



Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
Politechnika Poznańska

ul. Jana Pawła II 24 60-965 POZNAŃ
(budynek Centrum Mechatroniki, Biomechaniki i Nanoinżynierii)
www.zmisp.mt.put.poznan.pl tel. +48 61 665 35 70 fax +48 61 665 35 95

WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH PRZETWORNIKÓW POMIAROWYCH

POZNAŃ 2015

1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest ocena metrologicznych właściwości statycznych indukcyjnościowego przetwornika długości, jak również zapoznanie się z metodami wyznaczania parametrów metrologicznych charakterystyk statycznych oraz metodami linearyzacji wyników pomiarów.

W ćwiczeniu zostanie wyznaczona charakterystyka statyczna indukcyjnościowego przetwornika długości. Wraz z urządzeniem wskazującym GIMETR stanowi on urządzenie do pomiaru przemieszczeń liniowych w zakresie $\pm 1000 \mu\text{m}$. Wyznaczenie charakterystyki statycznej indukcyjnościowego przetwornika długości polega na ustaleniu relacji między wskazaniem przyrządu GIMETR, a wymuszeniem (przesunięciem trzpienia pomiarowego przetwornika) zadawanego przez przemieszczenie stołu komparatora.

Kolejnym krokiem jest linearyzacja charakterystyki przeprowadzona metodą najmniejszych kwadratów. W końcowej części ćwiczenia, w oparciu o otrzymane równania należy wyznaczyć parametry metrologiczne przetwornika kąta oraz błędy nieliniowości, histerezy oraz ocenić jakość linearyzacji.

2. ZAKRES OBOWIĄZUJĄCEGO MATERIAŁU

- definicja przetwornika [2, 3],
- klasyfikacja przetworników [3],
- definicja indukcyjnościowego przetwornika długości [3],
- zasada działania indukcyjnościowego przetwornika długości [3],
- parametry metrologiczne opisujące właściwości przetwornika w stanie statycznym [1, 2, 3],
- definicja statycznej funkcji przetwarzania i charakterystyki statycznej [1, 2],
- błędy statyczne [1, 2],
- metody linearyzacji charakterystyk statycznych (Metoda siecznej, stycznej, najmniejszych kwadratów) [1, 2].

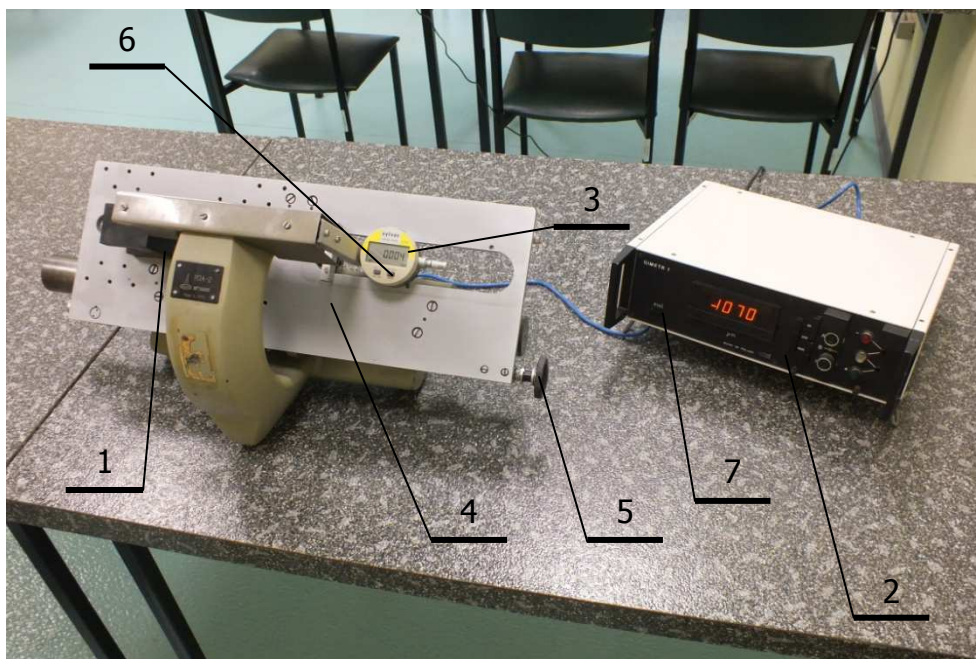
3. LITERATURA

1. Adamczak S., Makiela W., Podstawy metrologii i inżynierii jakości dla mechaników, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa, 2010, str. 75 – 82.
2. Hagel R., Miernictwo dynamiczne, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa, 1979, str. 15 – 19, 24 - 30.
3. Miłek M., Pomiary. Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2006, str. 13 – 25, 56 – 57.

4. OPIS STANOWISKA

W skład stanowiska do wyznaczania charakterystyki statycznej indukcyjnościowego przetwornika długości wchodzi (rys.1):

1. Przetwornik indukcyjnościowy długości (1),
2. Urządzenie GIMETR (2) – wskazujące przemieszczenie w μm trzpienia pomiarowego (1),
3. Czujnik Sylvac S229 (3) – wzorzec długości,
4. Komparator Abbego (4), realizujący przesuw liniowy trzpieni pomiarowych, indukcyjnościowego przetwornika długości (1) oraz wzorca (3).



Rys.1 Stanowisko do wyznaczania charakterystyki statycznej indukcyjnościowego przetwornika długości

5. ZADANIA DO WYKONANIA

ZADANIE 1.1. Wyznaczenie charakterystyki statycznej indukcyjnościowego przetwornika długości (zależność wskazania y przyrządu GIMETR od przemieszczenia x trzpienia pomiarowego wzorca)

Czynności:

- włączyć zasilanie urządzenia GIMETR (2) przyciskiem (7),
- określone przez prowadzącego zakres pomiarowy $z_p = (\pm 1000 - \pm 1500 \mu\text{m})$ oraz krok próbkowania $k = (40 - 60 \mu\text{m})$ wpisać w odpowiednie miejsce w sprawozdaniu,
- obrócić pokrętką (5) do pozycji, w której wskazanie urządzenia GIMETR (2) ma wartość $0,000 \mu\text{m}$,
- nacisnąć przycisk (6) w celu wyzerowania wskazania czujnika Silvac (3),
- przesunąć stolik komparatora pokrętką (5) do pozycji, w której wskazanie czujnika Silvac ma skrajną dolną wartość przyjętego zakresu,
- wartość y_1 odczytać z wyświetlacza urządzenia GIMETR,
- wpisać wartości pierwszego punktu x_1, y_1 , do tablicy 1 (kolumny 1 i 2).

ZADANIE 1.2. Obliczenie współrzędnych charakterystyki statycznej

Czynności:

- obracając pokrętką (5) przesunąć stolik o wartość wynikającą z przyjętego kroku próbkowania k w kierunku wartości rosnących, odczytać wskazania urządzenia GIMETR odpowiadające kolejnym punktom pomiarowym $y_i \rightarrow$,
- wpisać do tablicy 1 wartości współrzędnych kolejnych punktów (kolumna 1 i 2),
- powtórzyć czynności z pkt. a) i b) aż do uzyskania wskazania czujnika Silvac (3) równego górnej wartości przyjętego zakresu,

- d) obracając pokrętkiem (5) powtórzyć pomiary dla malejących wartości $y_{i\leftarrow}$. Odczytów wartości $y_{i\leftarrow}$ należy dokonywać we wcześniej przyjętych położeniach x_i ,
- e) wartości kolejnych $y_{i\leftarrow}$ wpisać do tablicy 1 (kolumna 3),
- f) wykonać obliczenia:

- różnic rzędnych charakterystyk Δh (wzór 1.1) (kolumna 4),

$$\Delta h = y_i \rightarrow - y_i \leftarrow \quad (1.1)$$

- średnie wartości $y_{i\text{śr}}$ (wzór 1.2) odpowiadającym i-tym położeniom kątowym x_i (kolumna 5),

$$y_{i\text{śr}} = \frac{y_i \rightarrow + y_i \leftarrow}{2} \quad (1.2)$$

- kwadratów x_i^2 odpowiadającym i-tym położeniom x_i (kolumna 8),
- iloczynów wartości x_i oraz $y_{i\text{śr}}$ (kolumna 9).
- g) obliczyć lokalne nachylenie charakterystyki jako stosunek Z_i przyrostu wartości sygnału wyjściowego ΔY_i do wartości sygnału wejściowego ΔX_i (wzór 1.3) (kolumna 10),

$$Z_i = \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} = \frac{y_{i\text{śr}} - y_{i\text{śr}+1}}{x_i - x_{i+1}} \quad (1.3)$$

- h) obliczyć średnią wartość $Z_{\text{śr}}$ do obliczeń wybrać punkt środkowy (dla $x_i = 0$) i po 2 sąsiednie po obydwu jego stronach (wzór 1.4),

$$Z_{\text{śr}} = \frac{\sum_{i=1}^5 Z_i}{5} \quad (1.4)$$

- i) wyznaczyć liniowy zakres przetwarzania,

UWAGA: Do dalszych obliczeń przyjmujemy wartości sygnału wejściowego x_i oraz sygnału wyjściowego $y_{i\text{śr}}$ dla których spełniona jest zależność $Z_i \leq 1,20Z_{\text{śr}}$.

ZADANIE 1.3. Wyznaczenie funkcji linearyzującej wyniki pomiarów

Czynności:

- a) korzystając z wartości x_i oraz $y_{i\text{śr}}$ wypełnić tablice 2 sprawozdania,
- b) obliczyć współczynniki $a_{0(\text{MNK})}$ (wzór 1.5) i $a_{1(\text{MNK})}$ (wzór 1.6) dla metody najmniejszych kwadratów (MNK). Obliczone wartości wpisać w odpowiednie miejsce w sprawozdaniu,

$$a_{0(\text{MNK})} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_{i\text{śr}} - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_{i\text{śr}}}{M} \quad (1.5)$$

$$a_{1(\text{MNK})} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_{i\text{śr}} - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_{i\text{śr}}}{M} \quad (1.6)$$

gdzie:

$$M = n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (1.7)$$

n – liczba punktów pomiarowych.

UWAGA: Obliczenie współczynników równania $a_{0(MNK)}$ i $a_{1(MNK)}$ można przeprowadzić za pomocą programu EXCEL wykonując wykres dla zbioru $x_i, y_{i\ \acute{s}r}$, a następnie wyznaczając równanie linii trendu.

- c) zapisać wzór statycznej funkcji przetwarzania $y_{(MNK)}$,
- d) dla kolejnych wartości x_i obliczyć wartości rzędnych funkcji przetwarzania $y_{i(MNK)}$ (Tablica 1, kolumna 6),
- e) obliczyć różnice Δy_i (wzór 1.8) i wpisać do tablicy 1 (kolumna 7).

$$\Delta y_i = y_{i\ \acute{s}r} - y_{i(MNK)} \quad (1.8)$$

ZADANIE 1.4. Obliczenie błędów i parametrów metrologicznych przetwornika

Czynności:

- a) obliczyć maksymalny błąd nieliniowości $\delta_{l(MNK)\max}$ (wzór 1.9),

$$\delta_{l(MNK)\max} = \frac{|\Delta y_i|_{\max}}{y_{i\ \acute{s}r\ \max} - y_{i\ \acute{s}r\ \min}} \cdot 100\% \quad (1.9)$$

gdzie:

$|\Delta y_i|_{\max}$ – maksymalne odchylenie bezwzględne charakterystyki rzeczywistej od linii prostej w zakresie przetwarzania,

$y_{i\ \acute{s}r\ \max}$ – maksymalna wartość zakresy pomiarowego,

$y_{i\ \acute{s}r\ \min}$ – minimalna wartość zakresu pomiarowego.

- b) obliczyć błąd histerezy δ_h (wzór 2.0),

$$\delta_h = \frac{|y_{i \rightarrow} - y_{i \leftarrow}|_{\max}}{y_{i\ \acute{s}r\ \max} - y_{i\ \acute{s}r\ \min}} \cdot 100\% \quad (2.0)$$

gdzie:

$|y_{i \rightarrow} - y_{i \leftarrow}|_{\max}$ – maksymalna wartość różnicy rzędnych charakterystyki,

$y_{i\ \acute{s}r\ \max}$ – maksymalna wartość zakresy pomiarowego,

$y_{i\ \acute{s}r\ \min}$ – minimalna wartość zakresu pomiarowego.

- c) obliczyć czułość przetwornika S (wzór 2.1),

$$S = \frac{dy}{dx} = a_{1(MNK)} \quad (2.1)$$

- d) obliczone błędy $\delta_{l(MNK)\max}$, δ_h oraz parametry metrologiczne przetwornika S wpisać do sprawozdania.

ZADANIE 1.5. Interpretacja graficzna

Czynności:

- a) Narysować charakterystykę statyczną $y = f(x)$ indukcyjnościowego przetwornika długości.
- b) Narysować wykres odchyień od prostej regresji $\Delta y_i = f(x)$.

WNIOSKI

POLITECHNIKA POZNAŃSKA Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych (Imię i nazwisko)		
	Wydział.....Kierunek.....Grupa		
Laboratorium podstaw metrologii	Rok studiów SemestrRok akad. /		
	Data wykonania ćw.	Data oddania ćw.	Ocena
TEMAT: Wyznaczenie charakterystyk statycznych przetworników pomiarowych			

ZADANIE 1.1. Wyznaczenie charakterystyki statycznej przetwornika

zakres pomiarowy $z_p = \pm 1100 \mu\text{m}$

krok próbkowania $k = 44 \mu\text{m}$

ZADANIE 1.2. Obliczenie współrzędnych charakterystyki statycznej indukcyjno-ściowego przetwornika długości

Tablica 1. Wyniki pomiarów i obliczeń współrzędnych charakterystyki statycznej

Lp.	x_i [μm]	$y_i \rightarrow$ [μm]	$y_i \leftarrow$ [μm]	Δh_i [μm]	$y_i \text{ śr}$ [μm]	y_i (MNK) [μm]	Δy_i [μm]	x_i^2	$x_i \cdot y_i \text{ śr}$	Z_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1100	-1038	-1040	2,0	-1039,0	-1042,4	3,4	1210000	1142900	0,932
2	-1056	-993	-1003	10,0	-998,0	-1000,7	2,7	1115136	1053888	0,955
3	-1012	-952	-960	8,0	-956,0	-959,0	3,0	1024144	967472	0,932
4	-968	-911	-919	8,0	-915,0	-917,3	2,3	937024	885720	0,761
5	-924	-883	-880	3,0	-881,5	-875,6	-5,9	853776	814506	1,045
6	-880	-830	-841	11,0	-835,5	-833,9	-1,6	774400	735240	0,920
7	-836	-790	-800	10,0	-795,0	-792,3	-2,7	698896	664620	0,966
8	-792	-750	-755	5,0	-752,5	-750,6	-1,9	627264	595980	1,000
9	-748	-707	-710	3,0	-708,5	-708,9	0,4	559504	529958	0,886
10	-704	-665	-674	9,0	-669,5	-667,2	-2,3	495616	471328	0,977
11	-660	-624	-629	5,0	-626,5	-625,5	-1,0	435600	413490	0,898
12	-616	-582	-592	10,0	-587,0	-583,8	-3,2	379456	361592	0,955
13	-572	-540	-550	10,0	-545,0	-542,1	-2,9	327184	311740	0,955
14	-528	-498	-508	10,0	-503,0	-500,5	-2,5	278784	265584	0,989
15	-484	-457	-462	5,0	-459,5	-458,8	-0,7	234256	222398	0,920
16	-440	-415	-423	8,0	-419,0	-417,1	-1,9	193600	184360	0,909
17	-396	-378	-380	2,0	-379,0	-375,4	-3,6	156816	150084	0,966
18	-352	-338	-335	3,0	-336,5	-333,7	-2,8	123904	118448	0,977
19	-308	-290	-297	7,0	-293,5	-292,0	-1,5	94864	90398	0,943
20	-264	-248	-256	8,0	-252,0	-250,3	-1,7	69696	66528	1,045

Tablica 1. cd.

Lp.	x_i [μm]	$y_i \rightarrow$ [μm]	$y_i \leftarrow$ [μm]	Δh_i [μm]	$y_i \text{ sr}$ [μm]	y_i (MNK) [μm]	Δy_i [μm]	x_i^2	$x_i \cdot y_i \text{ sr}$	Z_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	-220	-205	-207	2,0	-206,0	-208,6	2,6	48400	45320	0,920
22	-176	-163	-168	5,0	-165,5	-167,0	1,5	30976	29128	0,875
23	-132	-124	-130	6,0	-127,0	-125,3	-1,7	17424	16764	0,989
24	-88	-84	-83	1,0	-83,5	-83,6	0,1	7744	7348	0,966
25	-44	-37	-45	8,0	-41,0	-41,9	0,9	1936	1804	0,943
26	0	4	-3	7,0	0,5	-0,2	0,7	0	0	0,943
27	44	44	40	4,0	42,0	41,5	0,5	1936	1848	1,057
28	88	89	88	1,0	88,5	83,2	5,3	7744	7788	0,898
29	132	128	128	0,0	128,0	124,8	3,2	17424	16896	0,977
30	176	173	169	4,0	171,0	166,5	4,5	30976	30096	0,909
31	220	215	207	8,0	211,0	208,2	2,8	48400	46420	0,909
32	264	253	249	4,0	251,0	249,9	1,1	69696	66264	0,966
33	308	295	292	3,0	293,5	291,6	1,9	94864	90398	1,011
34	352	340	336	4,0	338,0	333,3	4,7	123904	118976	0,909
35	396	382	374	8,0	378,0	375,0	3,0	156816	149688	0,909
36	440	416	420	4,0	418,0	416,7	1,3	193600	183920	1,057
37	484	465	464	1,0	464,5	458,3	6,2	234256	224818	0,818
38	528	502	499	3,0	500,5	500,0	0,5	278784	264264	0,966
39	572	548	538	10,0	543,0	541,7	1,3	327184	310596	1,045
40	616	589	589	0,0	589,0	583,4	5,6	379456	362824	0,864
41	660	631	623	8,0	627,0	625,1	1,9	435600	413820	0,920
42	704	672	663	9,0	667,5	666,8	0,7	495616	469920	0,898
43	748	709	705	4,0	707,0	708,5	-1,5	559504	528836	0,977
44	792	754	746	8,0	750,0	750,1	-0,1	627264	594000	0,977
45	836	794	792	2,0	793,0	791,8	1,2	698896	662948	0,898
46	880	834	831	3,0	832,5	833,5	-1,0	774400	732600	0,932
47	924	876	871	5,0	873,5	875,2	-1,7	853776	807114	0,977
48	968	916	917	1,0	916,5	916,9	-0,4	937024	887172	0,875
49	1012	957	953	4,0	955,0	958,6	-3,6	1024144	966460	0,886
50	1056	998	990	8,0	994,0	1000,3	-6,3	1115136	1049664	0,841
51	1100	1031	1031	0,0	1031,0	1041,9	-10,9	1210000	1134100	0,841

$$Z_{\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^5 Z_i}{5} = 0,961$$

$$1,2 \cdot Z_{\text{sr}} = 1,154$$

ZADANIE 1.3. Wyznaczenie funkcji linearyzującej wyniki pomiarów

- Metoda najmniejszych kwadratów (MNK)

Tablica 2. Wyniki obliczeń pomocniczych (MNK)

n	$\sum x_i$	$\sum y_{i \text{ śr}}$	$\sum x_i^2$	$\sum x_i y_{i \text{ śr}}$
51	0	-11	21392800	20268028

$$M = n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 = 1,09 \cdot 10^9$$

- Wartości współczynników:

$$a_{0(\text{MNK})} = a_{0(\text{MNK})} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_{i \text{ śr}} - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_{i \text{ śr}}}{M} = -0,215686$$

$$a_{1(\text{MNK})} = a_{1(\text{MNK})} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_{i \text{ śr}} - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_{i \text{ śr}}}{M} = 0,947423$$

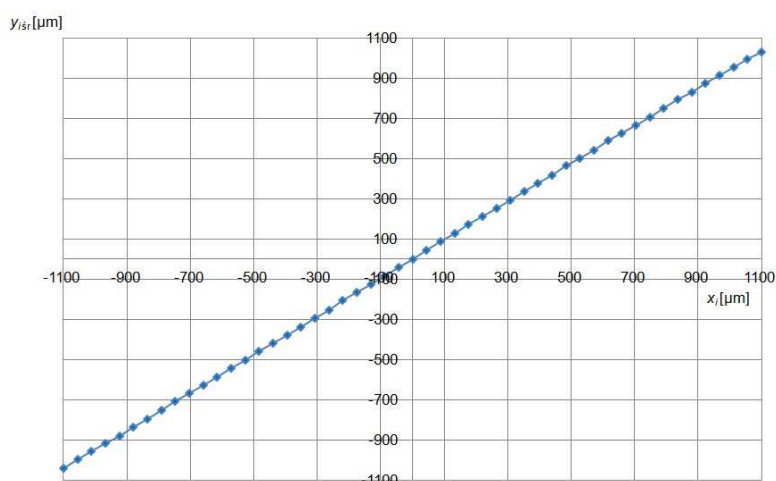
- Statyczna funkcja przetwarzania

$$y_{(\text{MNK})} = a_{0(\text{MNK})} + a_{1(\text{MNK})} \cdot x_i = -0,215686 + 0,947423 \cdot x_i$$

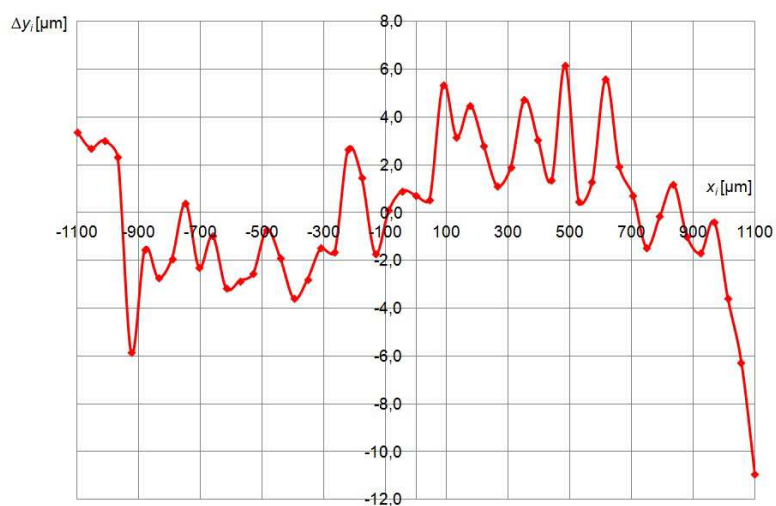
ZADANIE 1.4. Obliczenie błędów i parametrów metrologicznych przetwornika

- błąd nieliniowości $\delta_l (\text{MNK})_{\max} = \delta_l (\text{MNK})_{\max} = \frac{|\Delta y_i|_{\max}}{y_{i \text{ śr max}} - y_{i \text{ śr min}}} \cdot 100\% = 0,3\%$
- błąd histerezy $\delta_h = \delta_h = \frac{|y_i \rightarrow - y_i \leftarrow|_{\max}}{y_{i \text{ śr max}} - y_{i \text{ śr min}}} \cdot 100\% = 0,5\%$
- czułość przetwornika $S = a_{1(\text{MNK})} = 0,95$

ZADANIE 1.5. Interpretacja graficzna



Rys.1.2. Charakterystyka statyczna $y = f(x)$ indukcyjnościowego przetwornika długości



Rys.1.2. Wykres odchyień od prostej regresji $\Delta y_i = f(x_i)$

Wnioski

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....