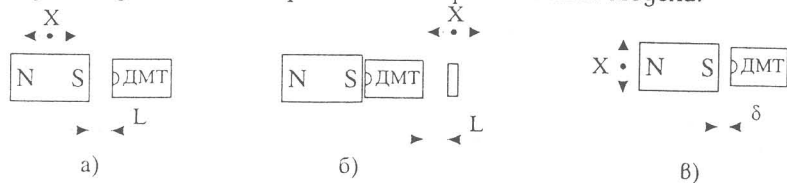


## ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГАЛВАНОМАГНИТЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ НА ЛИНЕЙНО ПРЕМЕСТВАНЕ

зл.ас.г-р инж.Анатолий Трифонов Александров - ТУ-Габрово

Galvanomagnetic converters of linear displacement have been developed on the basis of a two-collector magneto transistor with parallel-field magnetic sensitivity. The complex influence of the relative position of the galvanomagnetic element and the magnetic system, the type of magneto-modulator system and the sensitivity of the magneto-transistor sensor over their conversion characteristics have been studied. Adequate theoretical-experimental models have been obtained following the method of the complete factor experiment. The degree to which the parameters of the developed sensors influence the magnitude of the output signal has been assessed. When modeling the conversion characteristics of the individual design modifications their characteristics features have been taken into consideration, related to the way of reflecting the magnetic induction.

За нуждите на измервателната техника и автоматичното управление, на основата на двуколекторен магнитотранзистор с паралелно-полева магниточувствителност, са разработени галваномагнитни преобразуватели на линейно преместване (фиг.1) [1]. Проведените експериментални изследвания показват, че видът на преобразувателните им характеристики зависи от взаимното разположение на галваномагнитния елемент и магнитната система, от вида на магнитомодулаторната система и от чувствителността на магнитотранзисторния сензор. За получаване на по-пълна и достоверна оценка за функционирането на създадените преобразуватели за линейно преместване, е необходимо да се изследва комплексното влияние на тези фактори върху изходния сигнал  $U_0$  и да се получат адекватни теоретико-експериментални модели.



фиг.1 Сензори за линейно преместване

За получаване на зависимостите  $U_{0j}=f(L, B, I_C, A_j)$ , отразяваща комплексното влияние на линейното преместване  $L$ , коефициента на

усилване на усилвателното стъпало  $A_1$ , тока през магнитотранзистора  $I_C$  и магнитната индукция  $B$  върху изходното напрежение  $U_{0j}$  ( $J$ -номер на конструктивния вариант;  $J=1,2$ ) и  $U_{0j}=f(L, B, I_C, \delta)$  ( $J=3$ ;  $\delta$ -разстояние между магнита и сензора) е приложен методът на планирания експеримент. При моделиране на преобразователната характеристика на отделните конструктивни варианти са отчетени характерните им особености, свързани с начина на отразяване на магнитната индукция. Проведени са пълни факторни експерименти от вида  $N=2^4$  при едновременно вариране на променливите фактори  $L, B, I_C$ , и  $A_1$  за първи и втори конструктивни варианти и  $L, B, I_C$ , и  $\delta$  за трети конструктивен вариант по определен план на експеримента. Планирането и обработката на получените резултати се извършва съгласно методиката, изложена в [2]. За оценка на адекватността на получените модели като най-информативна точка е избрано основното ниво, където са проведени 4 опита. Видът и нивата на вариране на факторите са посочени в табл.1 и 2. Областите на изменение на  $L, B, I_C, A_1$  и  $\delta$  са определени въз основа на проведените предварителни еднофакторни експерименти [1] и гарантират нормална работа на преобразователите.

Табл.1 Стойности на факторите

Ниво	Натурални стойности				Кодови стойности			
	L	B	$I_C$	$A_1$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
	mm	mT	mA	-				
Горно	10	20	5	300	+1	+1	+1	+1
Нулево	5,5	60	3	200	0	0	0	0
Долно	1	100	1	100	-1	-1	-1	-1

Табл.2 Стойности на факторите

Ниво	Натурални стойности				Кодови стойности			
	L	B	$I_C$	$\delta$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
	mm	mT	mA	mm				
Горно	10	20	5	5	+1	+1	+1	+1
Нулево	5,5	60	3	3	0	0	0	0
Долно	1	100	1	1	-1	-1	-1	-1

Планът на експеримента с резултатите от измерванията на напреженията  $U_{01}, U_{02}$  и  $U_{03}$  на преобразователите и стойностите на целевите функции са посочени в табл.3. В нея целевите функции имат следните означения:  $u_j = \ln U_{0j}$  ( $J=1,2,3$ ). Представените стойности на измереното напрежение са средни от проведените във всяка точка

четири наблюдения.

Значимостта на коефициентите в регресионните уравнение е установена по критерия на Стюдънт.

След отстраняване на незначимите коефициенти на уравненията, се получават следните теоретични модели:

$$\hat{y}_1 = -0,1369 - 0,394 \cdot x_1 + 0,7386 \cdot x_2 + 0,6551 \cdot x_3 + 0,4956 \cdot x_4 + 0,0652 \cdot x_2 x_3 - 0,079 \cdot x_3 x_4 \quad (1)$$

$$\hat{y}_2 = 0,3607 - 0,0439 \cdot x_1 + 0,8265 \cdot x_2 + 0,5709 \cdot x_3 + 0,7618 \cdot x_4 \quad (2)$$

$$\hat{y}_3 = 0,289 - 0,3438 \cdot x_1 + 0,7725 \cdot x_2 + 0,7809 \cdot x_3 - 0,0955 \cdot x_4 + 0,0634 \cdot x_1 x_4 - 0,0612 \cdot x_2 x_4 + 0,072 \cdot x_2 x_3 x_4 \quad (3)$$

Таблица 3 План на експеримента

N	Кодови стойности на факторите				Стойности на изходния параметър					
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	U <sub>01</sub>	y <sub>1</sub>	U <sub>02</sub>	y <sub>2</sub>	U <sub>03</sub>	y <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1	-1	0,19	-1,6607	0,15	-1,8971	0,41	-0,8916
2	+1	-1	-1	-1	0,11	-2,2073	0,14	-1,9661	0,15	-1,8971
3	-1	+1	-1	-1	0,69	-0,3711	0,81	-0,2107	2,16	0,7701
4	+1	+1	-1	-1	0,34	-1,0788	0,73	-0,3147	0,99	-0,0101
5	-1	-1	+1	-1	0,58	-0,5447	0,49	-0,7133	1,96	0,6729
6	+1	-1	+1	-1	0,23	-1,4697	0,44	-0,8209	0,96	-0,0408
7	-1	+1	+1	-1	2,95	1,0818	2,68	0,9858	9,54	1,4061
8	+1	+1	+1	-1	1,25	0,2231	2,46	0,9002	4,47	1,4974
9	-1	-1	-1	+1	0,42	-0,8675	0,74	-0,3011	0,34	-1,0788
10	+1	-1	-1	+1	0,20	-1,6095	0,68	-0,3856	0,21	-1,5606
11	-1	+1	-1	+1	1,97	0,6780	3,76	1,3244	1,33	0,2852
12	+1	+1	+1	+1	0,83	-0,1863	3,46	1,2413	0,70	-0,3567
13	-1	-1	+1	+1	1,82	0,5988	2,24	0,8065	1,38	0,3221
14	+1	-1	+1	+1	0,81	-0,2107	2,07	0,7275	0,82	-1,1985
15	-1	+1	+1	+1	8,80	2,1748	11,18	2,4141	6,84	1,9228
16	+1	+1	+1	+1	3,76	1,3244	10,27	2,3292	4,09	1,4085
17	0	0	0	0	1,37	0,3148	2,4	0,8755	2,05	0,7178
18	0	0	0	0	1,35	0,3001	2,5	0,9163	2,03	0,7080
19	0	0	0	0	1,42	0,3506	2,57	0,9439	1,92	0,6523
20	0	0	0	0	1,36	0,3075	2,46	0,9002	1,99	0,6881

Получените теоретични модели удовлетворяват изискванията на проверката на адекватност по критерия на Фишер при ниво на значимост  $\alpha=0,05$ . При сравняване на дисперсионните отношения на моделите  $F_{RJ}$  с табличните стойности  $F_{RJмабл}$  е установено, че е изпълнено условието:  $F_{RJ} < F_{RJмабл}$ ;  $F_{R1} = 7,1091 < F_{R1мабл} = 8,812$ ;

$F_{R2} = 14,001 < F_{R2\text{мабл}} = 19,405$ ;  $F_{R3} = 7,4748 < F_{R3\text{мабл}} = 8,845$ . Тази проверка показва, че разсейването на получените експериментални резултати спрямо теоретичната зависимост не превишава предварително зададената стойност. Дисперсиите на неадекватност, характеризиращи точността на моделите, са съответно:  $S_{ag1} = 0,1908$ ,  $S_{ag2} = 0,1301$ ,  $S_{ag3} = 0,1468$ .

Качеството на моделите в нулевата точка, оценено по t-критерия на Стюдънт и качеството на описание на процесите, оценено с множествения коефициент на корелация  $r_k$  ( $r_k > 0,98$ ), са добри. Дисперсията на възпроизводимостта (грешката на експеримента)  $S_{y_j}$  е съответно:  $S_{y1} = 0,0716$ ,  $S_{y2} = 0,0348$ ,  $S_{y3} = 0,0537$ .

След преминаване от кодирани към натурални стойности на променливите величини, се получават следните емпирични зависимости, отразяващи комплексното влияние на параметрите  $L$ ,  $B$ ,  $I_C$ ,  $A_I$  и  $\delta$  върху изходното напрежение  $U_{0j}$ :

$$\ln U_{01} = -7,487 - 0,3422 \cdot \ln L + 0,8367 \cdot \ln B - 0,49 \cdot \ln I_C + 0,7584 \cdot \ln A_I + 0,1007 \cdot \ln B \cdot \ln I_C + 0,1787 \cdot \ln I_C \cdot \ln A_I \quad (5)$$

$$U_{01} = e^{-7,487} \cdot L^{-0,3422} \cdot B^{0,8367+0,1007 \cdot \ln I_C} \cdot I_C^{-0,49+0,1787 \cdot \ln A_I} \cdot A_I^{0,7584} \quad (6)$$

$$\ln U_{02} = -9,6175 - 0,0381 \cdot \ln L + 1,0271 \cdot \ln B + 0,9466 \cdot \ln I_C + 1,0393 \cdot \ln A_I \quad (7)$$

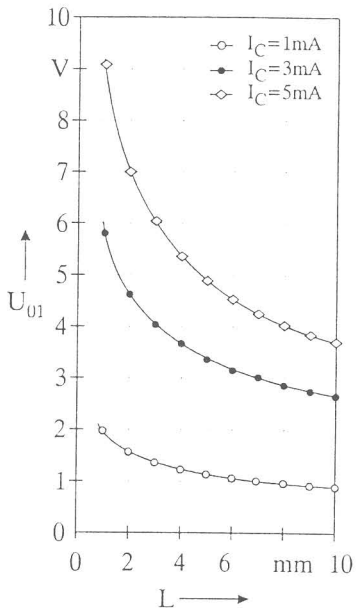
$$U_{02} = e^{-9,6175} \cdot L^{-0,0381} \cdot B^{1,0271} \cdot I_C^{0,9466} \cdot A_I^{1,0393} \quad (8)$$

$$\ln U_{03} = -4,2667 - 0,3537 \cdot \ln L + 1,1255 \cdot \ln B + 1,3931 \cdot \ln I_C + 0,5841 \cdot \ln \delta + 0,0684 \cdot \ln L \cdot \ln \delta - 0,1112 \cdot \ln B \cdot \ln I_C - 0,2056 \cdot \ln B \cdot \ln \delta - 0,5252 \cdot \ln I_C \cdot \ln \delta + 0,1382 \cdot \ln B \cdot \ln I_C \cdot \ln \delta \quad (9)$$

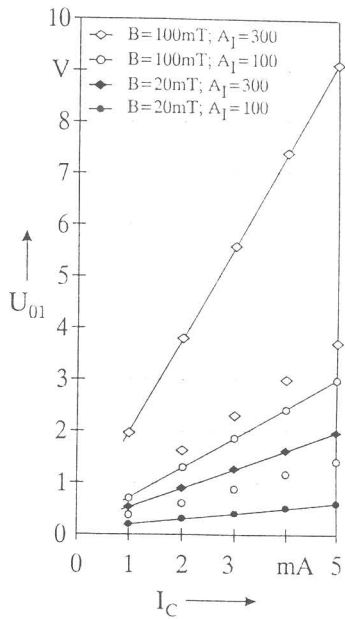
$$U_{03} = \frac{B^{1,1255-0,1112 \cdot \ln I_C - 0,2056 \cdot \ln \delta + 0,1382 \cdot \ln L} \cdot I_C^{1,3931-0,5252 \cdot \ln \delta} \cdot \delta^{0,5841}}{e^{4,2667} \cdot L^{0,3537-0,0684 \cdot \ln \delta}} \quad (10)$$

Графичната интерпретация на получените емпирични зависимости за първи конструктивен вариант на преобразувателя е показана на фиг.2.

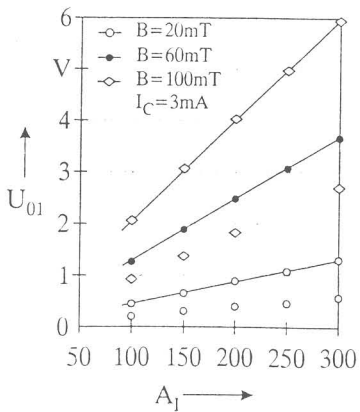
Изведените теоретико-експериментални модели (6,8,10) позволяват да се оцени степента на влияние на параметрите на създадените сензори за линейно преместване върху големината на изходния сигнал:



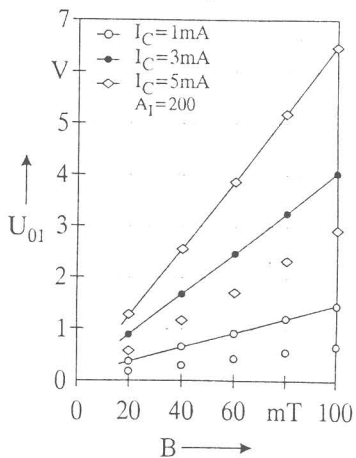
a)



б)



в)



з)

фиг.2 Преобразователни характеристики, отразяващи комплексното влияние на параметрите  $L$ ,  $I_C$ ,  $A_1$  и  $B$  при първи конструктивен вариант (----  $L=10\text{mm}$ , —  $L=1\text{mm}$ )

-С увеличаване на преместването  $L$  намалява изходното напрежение на всички изследвани сензори на линейно преместване. Стръмността на преобразователната характеристика е най-голяма при първи конструктивен вариант, което обуславя неговата по-висока чувствителност. Най-малко е влиянието на  $L$  при втори конструктивен вариант, което определя малката му чувствителност. Негово предимство обаче е възможността за обособяване на магнитотранзисторния сензор и постоянния магнит в самостоятелен корпус.

-Степента на влияние на преместването  $L$  върху големината на изходния сигнал нараства с намаляване на отместването  $\delta$  при трети конструктивен вариант.

-С увеличаване на тока през магнитотранзистора изходното напрежение  $U_0$  нараства при всички изследвани сензори. Зависимостта е линейна. Най-значително е влиянието на тока при трети конструктивен вариант.

-С увеличаване на магнитната индукция  $B$  изходното напрежение нараства правопрпорционално, като най-голяма е степенята на влияние на  $B$  при втори конструктивен вариант. Това позволява да се компенсира малката му чувствителност.

-Увеличаването на коефициента на усилване води до пропорционално нарастване на изходното напрежение. Това създава възможност за калибриране на изходния сигнал. Най-съществено е влиянието на  $A_1$  при втори конструктивен вариант.

Въз основа на получените емпирични зависимости, отразяващи комплексното влияние на взаимното разположение на галваномагнитния елемент и магнитната система, вида на магнитомодулаторната система и чувствителността на магнитотранзисторния сензор, е разработена програма за персонален компютър за определяне на относителната и диференциалната чувствителност на разработените конструктивни варианти на сензори за линейно преместване. Тя позволява да се изберат оптималните параметри на преобразователите. По този начин разработените сензори могат да се използват като интелигентни сензори.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1.Александров, А.Т. Галваномагнитни преобразователи на линейно преместване. "Електроника-96", Ботевград, 1996, 131-136.

2.Божанов, Е.С. Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти. София, Техника, 1973.