

SPRAWOZDANIE Z LABORATORIUM FIZYKI 3.1			
Numer ćwiczenia	57c	Temat ćwiczenia	Badanie efektu Halla
Numer grupy	6	Termin zajęć	03.11.2016; 9:15
Skład grupy		Prowadzący	Ocena
Iwo Bujkiewicz, 226203 Bartosz Rodziewicz, 226105		Dr inż. Grzegorz Zatrzyb	

1. Cel ćwiczenia

1. Zmierzenie charakterystyk statycznych hallotronu:

$U_H = f(\alpha)$ i $U_H = f(B_n)$ - wersja podstawowa ćwiczenia.

$U_H = f(I_S)$ - wersja dodatkowa ćwiczenia.

2. Wyznaczenie czułości polowej $\gamma_B = \Delta U_H / \Delta B$ i czułości prądowej $\gamma_I = \Delta U_H / \Delta I$ hallotronu.

3. Wyznaczenie koncentracji n swobodnych nośników ładunku.

4. Wyznaczenie maksymalnej czułości kątowej $\gamma_\alpha = \Delta U_H / \Delta \alpha$ hallotronu.

2. Wstęp teoretyczny

Zjawisko Halla, efekt Halla – zjawisko fizyczne polegające na wystąpieniu różnicy potencjałów w przewodniku, w którym płynie prąd elektryczny, gdy przewodnik znajduje się w poprzecznym do płynącego prądu polu magnetycznym. Ta różnica potencjałów, zwana napięciem Halla, pojawia się między płaszczyznami ograniczającymi przewodnik, prostopadle do płaszczyzny wyznaczonej przez kierunek prądu i wektor indukcji magnetycznej. Jest ona spowodowana działaniem siły Lorentza na ładunki poruszające się w polu magnetycznym.

3. Spis przyrządów

- Hallotron umieszczony w polu magnetycznym
- Zasilacz hallotronu
- Multimetr Metex M-3860D
dokładność w zakresie, w którym był wykorzystany: $\pm 0,3\%$ rdg + 1 dgt
- Amperomierz LM-1
klasa 0.5

4. Przebieg ćwiczenia

1. Wersja podstawowa

1.1. Przebieg pomiarów

Zakres amperomierza: 15mA

Zakres woltomierza: 400mV

$\alpha_0 = 2^\circ$ (odczytane wzrokowo)

Pomiar polegał na dwukrotnym zmierzeniu napięcia dla kątów $[0^\circ, 360^\circ]$ z krokiem 5° . Wyniki pomiarów znajdują się w tabeli 1. W tabeli też policzona już została uśredniona wartość U_H z tych dwóch pomiarów i od tego momentu będziemy jej używać do wszystkich obliczeń.

Przykładowe obliczenia $u(U_H)$:

Liczymy $u(U_H)$ zgodnie ze wzorem ze specyfikacji miernika (wzór podany w spisie przyrządów) i mamy z tego następujące przykładowe równania:

$$u(U_H) = \frac{(0.003 * |U_H|) + 0.1}{\sqrt{3}} = \frac{0.003 * 175.4 + 0.1}{\sqrt{3}} = \frac{0.6262}{\sqrt{3}} \approx 0.37[mV]$$

1.2. Opracowanie wyników

1.2.1. Wykres charakterystyki kątowej hallotronu to wykres 1. Z niego też odczytujemy $\alpha_0 = 2.5^\circ$.

1.2.2. Wartości składowej normalnej indukcji magnetycznej wraz z niepewnościami dla każdego kąta znajdują się w tabeli 2. Do obliczeń przyjęliśmy $u(\alpha) =$

$$u(\alpha_0) = \frac{2.5^\circ}{\sqrt{3}} = \frac{0.04}{\sqrt{3}} \approx 0.025 \text{ i } u(B_0) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 [T]$$

Przykładowe obliczenia:

$$B_n(\alpha) = B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0)$$

$$B_n(0) = 0.500 * \sin(0 - 0.03) = 0.5 * \sin(-0.03) \approx 0.5 * -0.03 = -0.0150$$

$$\frac{\partial}{\partial B_0} (B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0)) = \sin(\alpha - \alpha_0)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0)) = B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_0} (B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0)) = -B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0)$$

$$u_c(B_n) = \sqrt{\left(\frac{\partial B_n}{\partial B_0} * u(B_0)\right)^2 + \left(\frac{\partial B_n}{\partial \alpha} * u(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{\partial B_n}{\partial \alpha_0} * u(\alpha_0)\right)^2}$$

$$u_c(B_n(0))$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(\sin(\alpha - \alpha_0) * u(B_0))^2 + (B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0) * u(\alpha))^2 + (-B_0 * \sin(\alpha - \alpha_0) * u(\alpha_0))^2} \\ &= \sqrt{(\sin(0 - 0.04) * 0.029)^2 + (0.500 * \sin(0 - 0.04) * 0.025)^2 + (-0.500 * \sin(0 - 0.04) * 0.025)^2} \\ &= \sqrt{(-0.00125)^2 + (-0.00054)^2 + (0.00054)^2} = \sqrt{0.00000159 + 0.00000030 + 0.00000030} \\ &= \sqrt{0.00000219} = 0.00147962 \approx 0.0015 \end{aligned}$$

$$B_n = -0.0150(15)$$

1.2.3. Wykres $U_H = f(B_n)$ to wykres 2.

1.2.4. Na wykresie 2 zaznaczona została linia trendu wraz ze współczynnikiem $\gamma =$

$$\frac{a}{I_s} = \frac{-423.40}{10} = -42.34.$$

$$u(a) = 0.50 \left[\frac{mV}{T}\right]$$

$$u(I_s) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \approx 0.29 [mA]$$

Niepewność γ liczymy ze wzoru:

$$\begin{aligned} u(\gamma) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \gamma}{\partial a} * u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial I_s} * u(I_s)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{I_s} * u(a)\right)^2 + \left(-\frac{a}{I_s^2} * u(I_s)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{10} * 0.5\right)^2 + \left(-\frac{-423.40}{100} * 0.29\right)^2} \\ &= \sqrt{0.0025 + 1.5076401796} \approx 1.23 \end{aligned}$$

$$\gamma = 42.3(1.3) \left[\frac{mV}{mA * T}\right] = 42.3(1.3) \left[\frac{V}{A * T}\right]$$

1.2.5. Niepewność γ_i liczymy dla konkretnego $B_n = 0.492(34)[T]$ i $U_H = -218.1(4)[mV]$.

$$I_s = 10.00(29)mA$$

$$U_H = I_s * \gamma_i * B_n \Rightarrow \gamma_i = \frac{U_H}{I_s * B_n}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial U_H} \left(\frac{U_H}{I_S * B_n} \right) &= \frac{1}{I_S * B_n} \\ \frac{\partial}{\partial I_S} \left(\frac{U_H}{I_S * B_n} \right) &= -\frac{U_H}{I_S^2 * B_n} \\ \frac{\partial}{\partial B_n} \left(\frac{U_H}{I_S * B_n} \right) &= -\frac{U_H}{I_S * B_n^2}\end{aligned}$$

$$u_c(\gamma_i) = \sqrt{\left(\frac{\partial \gamma}{\partial U_H} * u(U_H)\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial I_S} * u(I_S)\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial B_n} * u(B_n)\right)^2}$$

Dalsze obliczenia identyczne jak w pkt. 1.2.2.

$$u_c(\gamma_i) = 3.4$$

$$\gamma_i = -42.3(3.4) \left[\frac{V}{A * T} \right]$$

1.2.6. Obliczenie koncentracji swobodnych nośników ładunku

$$u(d) = \frac{5\% * 2}{\sqrt{3}} = 0.058$$

$$d = 2.000(58) [\mu m]$$

$$e = 1.602(1) * 10^{-19} [C]$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{1}{eyd} = \frac{1}{1.602 * 10^{-19} * 2 * 10^{-6} * |-42.3|} = \frac{10^{25}}{1.602 * 2 * 42.3} \\ &= \frac{10^{25}}{135.5292} = 7.37848375 * 10^{22}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u(n) &= \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial e} * u(e)\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \gamma} * u(\gamma)\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial d} * u(d)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(-\frac{1}{e^2 \gamma d} * u(e)\right)^2 + \left(-\frac{1}{e \gamma^2 d} * u(\gamma)\right)^2 + \left(-\frac{1}{e \gamma d^2} * u(d)\right)^2} \\ &= \frac{1}{e \gamma d} * \sqrt{\left(\frac{1}{e} * u(e)\right)^2 + \left(\frac{1}{\gamma} * u(\gamma)\right)^2 + \left(\frac{1}{d} * u(d)\right)^2}\end{aligned}$$

Obliczenia identyczne jak w punkcie 1.2.2

$$u(n) = 3.2 * 10^{21}$$

$$\left[\frac{A * T}{V * C * m} \right] = \left[\frac{A * T}{V * A * s * m} \right] = \left[\frac{T}{V * m * s} \right]$$

$$n = 7.38(32) * 10^{22} \left[\frac{T}{V * m * s} \right]$$

2. Wersja dodatkowa

2.1. Przebieg pomiarów

$$2.1.1. \alpha = 305^\circ = 5.323, \alpha_0 = 2.5^\circ$$

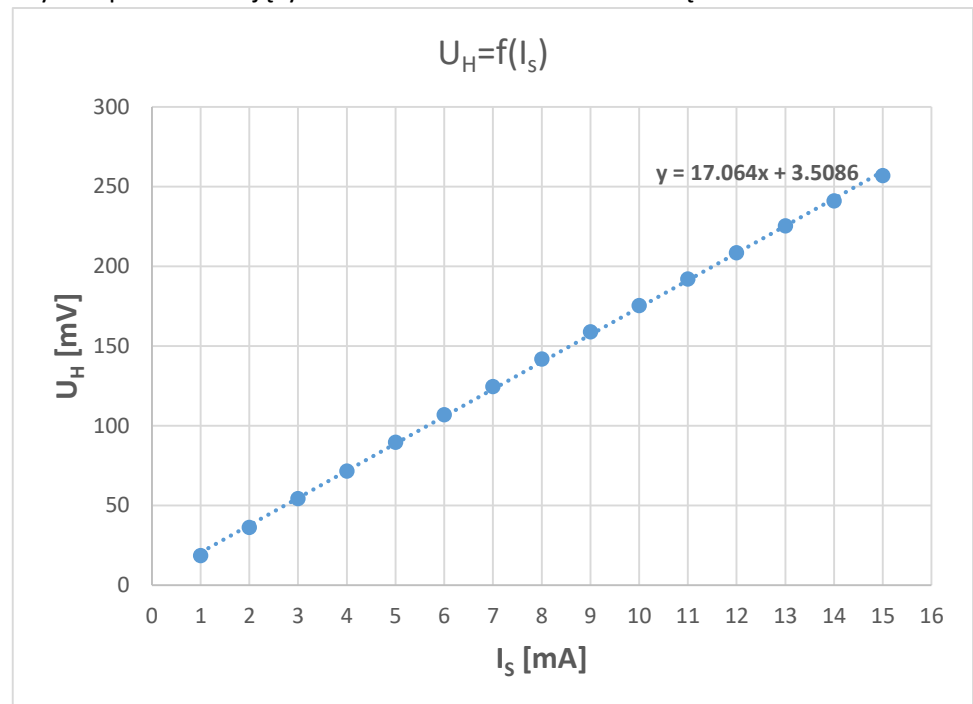
2.1.2. Wyniki pomiarów U_H dla różnych I_s znajdują się w tabeli poniżej:

I_s [mA]	U_H [mV]	$u(U_H)$ [mV]
1	18.5	0.1
2	36.2	0.2
3	54.2	0.2
4	71.4	0.2
5	89.6	0.3
6	106.8	0.3

7	124.5	0.3
8	141.7	0.4
9	158.8	0.4
10	175.3	0.4
11	192	0.4
12	208.3	0.5
13	225.3	0.5
14	240.9	0.5
15	256.8	0.6

2.2. Opracowanie wyników

2.2.1. Wykres przedstawiający zmierzone zależności wraz z linią trendu:



2.2.2. $B_n = -0.433(31) \text{ [T]}$. Obliczenia identyczne jak w poprzednim przypadku.

2.2.3. $\gamma * B_n = a_2 \Rightarrow \gamma = \frac{a_2}{B_n} = \frac{17.064}{-0.433} = -39.41$

$$u(a_2) = 0.088$$

$$\begin{aligned}
 u(\gamma) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \gamma}{\partial a} * u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial B_n} * u(B_n)\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{1}{B_n} * u(a)\right)^2 + \left(-\frac{a}{B_n^2} * u(B_n)\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{1}{-0.433} * 0.088\right)^2 + \left(-\frac{17.064}{0.187489} * 0.031\right)^2} = 2.83 \\
 \gamma &= -39.4(2.9) \left[\frac{\text{V}}{\text{A} * \text{T}}\right]
 \end{aligned}$$

2.2.4. Obliczenia niepewności γ_i identyczne jak w poprzednim przypadku. Wybraliśmy moment $I_S = 7.00(29)$, $U_H = 106.8(3)$

$$\gamma_i = -39(3) \left[\frac{V}{A * T} \right]$$

2.2.5.

$$n = 7.92(63) * 10^{22}$$

Obliczenia identyczne jak w poprzednim przypadku.

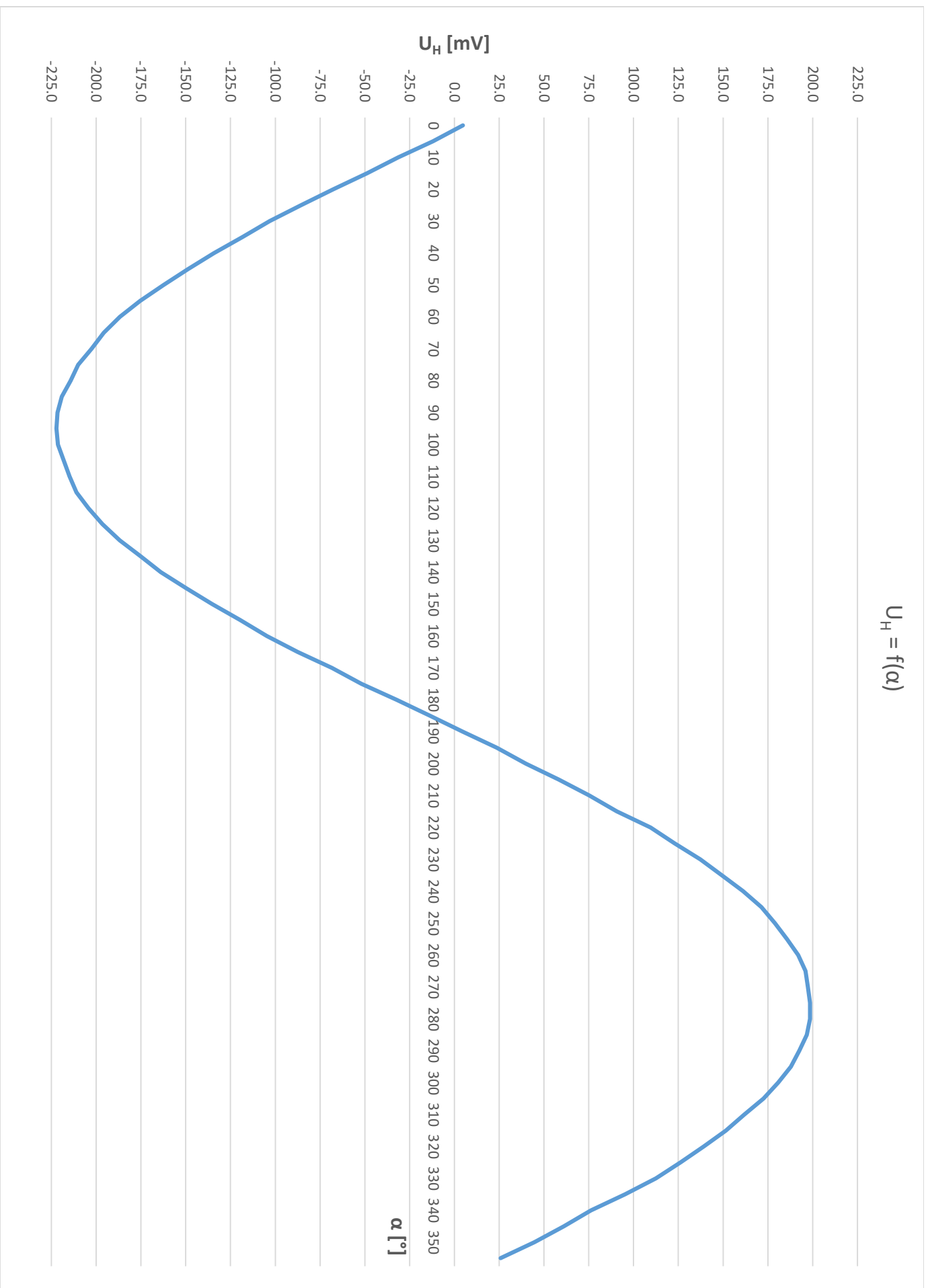
5. Wnioski

- Wyznaczona czułość polowa hallotronu obiema metodami daje zbliżone wyniki, mieszczące się wzajemnie w swoich przedziałach niepewności.
- Koncentracja swobodnych nośników ładunku zbliżone wyniki, mieszczące się wzajemnie w swoich przedziałach niepewności.
- Wyniki wyznaczone metodą pierwszą są dokładniejsze.
- Możemy również zauważyć że wyliczenie γ regresją liniową daje mniejszy błąd, niż wyliczenie jej dla jednego pomiaru.
- Na wyniki końcowe wpływ mógł mieć błąd pomiarowy mierników, wahania w sieci elektrycznej, czy błąd ludzki.

6. Załączniki

- Tabela 1
- Tabela 2
- Wykres 1
- Wykres 2

$$U_H = f(\alpha)$$



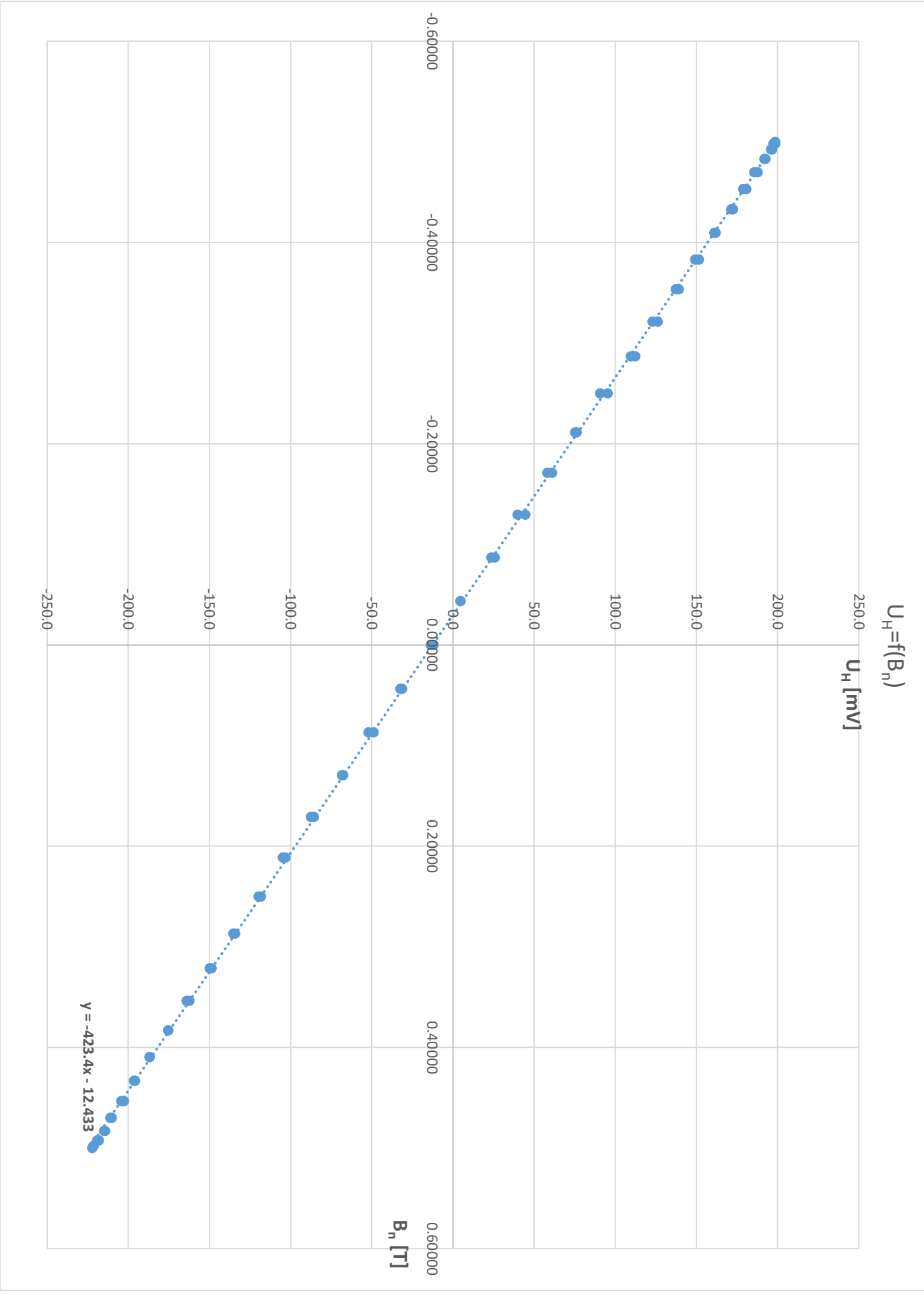


Tabela 1

α [°]	α [rad]	U1 [mV]	U2 [mV]	UH [mV]	u(UH) [mV]	uz(UH) [mV]		
0	0.00	4.7	4.7	4.7	0.066	0.1		
5	0.09	-12.0	-11.9	-12.0	0.079	0.1	Legenda	
10	0.17	-31.4	-31.3	-31.4	0.12	0.2	α	kąt na hallotronie
15	0.26	-48.7	-48.9	-48.8	0.15	0.2	U1	pierwszy pomiar napięcia
20	0.35	-67.4	-67.8	-67.6	0.18	0.2	U2	drugi pomiar napięcia
25	0.44	-85.9	-85.3	-85.6	0.21	0.3	UH	wartość uśredniona
30	0.52	-102.8	-103.4	-103.1	0.24	0.3	u(UH)	niepewność zaokr. do 2msc
35	0.61	-118.8	-117.7	-118.3	0.27	0.3	uz(UH)	niepewność zaokr. do rozdzielczości
40	0.70	-134.8	-133.7	-134.3	0.30	0.3		
45	0.79	-149.1	-148.2	-148.7	0.32	0.4		
50	0.87	-162.6	-162.0	-162.3	0.34	0.4		
55	0.96	-174.7	-176.1	-175.4	0.37	0.4		
60	1.05	-185.8	-187.6	-186.7	0.39	0.4		
65	1.13	-195.0	-196.6	-195.8	0.40	0.4		
70	1.22	-203.6	-201.6	-202.6	0.41	0.5		
75	1.31	-210.1	-210.0	-210.1	0.43	0.5		
80	1.40	-215.1	-213.4	-214.3	0.43	0.5		
85	1.48	-218.8	-219.5	-219.2	0.44	0.5		
90	1.57	-221.2	-221.9	-221.6	0.45	0.5		
95	1.66	-221.9	-222.4	-222.2	0.45	0.5		
100	1.75	-221.3	-221.3	-221.3	0.45	0.5		
105	1.83	-218.8	-217.4	-218.1	0.44	0.5		
110	1.92	-215.4	-214.3	-214.9	0.43	0.5		
115	2.01	-210.8	-211.1	-211.0	0.43	0.5		
120	2.09	-204.4	-204.2	-204.3	0.42	0.5		
125	2.18	-195.8	-197.1	-196.5	0.40	0.4		
130	2.27	-186.9	-186.9	-186.9	0.39	0.4		
135	2.36	-176.0	-174.5	-175.3	0.37	0.4		
140	2.44	-164.1	-163.8	-164.0	0.35	0.4		
145	2.53	-149.8	-149.8	-149.8	0.32	0.4		
150	2.62	-134.8	-135.9	-135.4	0.30	0.3		
155	2.71	-119.8	-119.6	-119.7	0.27	0.3		
160	2.79	-104.5	-104.9	-104.7	0.24	0.3		
165	2.88	-87.8	-87.3	-87.6	0.21	0.3		
170	2.97	-68.7	-68.1	-68.4	0.18	0.2		
175	3.05	-51.9	-52.0	-52.0	0.15	0.2		
180	3.14	-32.4	-32.4	-32.4	0.12	0.2		
185	3.23	-13.8	-13.7	-13.8	0.082	0.1		
190	3.32	4.7	4.7	4.7	0.066	0.1		
195	3.40	23.7	23.6	23.7	0.099	0.1		
200	3.49	39.8	39.8	39.8	0.13	0.2		
205	3.58	58.3	58.0	58.2	0.16	0.2		
210	3.67	75.0	75.6	75.3	0.19	0.2		
215	3.75	91.1	90.3	90.7	0.22	0.3		
220	3.84	109.4	109.5	109.5	0.25	0.3		
225	3.93	123.2	122.7	123.0	0.28	0.3		
230	4.01	137.3	137.3	137.3	0.30	0.3		
235	4.10	149.1	149.5	149.3	0.32	0.4		
240	4.19	161.0	161.3	161.2	0.34	0.4		
245	4.28	170.6	172.2	171.4	0.36	0.4		
250	4.36	179.3	178.5	178.9	0.37	0.4		

255	4.45	186.3	185.0	185.7	0.38	0.4
260	4.54	191.7	192.1	191.9	0.40	0.4
265	4.63	195.8	196.3	196.1	0.40	0.4
270	4.71	198.1	196.6	197.4	0.40	0.4
275	4.80	199.0	198.1	198.6	0.41	0.5
280	4.89	198.4	198.7	198.6	0.41	0.5
285	4.97	196.2	197.2	196.7	0.40	0.4
290	5.06	192.5	192.6	192.6	0.40	0.4
295	5.15	187.1	188.6	187.9	0.39	0.4
300	5.24	180.0	181.4	180.7	0.38	0.4
305	5.32	172.1	173.1	172.6	0.36	0.4
310	5.41	162.4	161.1	161.8	0.34	0.4
315	5.50	151.4	151.6	151.5	0.33	0.4
320	5.59	139.0	139.4	139.2	0.30	0.3
325	5.67	125.8	126.6	126.2	0.28	0.3
330	5.76	111.9	113.0	112.5	0.26	0.3
335	5.85	95.0	95.6	95.3	0.23	0.3
340	5.93	76.6	75.9	76.3	0.19	0.2
345	6.02	61.2	61.0	61.1	0.17	0.2
350	6.11	44.6	44.7	44.7	0.14	0.2
355	6.20	25.7	25.9	25.8	0.11	0.2

Tabela 2

α [°]	α [rad]	Bn	uc(Bn)
0	0.00	-0.0218	0.0015
5	0.09	0.0218	0.0015
10	0.17	0.0653	0.0045
15	0.26	0.1082	0.0074
20	0.35	0.150	0.011
25	0.44	0.191	0.013
30	0.52	0.231	0.016
35	0.61	0.269	0.019
40	0.70	0.304	0.021
45	0.79	0.338	0.023
50	0.87	0.369	0.026
55	0.96	0.397	0.027
60	1.05	0.422	0.029
65	1.13	0.444	0.031
70	1.22	0.462	0.032
75	1.31	0.477	0.033
80	1.40	0.488	0.034
85	1.48	0.496	0.034
90	1.57	0.500	0.034
95	1.66	0.500	0.034
100	1.75	0.496	0.034
105	1.83	0.488	0.034
110	1.92	0.477	0.033
115	2.01	0.462	0.032
120	2.09	0.444	0.031
125	2.18	0.422	0.029
130	2.27	0.397	0.027
135	2.36	0.369	0.026
140	2.44	0.338	0.023
145	2.53	0.304	0.021
150	2.62	0.269	0.019
155	2.71	0.231	0.016
160	2.79	0.191	0.013
165	2.88	0.150	0.011
170	2.97	0.1082	0.0074
175	3.05	0.0653	0.0045
180	3.14	0.0218	0.0015
185	3.23	-0.0218	0.0015
190	3.32	-0.0653	0.0045
195	3.40	-0.1082	0.0074
200	3.49	-0.150	0.011
205	3.58	-0.191	0.013
210	3.67	-0.231	0.016
215	3.75	-0.269	0.019
220	3.84	-0.304	0.021

B0 [T]	0.500
u(B0)	0.029
α_0 [°]	2.5
α_0 [rad]	0.04
u(α) [rad]	0.025
u(α_0) [rad]	0.025

225	3.93	-0.338	0.023
230	4.01	-0.369	0.026
235	4.10	-0.397	0.027
240	4.19	-0.422	0.029
245	4.28	-0.444	0.031
250	4.36	-0.462	0.032
255	4.45	-0.477	0.033
260	4.54	-0.488	0.034
265	4.63	-0.496	0.034
270	4.71	-0.500	0.034
275	4.80	-0.500	0.034
280	4.89	-0.496	0.034
285	4.97	-0.488	0.034
290	5.06	-0.477	0.033
295	5.15	-0.462	0.032
300	5.24	-0.444	0.031
305	5.32	-0.422	0.029
310	5.41	-0.397	0.027
315	5.50	-0.369	0.026
320	5.59	-0.338	0.023
325	5.67	-0.304	0.021
330	5.76	-0.269	0.019
335	5.85	-0.231	0.016
340	5.93	-0.191	0.013
345	6.02	-0.150	0.011
350	6.11	-0.1082	0.0074
355	6.20	-0.0653	0.0045