:

$$U_0 = \frac{\mu \cdot W}{\delta} \cdot \frac{I_B \cdot E}{U_T^2 \cdot b \cdot \tau} \cdot [a^4 - (a - b)^4] \cdot R_{OB} \cdot I. \quad (10)$$

От проведените експериментални изследвания могат да се направят следните **изводи**:

Създаденият галваномагнитен преобразовател на основата на експерименталния двуколекторен магнитотранзистор, тип 2Т1МП1, може да се използва за измерване както на постоянен, така и на променлив ток, при това получените преобразователни функции са линейни.

Възможно е и създаване на галваномагнитен амперметър от типа токови клещи за измерване на големи токове ($I > 10A$).

Чрез използване на секционирана намотка може да се разшири стъпално обхвата на измервания ток в областта на по-малките токове.

Възможно е да се синтезира устройство за сумиране на два и повече галванично разделени токови сигнали, чрез въвеждане на допълнителни намотки.

Основни предимства на измерване на ток с галваномагнитен преобразовател на основата на експериментален магнитотранзисторен сензор, тип 2Т1МП1 са:

- линейна функция на преобразуване;
- липса на галванична връзка между входната и изходната вериги;
- възможност за измерване на променлив ток в обхвата на ниските и средните честоти.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Викулин, И. М., В. И. Стафеев. Физика полупроводниковых приборов. М., Радио и связь, 1990.
2. Егазарян, Г. А., В. И. Стафеев. Магнитодиги, магнитотранзисторы и их применение. М., Радио и связь, 1987.
3. Розенблат, М. А. Гальваномагнитные датчики. Состояние и перспективы развития. - Автоматика и телемеханика, Москва, 1997, бр.1, с.3-44.
4. Руменин, Ч. П. Костов. Уред за безконтактно измерване на постоянен ток, - ЕП, 1986.
5. Тодоров, Д. Преобразователи в уредостроенето, С, Техника, 1992.