



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 potencjometrycznego przetwornika kąta, jak również zapoznanie się z metodami wyznaczania parametrów metrologicznych charakterystyk statycznych oraz metodami linearyzacji wyników pomiarów.

W ćwiczeniu zostanie wyznaczona charakterystyka statyczna potencjometrycznego przetwornika kąta w stanie nieobciążonym oraz obciążonym rezystancją. Za pomocą pokrętła zadawane jest przemieszczenie kątowe osi przetwornika w określonym zakresie. Rejestrowana jest zależność wskazania napięcia od przemieszczenia kątowego potencjometrycznego przetwornika kąta.

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 potencjometrycznego przetwornika kąta [3],
- zasada działania potencjometrycznego przetwornika kąta [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.

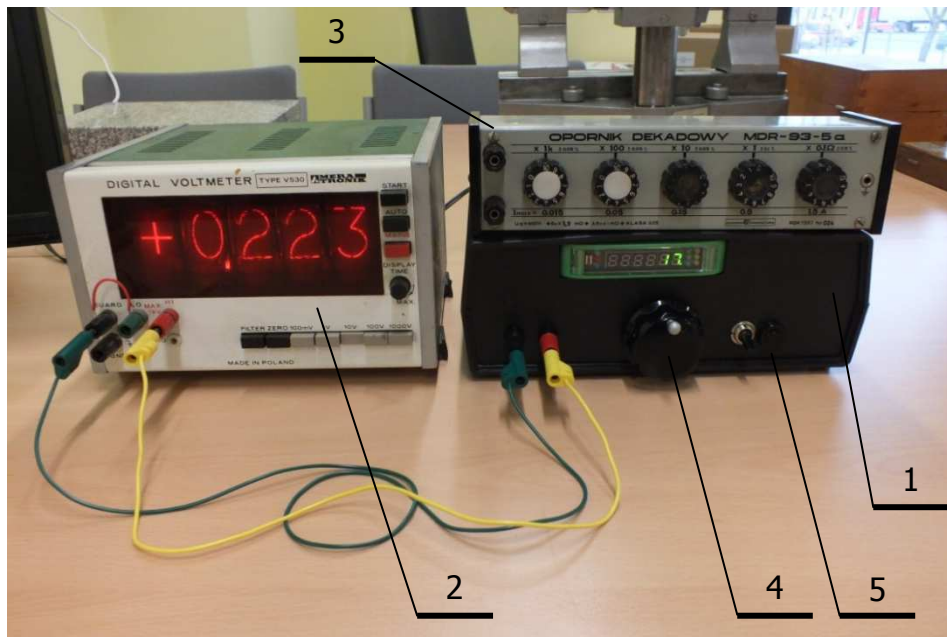
4. OPIS STANOWISKA

W skład stanowiska do wyznaczania charakterystyki statycznej potencjometrycznego przetwornika kąta wchodzi (rys.1):

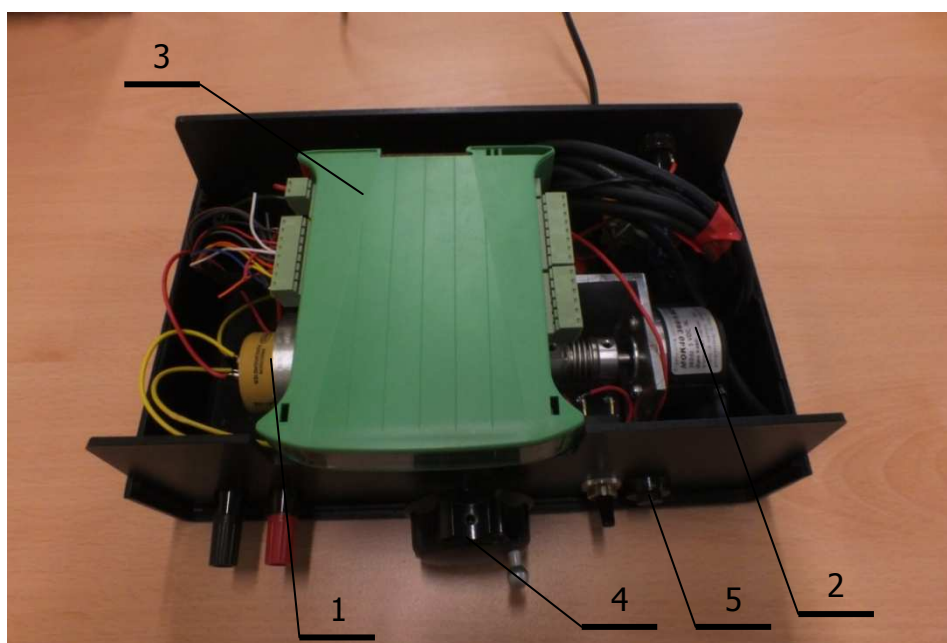
1. Zadajnik kąta (1),
2. Woltomierz V530 (2),
3. Opornik dekadowy MDR-93-5a (3) do zadawania obciążenia w Ω .

Zadajnik kąta (rys.2) jest zbudowany z następujących elementów:

1. Potencjometryczny przetwornik kąta (1),
2. Optoelektroniczny przetwornik obrotowo-impulsowy MOK 40 (2),
3. Wskaźnik kąta CP-020 (3), współpracujący z przetwornikiem obrotowo-impulsowym (2),



Rys.1 Stanowisko do wyznaczania charakterystyki statycznej nieobciążonego potencjometrycznego przetwornika kąta



Rys.2 Zadajnik kąta

5. ZADANIA DO WYKONANIA

ZADANIE 1.1. Wyznaczenie charakterystyki statycznej przetwornika nieobciążonego (zależność napięcia y od przemieszczenia kąowego x potencjometrycznego przetwornika kąta)

Czynności:

- sprawdzić poprawność połączeń (rys.1),
- włączyć zasilanie zadajnika kąta oraz woltomierza,
- określone przez prowadzącego zakres pomiarowy z_p ($\leq 350^\circ$) oraz krok próbkowania k wpisać w odpowiednie miejsce w sprawozdaniu,

- d) obrócić pokrętkę (4) do pozycji, w której wskazanie woltomierza ma wartość 0,000 V,
- e) nacisnąć przycisk (5) resetujący wskazanie wskaźnika kąta CP-020,
- f) przyjęcie współrzędnych pierwszego punktu pomiarowego $x_1 = 0^\circ$, $y_1 = 0,000$ V i wpisanie ich do tablicy 1 (kolumny 1 i 2).

ZADANIE 1.2. Obliczenie współrzędnych charakterystyki statycznej w stanie nie-obciążonym

Czynności:

- a) obracać pokrętkę (4) o zadany kąt wynikający z przyjętego zakresu pomiarowego z_p oraz kroku k , odczytać wskazania woltomierza odpowiadające kolejnym punktom pomiarowym $y_{i \rightarrow}$,
- b) wpisać do tablicy 1 wartości współrzędnych kolejnych punktów (kolumna 1 i 2),
- c) powtórzyć czynności z pkt. a) i b) aż do uzyskania wskazania wskaźnika kąta CP-020 odpowiadającego przyjętemu zakresowi pomiarowemu z_{pr} ,
- d) obracając pokrętkę (4) powtórzyć pomiary dla malejących wartości $y_{i \leftarrow}$, aż do $x_1 = 0^\circ$. 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 napięcia $y_{i \text{ sr}}$ (wzór 1.2) odpowiadającym i-tym położeniom kątowym x_i (kolumna 5),

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

- kwadratów x_i^2 odpowiadającym i-tym położeniom kątowym x_i (kolumna 8),
 - iloczynów wartości kąta x_i oraz napięcia $y_{i \text{ sr}}$ (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),

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

- h) obliczyć średnią wartość Z_{sr} dla 5-ciu punktów początkowych (wzór 1.4),

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

- i) wyznaczyć liniowy zakres przetwarzania,

UWAGA: Do dalszych obliczeń przyjmujemy wartości sygnału wejściowego x_i oraz sygnału wyjściowego $y_{i \text{ sr}}$, dla których spełniona jest zależność $Z_i \leq 1,2 \cdot Z_{\text{sr}}$.

ZADANIE 1.3. Wyznaczenie funkcji linearyzującej wyniki pomiarów w stanie nieobciążonym

Czynności:

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

$$a_{0(\text{MNK})} = 0 \quad (1.5)$$

$$a_{1(\text{MNK})} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_{i\text{śr}}}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1.6)$$

UWAGA: Obliczenie współczynnika równania (1.6) można przeprowadzić za pomocą programu EXCEL wykonując wykres dla zbioru $x_i, y_{i\text{śr}}$, a następnie wyznaczając równanie linii trendu z zaczepieniem w punkcie (0,0).

- zapisać wzór statycznej funkcji przetwarzania $y_{(\text{MNK})}$,
- dla kolejnych wartości x_i obliczyć wartości rzędnych funkcji przetwarzania $y_{i(\text{MNK})}$ (Tablica 1, kolumna 6),
- obliczyć różnice Δy_i (wzór 1.7) i wpisać do tablicy 1 (kolumna 7).

$$\Delta y_i = y_{i\text{śr}} - y_{i(\text{MNK})} \quad (1.7)$$

ZADANIE 1.4. Obliczenie błędów i parametrów metrologicznych przetwornika w stanie nieobciążonym

Czynności:

- obliczyć maksymalny błąd nieliniowości $\delta_{l(\text{MNK})\text{max}}$ (wzór 1.8),

$$\delta_{l(\text{MNK})\text{max}} = \frac{|\Delta y_i|_{\text{max}}}{y_{i\text{śr max}} - y_{i\text{śr min}}} \cdot 100\% \quad (1.8)$$

gdzie:

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

$y_{i\text{śr max}}$ – maksymalna wartość zakresy pomiarowego,

$y_{i\text{śr min}}$ – minimalna wartość zakresu pomiarowego.

- obliczyć błąd histerezy δ_h (wzór 1.9),

$$\delta_h = \frac{|y_{i\rightarrow} - y_{i\leftarrow}|_{\text{max}}}{y_{i\text{śr max}} - y_{i\text{śr min}}} \cdot 100\% \quad (1.9)$$

gdzie:

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

$y_{i\text{śr max}}$ – maksymalna wartość zakresy pomiarowego,

$y_{i\text{śr min}}$ – minimalna wartość zakresu pomiarowego.

c) obliczyć czułość przetwornika S (wzór 2.0),

$$S = \frac{dy}{dx} = a_{1(\text{MNK})} \quad (2.0)$$

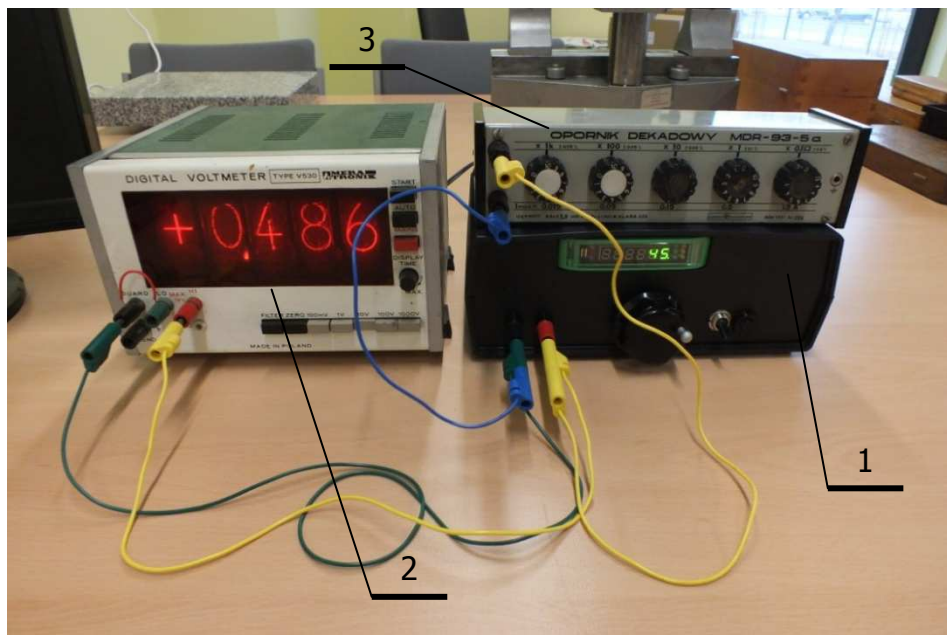
d) obliczone błędy $\delta_{l(\text{MNK})_{\text{max}}}$, δ_h oraz parametry metrologiczne przetwornika S wpisać do sprawozdania.

ZADANIE 1.5. Interpretacja graficzna

Czynności:

- Narysować charakterystykę statyczną $y = f(x)$ potencjometrycznego przetwornika kąta w stanie nieobciążonym.
- Narysować wykres odchyłeń od prostej regresji $\Delta y_i = f(x)$.

ZADANIE 2.1. Wyznaczenie charakterystyki statycznej przetwornika obciążonego rezystancją R



Rys.3 Stanowisko do wyznaczenia charakterystyki statycznej potencjometrycznego przetwornika kąta obciążonego rezystancją R

Czynności:

- połączyć zadajnik kąta (1) z opornikiem dekadowym MDR-93-5a (3) według schematu (rys.3),
- ustawić za pomocą odpowiednich pokręteł opornika dekadowego (3) wskazane przez prowadzącego obciążenie rezystancją R ,
- wartość rezystancji zapisać w sprawozdaniu,
- obrót pokręteł (4) do pozycji, w której wskazanie woltomierza ma wartość 0,000 V,
- naciśnąć przycisk (5) resetujący wskazanie wskaźnika kąta CP-020,
- przyjęcie współrzędnych pierwszego punktu pomiarowego $x_1 = 0^\circ$, $y_1 = 0,000$ V i wpisanie ich do tablicy 1 (kolumny 1 i 2).

ZADANIE 2.2. Obliczenie współrzędnych charakterystyki statycznej w stanie obciążonym

Czynności:

- powtórzyć czynności z **ZADANIA 1.2** pkt. a) do f),
- otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do tablicy 3 (kolumny 1, 2, 3, 4, 5, 8 i 9).
- powtórzyć czynności z **ZADANIA 1.2** pkt. g),
- otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do tablicy 3 (kolumny 10),
- powtórzyć czynności z **ZADANIA 1.2** pkt. h) oraz i),

UWAGA: Do dalszych obliczeń przyjmujemy wartości sygnału wejściowego x_i oraz sygnału wyjściowego $y_{i\ \acute{s}r}$ dla których spełniona jest zależność $Z_i \leq 1,2 \cdot Z_{\acute{s}r}$.

ZADANIE 2.3. Wyznaczenie funkcji linearyzującej wyniki pomiarów metodą najmniejszych kwadratów w stanie obciążonym

Czynności:

- korzystając z wartości x_i oraz $y_{i\ \acute{s}r}$ uzyskany dla przetwornika w stanie obciążonym wypełnić tablicę 4 sprawozdania,
- powtórzyć czynności z **ZADANIA 1.3** pkt. b) do e),
- otrzymane wyniki obliczeń wpisać do tablicy 3 (kolumna 6 i 7).

ZADANIE 2.4. Obliczenie błędów i parametrów metrologicznych przetwornika w stanie obciążonym

Czynności:

- powtórzyć czynności z **ZADANIA 1.4** pkt. a) do c)
- obliczone błędy $\delta_{l\ (MNK)_{max}}$, δ_h oraz parametry metrologiczne przetwornika S wpisać do sprawozdania.

ZADANIE 2.5. Interpretacja graficzna

Czynności:

- Narysować charakterystykę statyczną $y = f(x)$ potencjometrycznego przetwornika kąta w stanie obciążonym rezystancją R .
- Narysować wykres odchyłań 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 nieobciążonego

zakres pomiarowy $z_p = 350$

krok próbkowania $k = 7^\circ$

ZADANIE 1.2. Obliczenie współrzędnych charakterystyki statycznej w stanie nieobciążonym

Tablica 1. Wyniki pomiarów i obliczeń współrzędnych charakterystyki statycznej

Lp.	x_i [°]	$y_i \rightarrow$ [V]	$y_i \leftarrow$ [V]	Δh_i [V]	$y_i \text{ śr}$ [V]	y_i (MNK) [V]	Δy_i [V]	x_i^2	$x_i \cdot y_i \text{ śr}$	Z_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,014
2	7	0,095	0,097	0,002	0,096	0,095	0,001	49	0,672	0,014
3	14	0,191	0,196	0,005	0,193	0,191	0,003	196	2,709	0,014
4	21	0,285	0,295	0,010	0,290	0,286	0,004	441	6,090	0,014
5	28	0,380	0,389	0,009	0,384	0,382	0,003	784	10,766	0,014
6	35	0,477	0,486	0,009	0,481	0,477	0,005	1225	16,853	0,014
7	42	0,576	0,584	0,008	0,580	0,572	0,008	1764	24,360	0,014
8	49	0,671	0,678	0,007	0,674	0,668	0,007	2401	33,051	0,013
9	56	0,764	0,773	0,009	0,768	0,763	0,005	3136	43,036	0,014
10	63	0,862	0,872	0,010	0,867	0,858	0,009	3969	54,621	0,014
11	70	0,957	0,967	0,010	0,962	0,954	0,008	4900	67,340	0,014
12	77	1,053	1,065	0,012	1,059	1,049	0,010	5929	81,543	0,014
13	84	1,148	1,160	0,012	1,154	1,145	0,009	7056	96,936	0,014
14	91	1,243	1,255	0,012	1,249	1,240	0,009	8281	113,636	0,014
15	98	1,338	1,350	0,012	1,344	1,335	0,008	9604	131,688	0,013
16	105	1,430	1,445	0,015	1,437	1,431	0,007	11025	150,911	0,014
17	112	1,525	1,540	0,015	1,532	1,526	0,006	12544	171,612	0,014
18	119	1,620	1,635	0,015	1,627	1,621	0,006	14161	193,643	0,014
19	126	1,716	1,730	0,014	1,723	1,717	0,006	15876	217,067	0,014
20	133	1,811	1,825	0,014	1,818	1,812	0,006	17689	241,761	0,013
21	140	1,904	1,920	0,016	1,912	1,908	0,004	19600	267,645	0,014
22	147	1,999	2,015	0,016	2,007	2,003	0,004	21609	294,992	0,014

Tablica 1. cd.

Lp.	x_i [°]	$y_{i \rightarrow}$ [V]	$y_{i \leftarrow}$ [V]	Δh_i [V]	$y_{i \text{ sr}}$ [V]	y_i (MNK) [V]	Δy_i [V]	x_i^2	$x_i \cdot y_{i \text{ sr}}$	Z_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	154	2,097	2,110	0,013	2,103	2,098	0,005	23716	323,901	0,014
24	161	2,192	2,205	0,013	2,198	2,194	0,005	25921	353,918	0,013
25	168	2,282	2,300	0,018	2,291	2,289	0,002	28224	384,846	0,014
26	175	2,378	2,395	0,017	2,386	2,384	0,002	30625	417,594	0,014
27	182	2,477	2,490	0,013	2,483	2,480	0,003	33124	451,952	0,013
28	189	2,566	2,581	0,015	2,573	2,575	-0,002	35721	486,344	0,014
29	196	2,666	2,676	0,010	2,671	2,671	0,000	38416	523,467	0,014
30	203	2,761	2,771	0,010	2,766	2,766	0,000	41209	561,447	0,014
31	210	2,856	2,866	0,010	2,861	2,861	0,000	44100	600,758	0,014
32	217	2,950	2,961	0,011	2,955	2,957	-0,001	47089	641,289	0,014
33	224	3,045	3,056	0,011	3,050	3,052	-0,002	50176	683,256	0,014
34	231	3,140	3,151	0,011	3,145	3,147	-0,002	53361	726,553	0,014
35	238	3,237	3,246	0,009	3,241	3,243	-0,001	56644	771,418	0,014
36	245	3,332	3,341	0,009	3,336	3,338	-0,002	60025	817,381	0,014
37	252	3,427	3,436	0,009	3,431	3,434	-0,002	63504	864,675	0,014
38	259	3,525	3,531	0,006	3,528	3,529	-0,001	67081	913,687	0,014
39	266	3,620	3,626	0,006	3,623	3,624	-0,001	70756	963,652	0,014
40	273	3,715	3,721	0,006	3,718	3,720	-0,002	74529	1014,946	0,014
41	280	3,814	3,816	0,002	3,815	3,815	0,000	78400	1068,130	0,014
42	287	3,909	3,911	0,002	3,910	3,910	-0,001	82369	1122,098	0,014
43	294	4,004	4,006	0,003	4,005	4,006	-0,001	86436	1177,397	0,014
44	301	4,099	4,101	0,003	4,100	4,101	-0,001	90601	1234,025	0,013
45	308	4,192	4,196	0,005	4,194	4,197	-0,003	94864	1291,675	0,014
46	315	4,287	4,291	0,005	4,289	4,292	-0,003	99225	1350,956	0,014
47	322	4,382	4,386	0,005	4,384	4,387	-0,003	103684	1411,568	0,014
48	329	4,478	4,481	0,003	4,479	4,483	-0,003	108241	1473,673	0,014
49	336	4,577	4,576	0,001	4,576	4,578	-0,002	112896	1537,620	0,013
50	343	4,668	4,671	0,003	4,669	4,673	-0,004	117649	1601,553	0,013
51	350	4,763	4,763	0,000	4,763	4,769	-0,006	122500	1666,963	0,000

$$Z_{\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^5 Z_i}{5} = 0,014$$

$$1,2 \cdot Z_{\text{sr}} = 0,017$$

ZADANIE 1.3. Wyznaczenie funkcji linearyzującej wyniki pomiarów w stanie nieobciążonym

- Metoda najmniejszych kwadratów (MNK) – z przecięciem w punkcie (0,0)

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	8925	121,702	2103325	28657,669

- Wartości współczynników:

$$a_{0(\text{MNK})} = 0$$

$$a_{1(\text{MNK})} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \text{ śr}}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,013625$$

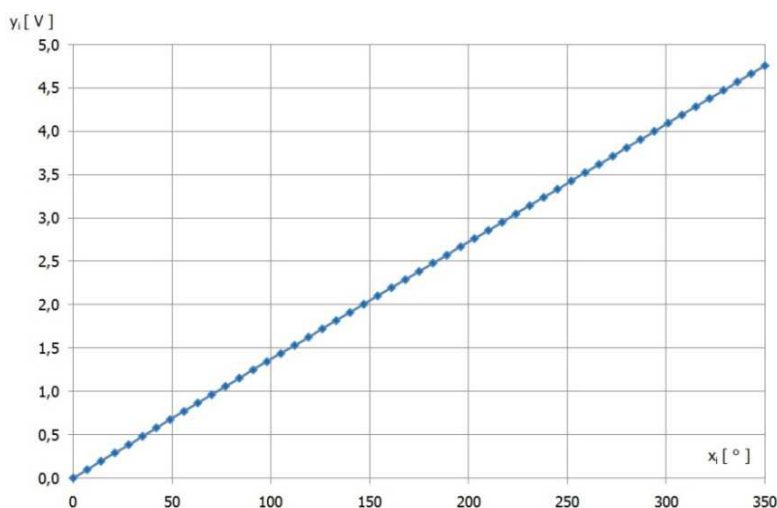
- Statyczna funkcja przetwarzania

$$y_{(\text{MNK})} = a_{0(\text{MNK})} + a_{1(\text{MNK})} \cdot x_i = 0,013625 \cdot x_i$$

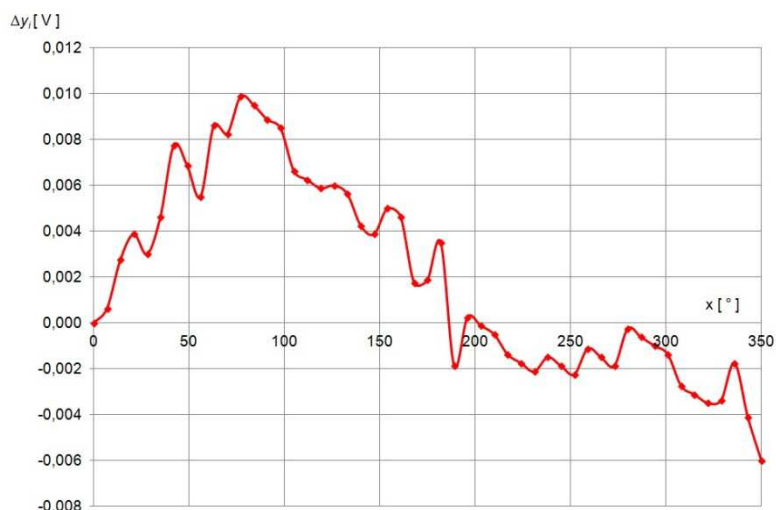
ZADANIE 1.4. Obliczenie błędów i parametrów metrologicznych przetwornika w stanie nieobciążonym

- błąd nieliniowości $\delta_{l(\text{MNK})\text{max}} = \delta_{l(\text{MNK})\text{max}} = \frac{|\Delta y_i|_{\text{max}}}{y_{i \text{ śr max}} - y_{i \text{ śr min}}} \cdot 100\% = 0,2\%$
- błąd histerezy $\delta_h = \delta_h = \frac{|y_i \rightarrow - y_i \leftarrow|_{\text{max}}}{y_{i \text{ śr max}} - y_{i \text{ śr min}}} \cdot 100\% = 0,4\%$
- czułość przetwornika $S = a_{1(\text{MNK})} = 0,014$

ZADANIE 1.5. Interpretacja graficzna



Rys.1.4. Charakterystyka statyczna $y = f(x)$ potencjometrycznego przetwornika kąta w stanie nieobciążonym



Rys.1.5. Wykres odchyleń od prostej regresji $\Delta y_i = f(x)$

ZADANIE 2.1. Wyznaczenie charakterystyki statycznej przetwornika obciążonego rezystancją R

$R = 19 \text{ k}\Omega$

ZADANIE 2.2. Obliczenie współrzędnych charakterystyki statycznej w stanie obciążonym

Tablica 3. Wyniki pomiarów i obliczeń współrzędnych charakterystyki statycznej

Lp.	x_i [°]	$y_{i \rightarrow}$ [V]	$y_{i \leftarrow}$ [V]	Δh_i [V]	$y_{i \text{ sr}}$ [V]	$y_{i \text{ (MNK)}}$ [V]	Δy_i [V]	x_i^2	$x_i \cdot y_{i \text{ sr}}$	Z_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,007
2	7	0,054	0,050	0,004	0,052	0,073	-0,021	49	0,364	0,013
3	14	0,140	0,146	0,006	0,143	0,147	-0,004	196	2,002	0,013
4	21	0,235	0,233	0,002	0,234	0,220	0,014	441	4,914	0,012
5	28	0,318	0,316	0,002	0,317	0,293	0,024	784	8,876	0,011
6	35	0,396	0,398	0,002	0,397	0,366	0,031	1225	13,895	0,012
7	42	0,476	0,479	0,003	0,478	0,440	0,038	1764	20,055	0,011
8	49	0,551	0,553	0,002	0,552	0,513	0,039	2401	27,048	0,011
9	56	0,627	0,632	0,005	0,630	0,586	0,043	3136	35,252	0,010
10	63	0,700	0,700	0,000	0,700	0,660	0,040	3969	44,100	0,011
11	70	0,771	0,778	0,007	0,775	0,733	0,042	4900	54,215	0,010
12	77	0,843	0,849	0,006	0,846	0,806	0,040	5929	65,142	0,010
13	84	0,916	0,919	0,003	0,918	0,879	0,038	7056	77,070	0,009
14	91	0,980	0,987	0,007	0,984	0,953	0,031	8281	89,499	0,010
15	98	1,050	1,054	0,004	1,052	1,026	0,026	9604	103,096	0,010
16	105	1,114	1,124	0,010	1,119	1,099	0,020	11025	117,495	0,009
17	112	1,182	1,185	0,003	1,184	1,173	0,011	12544	132,552	0,010
18	119	1,250	1,252	0,002	1,251	1,246	0,005	14161	148,869	0,010
19	126	1,317	1,326	0,009	1,322	1,319	0,002	15876	166,509	0,010

Tablica 3 cd.

Lp.	x_i [°]	$y_{i \rightarrow}$ [V]	$y_{i \leftarrow}$ [V]	Δh_i [V]	$y_{i \text{ sr}}$ [V]	y_i (MNK) [V]	Δy_i [V]	x_i^2	$x_i \cdot y_{i \text{ sr}}$	Z_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	133	1,385	1,394	0,009	1,390	1,392	-0,003	17689	184,804	0,009
21	140	1,450	1,461	0,011	1,456	1,466	-0,010	19600	203,770	0,009
22	147	1,521	1,520	0,001	1,521	1,539	-0,018	21609	223,514	0,010
23	154	1,588	1,591	0,003	1,590	1,612	-0,023	23716	244,783	0,010
24	161	1,655	1,664	0,009	1,660	1,686	-0,026	25921	267,180	0,010
25	168	1,730	1,732	0,002	1,731	1,759	-0,028	28224	290,808	0,010
26	175	1,795	1,807	0,012	1,801	1,832	-0,031	30625	315,175	0,010
27	182	1,870	1,877	0,007	1,874	1,905	-0,032	33124	340,977	0,010
28	189	1,944	1,947	0,003	1,946	1,979	-0,033	35721	367,700	0,011
29	196	2,018	2,030	0,012	2,024	2,052	-0,028	38416	396,704	0,011
30	203	2,096	2,105	0,009	2,101	2,125	-0,025	41209	426,402	0,011
31	210	2,173	2,188	0,015	2,181	2,198	-0,018	44100	457,905	0,011
32	217	2,256	2,264	0,008	2,260	2,272	-0,012	47089	490,420	0,012
33	224	2,341	2,352	0,011	2,347	2,345	0,001	50176	525,616	0,012
34	231	2,430	2,433	0,003	2,432	2,418	0,013	53361	561,677	0,013
35	238	2,520	2,522	0,002	2,521	2,492	0,029	56644	599,998	0,013
36	245	2,610	2,617	0,007	2,614	2,565	0,049	60025	640,308	0,013
37	252	2,704	2,705	0,001	2,705	2,638	0,066	63504	681,534	0,015
38	259	2,806	2,808	0,002	2,807	2,711	0,096	67081	727,013	0,016
39	266	2,921	2,911	0,010	2,916	2,785	0,131	70756	775,656	0,015
40	273	3,017	3,022	0,005	3,020	2,858	0,161	74529	824,324	0,017
41	280	3,136	3,146	0,010	3,141	2,931	0,210	78400	879,480	0,017
42	287	3,252	3,263	0,011	3,258	3,005	0,253	82369	934,903	0,018
43	294	3,381	3,384	0,003	3,383	3,078	0,305	86436	994,455	0,019
44	301	3,515	3,518	0,003	3,517	3,151	0,365	90601	1058,467	0,020
45	308	3,653	3,666	0,013	3,660	3,224	0,435	94864	1127,126	0,021
46	315	3,799	3,815	0,016	3,807	3,298	0,509	99225	1199,205	0,021
47	322	3,954	3,950	0,004	3,952	3,371	0,581	103684	1272,544	0,023
48	329	4,115	4,117	0,002	4,116	3,444	0,672	108241	1354,164	0,026
49	336	4,294	4,301	0,007	4,298	3,518	0,780	112896	1443,960	0,026
50	343	4,484	4,479	0,005	4,482	3,591	0,891	117649	1537,155	0,030
51	350	4,690	4,690	0,000	4,690	3,664	1,026	122500	1641,500	0,000

$$Z_{\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^5 Z_i}{5} = 0,011$$

$$1,2 \cdot Z_{\text{sr}} = 0,013$$

ZADANIE 2.3. Wyznaczenie funkcji linearyzującej wyniki pomiarów metodą najmniejszych kwadratów w stanie obciążonym

- Metoda najmniejszych kwadratów (MNK) – z przecięciem w punkcie (0,0)

Tablica 4. Wyniki obliczeń pomocniczych (MNK)

n	$\sum x_i$	$\sum y_{i \text{ } \acute{s}r}$	$\sum x_i^2$	$\sum x_i y_{i \text{ } \acute{s}r}$
36	4410	46,394	730590	7648,690

- Wartości współczynników:

$$a_{0(\text{MNK})} = 0$$

$$a_{1(\text{MNK})} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_{i \text{ } \acute{s}r}}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = 0,010469$$

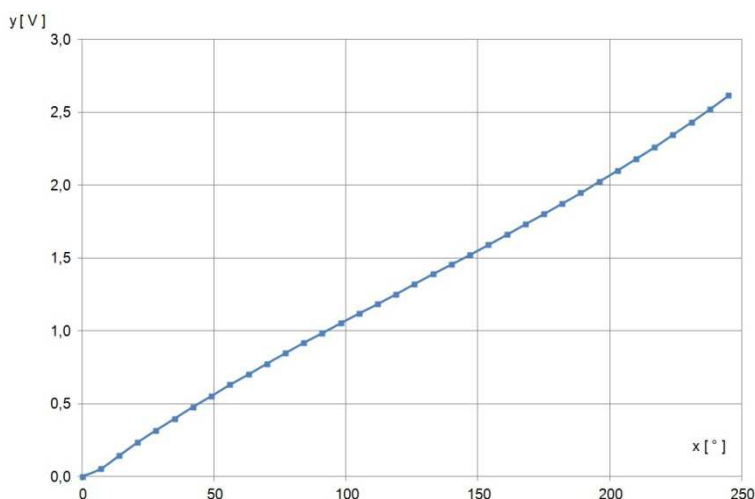
- Statyczna funkcja przetwarzania

$$y_{(\text{MNK})} = a_{0(\text{MNK})} + a_{1(\text{MNK})} \cdot x_i = 0,010469 \cdot x_i$$

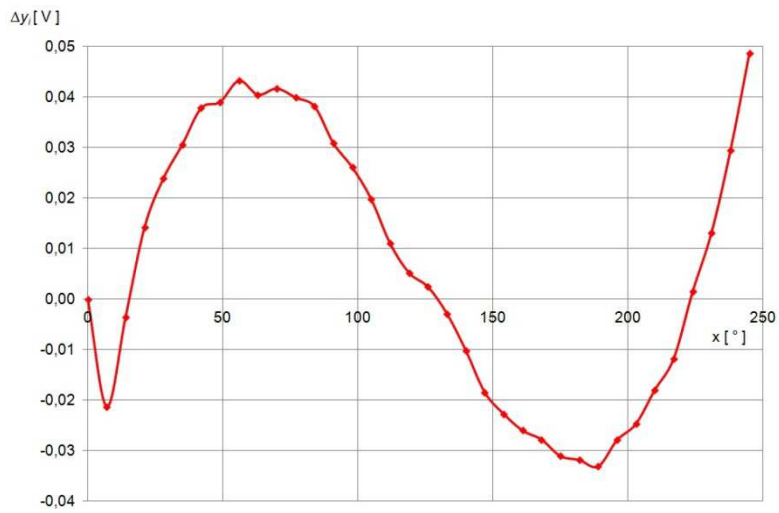
ZADANIE 2.4. Obliczenie błędów i parametrów metrologicznych przetwornika w stanie obciążonym

- błąd nieliniowości $\delta_{l(\text{MNK})\text{max}} = \delta_{l(\text{MNK})\text{max}} = \frac{|\Delta y_i|_{\text{max}}}{y_{i \text{ } \acute{s}r \text{ max}} - y_{i \text{ } \acute{s}r \text{ min}}} \cdot 100\% = 1,9\%$
- błąd histerezy $\delta_h = \delta_h = \frac{|y_i \rightarrow - y_i \leftarrow|_{\text{max}}}{y_{i \text{ } \acute{s}r \text{ max}} - y_{i \text{ } \acute{s}r \text{ min}}} \cdot 100\% = 0,6\%$
- czułość przetwornika $S_{(\text{MNK})} = a_{1(\text{MNK})} = 0,010$

ZADANIE 2.5. Interpretacja graficzna



Rys.2.1. Charakterystyka statyczna $y = f(x)$ potencjometrycznego przetwornika kąta w stanie obciążonym



Rys.2.2. Wykres odchyień od prostej regresji $\Delta y_i = f(x)$

Wnioski

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....