

## Изследване на статичните характеристики на елемент на Хол Втора част

Никола Драганов, Анатолий Александров

**Research over static characteristics of Hall elements:** Microelectronics development creates possibility for fulfilling of the industrial schemes with high input resistance, high stability of the output signal, low fading. But the problem stays connected with the optimization of the sensor block which transforms investigated physical entity to electrical signal.

Hall elements are widely applied both in discreet and integrated circuitry. Various kinds of sensor systems are constructing on their basis. Creating of new schemes including discreet Hall element is very interesting in galvanomagnetic sensoric and can contribute to increase of their applied effectiveness and improvement of parameters and operating characteristics.

**Key words:** Hall sensors, measuring of magnetic field, magnetic field control device.

### ВЪВЕДЕНИЕ

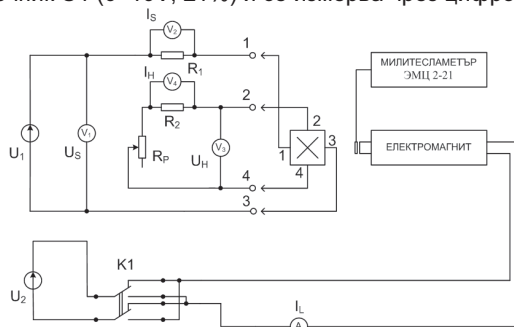
Като входен блок на всяка една система за измерване и детектиране на магнитни полета елементите на Хол имат много области на приложение и предизвикват непрекъснат изследователски интерес [1-5]. На тяхна основа се изграждат различни видове сензорни системи и устройства. Интерес за електрониката, автоматиката и галваномангнитната техника е възможността за повишаване на гъвкавостта при приложение на елементите на Хол, а това се постига с познаване на техните параметри и характеристики.

Целта на настоящата разработка е да опише проведените експериментални изследвания на основните статични характеристики на дискретен елемент на Хол, тип VHE101E, които биха допринесли за повишаване на неговата приложимост.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

За изследване на проходните, преобразователните и товарните статични характеристики на дискретен елемент на Хол е реализирана схемата на опитната постановка показана на фиг. 1.

Захранващото напрежение  $U_S$  на образеца се осигурява от прецизния стабилизиран източник  $U_1$  ( $0+10V, \pm 1\%$ ) и се измерва чрез цифровия волтметър  $V_1$ .

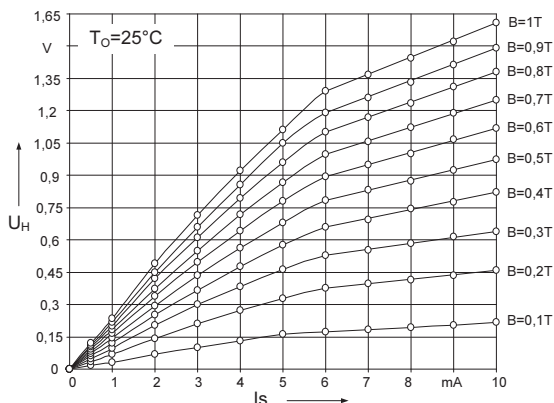


Фиг. 1. Схема на опитната постановка за заснемане на основните параметри на елементи на Хол

Управляващият ток  $I_S$  се измерва като пад на напрежение върху измервателния резистор  $R_1$ , включен последователно с изводи 1 и 3 на елемента. Напрежението на Хол  $U_H$  се измерва чрез цифровия волтметър  $V_3$ , непосредствено между изводи 2 и 4 на елемента на Хол. Електромагнитът се управлява от регулируемия

стабилизиран захранващ източник U2 (0÷100V/4A, ±1%), като токът ( $I_L$ ) през него се контролира посредством амперметър. Чрез ключа K1 се задава полярността на захранването на електромагнита, респективно посоката на магнитното поле. Големината на магнитното поле във въздушната междина се измерва чрез цифров милитесламетър.

Експерименталните преобразователни характеристики са показани на фиг. 2. Те са заснети при стайна температура ( $T_0=25^\circ\text{C}$ ) и стойности на управляващия ток  $I_S=(0,5\pm 10)\text{mA}$  и на магнитната индукция  $B=(0,1\pm 1)\text{T}$ .



Фиг. 2. Експериментални преобразователни характеристики  $U_H=f(I_S)$

Анализът им показва, че напрежението на Хол силно зависи от приложеното магнитно поле  $B$  и управляващия ток  $I_S$ . Съществуват два линейни участъка на изменение на характеристиките: широк – проявяващ се при стойности на управляващия ток  $I_S=0\div 6\text{mA}$ , и тесен – проявяващ се при стойности на управляващия ток  $I_S>6\text{mA}$ . При по-ниски стойности на магнитното поле ( $B<0,1\text{T}$ ) се наблюдава разширяване на тесния участък за сметка на широкия.

По-висока стръмност на характеристиките се наблюдава в широкия линеен участък, като при магнитно поле  $B=0,1\text{T}$  и управляващ ток  $I_S=4\text{mA}$  чувствителността на изходното напрежение е  $S=15,47\text{V/A}$ , а при  $B=1\text{T}$  и управляващ ток  $I_S=4\text{mA}$  –  $S=99,25\text{V/A}$ . В тесните линейни участъци (при  $I_S>6\text{mA}$ ) стръмността на характеристиките е по-малка, като при  $B=0,1\text{T}$  и управляващ ток  $I_S=9\text{mA}$  тя е едва  $2,22\text{V/A}$ , а при  $B=1\text{T}$  и същия управляващ ток –  $S=19,66\text{V/A}$ .

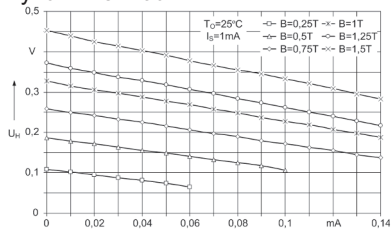
Експерименталните товарни характеристики се заснемат при постоянно зададени стойности на магнитното поле ( $B=\text{const}$ ) и на управляващия ток ( $I_S=\text{const}$ ). Изследванията са проведени по същата схема на опитната постановка (фиг. 1). Изходният ток  $I_0$  се измерва от цифровия волтметър V3 като пад на напрежение върху измервателния резистор R2 и се регулира от високоомния многооборотен потенциометър RP. Напрежението на Хол се измерва директно между изводи 2 и 4 на елемента на Хол с волтметъра V3.

Получените експериментални резултати се илюстрират с графиките на фиг. 3. Те са заснети при стайна температура ( $T_0=25^\circ\text{C}$ ) за три стойности на управляващия ток:  $I_S=1; 5; 10\text{mA}$  и при магнитно поле  $B=(0,25\pm 1,5)\text{T}$ .

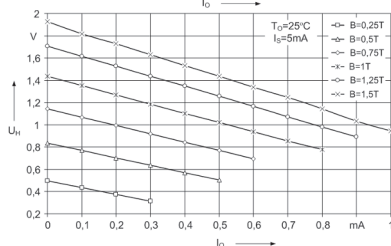
Анализът на получените характеристики показва, че те са напълно линейни. Измерваното напрежение на Хол  $U_H$  намалява с увеличаване на тока  $I_0$  през товара RP. Наблюдава се повишаване на стръмността на експерименталните характеристики с нарастване на приложеното магнитно поле  $B$ . Най-ниска стръмност ( $S=450\text{V/A}$ ) се получава за характеристиката, заснета при управляващ ток  $I_S=10\text{mA}$  и магнитно поле  $B=0,25\text{T}$ , а най-висока ( $S=1100\text{V/A}$ ) – при управляващ ток  $I_S=1\text{mA}$  и индукция на магнитното поле  $B=1,5\text{T}$ .

Изменението на стръмността на експерименталните характеристики се дължи на насищането на експерименталния образец. При по-високи стойности на магнитната индукция  $B$  траекторията на управляващия ток се ограничава от

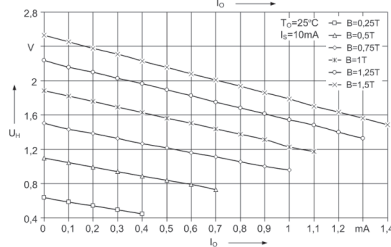
границите на сензорната пластината, тъй като тя е симетрична, настъпва промяна в наклона на изходната характеристика, респективно намаляване на изходната чувствителност.



а)



б)



в)

Фиг. 3. Експериментални товарни характеристики  $U_H=f(I_0)$ ,  $I_S=const$ ,  $B=const$ :

а)  $I_S=1mA$ ; б)  $I_S=5mA$ ; в)  $I_S=10mA$

възниква насищане, фактически малка част от захранващия ток през двата токови контакта в магнитно поле преминава в зоната на Холовия електрод.

С нарастване на магнитната индукция дрейфовата скорост  $v$  на токоносителите се насища, тъй като и времето им на живот  $\tau$  и подвижността им  $\mu$  намаляват. В резултат на това с нарастването на  $B$  се увеличава и магнитното съпротивление на образците.

Подобен характер на изменение на преобразователните характеристики се получава при управление на експерименталния образец с генератор на напрежение (фиг. 5), като напрежението на управляващия сигнал  $U_S$  се изменя от 1 до 6V.

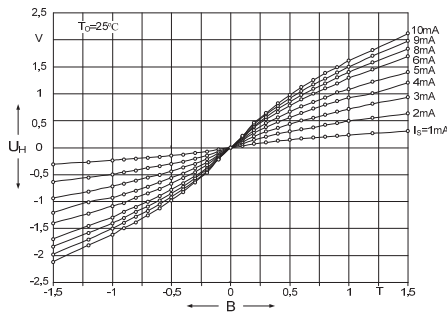
Анализът на получените характеристики показва нелинейно (но плавно) изменението на изходното напрежение ( $U_H$ ) в целия диапазон на изменение на магнитното поле.

Стойностите на измереното напрежение на Хол при използване на генератор на напрежение ( $U_S=const$ ) са близки (в рамките на допустимата грешка) с тези, измерени с генератор на ток ( $I_S=const$ ). Това се дължи на еднаквостта в проявяване на галваномангнитните ефекти в структурата, независимо от управляващите източници. Проявяващият се линеен участък на характеристиките (при високи магнитни полета  $|B|>0,5T$ ), получени при управление с генератор на ток, се дължи на нискоомната структура на експерименталния образец.

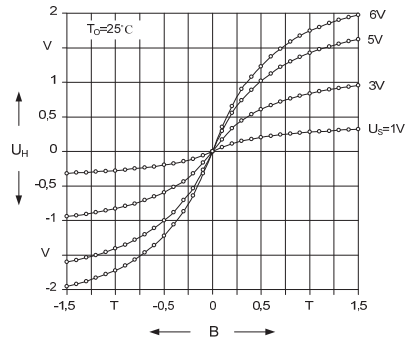
Заснемането на преобразователните характеристики се извършва при постоянно зададени стойности на управляващия ток –  $I_S=const$ , като се използва отново опитната постановка, представена на фиг. 1. Те се заснемат при постоянна температура ( $T_0=25^\circ C$ ), като се използва генератор на ток – управляващият ток  $I_S$  се изменя от 1 до 10mA, а магнитната индукция  $B=0\div 1,5T$ . Характерът на изменение на напрежението на Хол  $U_H$  в зависимост от магнитната индукция  $B$  е показан на фиг. 4, като за положителните ( $B>0$ ) и за отрицателни ( $B<0$ ) магнитни полета характеристиките са огледални, разположени в Първи и Трети квадрант на координатната система.

Необичайната сензорна характеристика може да се обясни със специалната топология на елемента на Хол. Силата на Лоренц измества електроните към единия Холов контакт. Тъй като неговата зона е с форма на правоъгълен триъгълник, то там се натрупват основни токоносителите. Проводимостта на тази част на структурата нараства, потенциалът на Хол се окъсява и в резултат на зависимостта му от магнитното поле

Въз основа на получените преобразователни характеристики могат да се определят параметрите на елемента на Хол – абсолютна  $S_A$  и относителна  $S_R$  чувствителност.



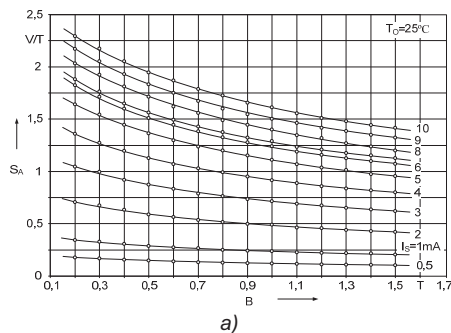
Фиг. 4. Експериментални преобразователни характеристики  $U_H=f(B)$ ,  $I_S=const$ ,  $T_0=25^\circ C$



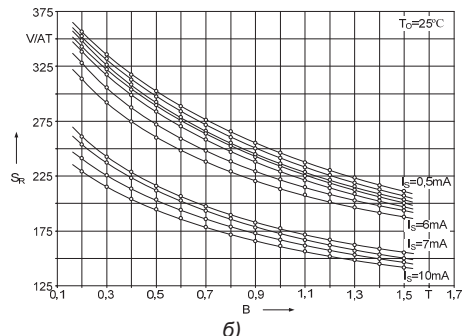
Фиг. 5. Експериментални преобразователни характеристики  $U_H=f(B)$ ,  $U_S=const$ ,  $T_0=25^\circ C$

Графичните зависимости, отразяващи изменението на параметрите абсолютната ( $S_A=\Delta U_H/\Delta B$ , V/T) и относителната ( $S_R=S_A/I_S$ , V/AT) чувствителност в зависимост от магнитната индукция  $B$  и тока  $I_S$ , са представени на фиг. 6. Тъй като характеристиките са симетрични при двете полярности на магнитното поле ( $B>0$  и  $B<0$ ), графично са представени само зависимостите  $S_A=f(B, I_S)$  и  $S_R=f(B, I_S)$  при  $B>0$ .

Анализът на получените характеристики за  $S_A$  (фиг. 6а) показва, че магнитната чувствителност е по-висока при по-ниските магнитни полета  $B$  и големите управляващи токове  $I_S$ . С повишаване на индукцията на приложеното магнитно поле магнитната чувствителност на експерименталния образец намалява. При приложен управляващ ток  $I_S=0,5mA$  и изменение на магнитно поле  $B=0,2\div 1,5T$  абсолютната магниточувствителност  $S_A$  получава стойности от 0,176 до 0,1V/T, а при по-висок управляващ ток ( $I_S=10mA$ ) границите на изследвания пара-метър са от 2,29V/T до 1,41V/T. Резултатите, получени за отрицателно магнитно поле ( $B<0$ ), са аналогични.



а)



б)

Фиг. 6. Магниточувствителност на елемент на Хол, тип VHE101E при постоянна температура ( $T_0=25^\circ C$ ): а) абсолютна чувствителност  $S_A=f(B, I_S)$ ; б) относителна  $S_R=f(B, I_S)$

По-високи стойности за относителната магниточувствителност  $S_R$  се получават при по-ниски стойности на управляващия ток  $I_S$  и по-слаби магнитни полета  $B$ . Така при управляващ ток  $I_S=0,5mA$  относителната магниточувствителност

се изменя в границите  $S_R=229\div 141\text{V/AT}$ , а при  $I_S=10\text{mA}$  – от  $253,25\text{V/AT}$  до  $210,66\text{V/AT}$ , т.е. с  $45,41\text{V/AT}$  по-слабо отколкото при  $I_S=0,5\text{mA}$ . Това се обяснява с насищане на образеца при по-високи управляващи токове, което ограничава изменението на изходния сигнал (напрежението на Хол).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтезирана и реализирана е схема на опитната постановка за изследване на статични характеристики на дискретни елементи на Хол, както при постоянна температура, така и при изменение на температурата на околната среда. Всички експериментални измерванията са проведени с уреди с клас на точност  $\pm 1\%$ .

2. Изследвани са основните статични характеристики на елемент на Хол, тип VNE101E: входните характеристики  $U_S=f(I_S)$ ; проходните характеристики  $U_H=f(I_S)$ ; товарните характеристики  $U_H=f(I_O)$ ; магнитоелектрическите преобразователни характеристики  $U_H=f(B)$  при стайна температура с генератор на ток и генератор на напрежение. Анализът им показва силно изразена нелинейност, която е продиктувана от природата на изследваният магниточувствителен елемент – материал и конструкция.

3. На базата на заснетите експериментални преобразователни характеристики са определени параметрите абсолютна и относителна магниточувствителност. Установена е и тяхната зависимост от магнитното поле и управляващият ток, като са построени съответните графични зависимости. Максималната абсолютна и относителна чувствителност на изследваният елемент на Хол е в областта на слабите магнитни полета –  $B=(0,05 \div 0,150)\text{T}$ , където тя се изменя както следва:  $S_A=(0,220 \div 2,22)\text{V/T}$ , при  $I_S=(0,5 \div 10)\text{mA}$  и  $S_R=(360 \div 235)\text{V/AT}$ , при  $I_S=(10 \div 0,5)\text{mA}$ .

4. Получените резултати са полезни за създаване на библиотеки с моделни параметри, а предложената и изпитана схема на опитната постановка би могла да се използва и с успех и от други изследователи в това направление.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Александров, А., Н. Драганов. Работа на елемент на Хол с ортогонална магниточувствителност в криогенна среда. Сборник доклади международна научна конференция UNITECH–09, 20-21 Ноември, 2009, стр.177-181

[2] Драганов, Н., А. Александров. Изследване на елементи на Хол. Сборник с доклади международна научна конференция UNITECH–06. Том 1, Габрово, 2006.

[3] Драганов, Н., А. Александров. Изследване на съвместна работа на елементи на Хол. Сборник с доклади международна научна конференция UNITECH–07. Том 1 стр.193-196 Габрово, 2007.

[4] Andonova, A. V., A. T. Aleksandrov, N. D. Draganov, N. M. Kafadarova, S. K. Andreev. Thermal Difference Investigation of the Boundary Surfaces of Hall Element. 32nd International Spring Seminal on Electronics Technology – ISSE 2009, Brno, Czech Republic, 13-17 May 2009, p. 174 – 175

[5] Draganov, N., A. Aleksandrov. Research of temperature dependence of the hall element. Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 40, Gabrovo, 2010, p. 67-69.

### За контакти:

Д-р инж. Никола Драганов Драганов, катедра “Електроника”, Технически университет - Габрово, тел.: 066 827 201, e-mail: [niko\\_draganov@mail.bg](mailto:niko_draganov@mail.bg)

Доц. д-р инж. Анатолий Трифонов Александров, катедра “Електроника”, Технически университет - Габрово, тел.: 066 827 551, e-mail: [alex@tugab.bg](mailto:alex@tugab.bg)

**Докладът е рецензиран.**