

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW  
MERA-PIAP  
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

074 Ośrodek Automatyki Elektrycznej

A

Zespół Budowy Robotów i Serwomechanizmów

Główny wykonawca mgr inż. Marian Wrzesień  
Wykonawcy mgr inż. Janusz Marszałek  
mgr inż. Jacek Rogoziński  
techn. Mirosław Woźny

Konsultant

Nr zlecenia U-22.04.13. [Opracowanie i badania eksploatacyjne układu sterowania ciągnika TD-25c z wykorzystaniem techniki laserowej oraz przygotowanie do produkcji ciągnika TD-25c wyposażonego w układ sterowania laserowego UL-4 i określenie zapotrzebowania na takie ciągniki.  
Etap 12: Adaptacja rozwiązania MERA-PIAP do celów produkcyjnych.  
Opracowanie czujnika skrętu lemiesza.]

Zleceniodawca Plan koordynacyjny - problem węzłowy 06.1

Pracę rozpoczęto dnia 1.06.1981

zakończono dnia 31.03.1982

Kierownik Zespołu

Kierownik Ośrodka

p-o z-cy dyr.d/s Autom.

dr inż. P. Jabłoński

prof. dr inż. T. Missala

dr inż. T. Gałazka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 8.

Egz. 1 BOINTE

rysunków 4

Egz. 2 OBRMZiT KP HSW

fotografii -

Egz. 3 OAE

tabel 2

Egz. 4

tablic 2

Egz. 5

załączników -

Egz. 6

Nr rejestr. 4805

## Analiza deskryptorowa

URZĄDZENIA AUTOMATYCZNEJ REGULACJI I STEROWANIA : DOKUMENTACJA TECHNICZNA  
ZESPOŁY MECHANICZNE

## Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera dokumentację techniczną czujnika skrętu lemiesza ciągnika TD-25c oraz opis i wyniki laboratoryjnych badań funkcjonalnych

Tytuły poprzednich sprawozdań.

1. Rozeznanie możliwości zastosowania sterowania z wykorzystaniem promienia laserowego jako odniesienia /spr.nr rej.1690/
2. Opracowanie projektu modelu użytkowego laserowego układu sterowania pracą ciągnika TD-25c /spr.nr rej.1855/
3. Wykonanie modelu użytkowego. Opracowanie wytycznych do zabudowy modelu na ciągniku TD-25c. Badania laboratoryjne modelu oraz przekazanie modelu Hucie Stalowa Wola. Opracowanie programu prób i badań modelu użytkowego w ciągniku TD-25c /spr.nr rej.1953/
4. Zabudowa modelu na ciągniku TD-25c. Badania eksploatacyjne modelu /spr nr rej.2011/
5. Weryfikacja dokumentacji i zmiany w modelu użytkowym laserowego urządzenia sterującego oraz przeprowadzenie badań w MERA-PIAP i OBRMZiT/spr.nr rej. 2152/
6. Sprawdzenie możliwości realizacji zmodyfikowanej koncepcji rozwiązania hydraulicznej części modelu /spr.nr rej.2353/
7. Opracowanie, wykonanie i uruchomienie modelu użytkowego detektora promieniowania laserowego dostosowanego do odbioru światła o małej i dużej rozbieżności wiązki /spr.nr rej.2435/
8. Przeprowadzenie badań modelu wykonanego w etapie 5d z laserowym urządzeniem sterującym zamontowanym na ciągniku TD-25c; 1/ z laserem firmy Micro Grade USA/mała rozbieżność wiązki//spr.nr rej.2465/
9. Wykonanie układu napędu pompy, montaż układu na ciągniku i uruchomienie całości, badania długotrwałe ciągnika z układem laserowym mające na celu sprawdzenie funkcjonalności w terenie i określenie wstępnych instrukcji przy niwelowaniu terenu, ocena pracy układu pod kątem stosowania przez użytkownika i podjęcie decyzji dotyczącej wykonania dokumentacji do prototypu. Dokumentacja techniczna do prototypu laserowego urządzenia sterującego.
10. Projekt Normy Zakładowej urządzenia UL-4 /spr.nr rej.2654/
11. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa urządzenia UL-4 /spr.nr rej.2673/
12. Badania czystości patentowej teren PRL /spr.nr rej.2660/
13. Nadzór autorski nad wykonaniem prototypów laserowych urządzeń sterujących
14. Opracowanie i badania eksploatacyjne układu sterowania ciągnika TD-25c z wykorzystaniem techniki laserowej oraz przygotowanie do produkcji ciągnika TD-25c wyposażonego w układ sterowania laserowego UL-4 i określenie zapotrzebowania na te ciągniki.  
Wstępne badania eksploatacyjne prototypów laserowych urządzeń sterujących /spr.nr rej.2998/

## Spis treści

|  |   |
|--|---|
| Wstęp  | 2 |
| 1. Opis konstrukcji czujnika skrętu UL-SL  | 3 |
| 2. Laboratoryjne badania funkcjonalne czujnika skrętu lemiesza                                 | 3 |
| 2.1. Wyznaczenie charakterystyki statycznej  | 4 |
| 2.2. Wyznaczenie charakterystyki statycznej przy skokowym wprowadzaniu kąta skręcenia lemiesza | 6 |
| 3. Wyniki badań  | 7 |
| Wnioski  | 8 |

## Wstęp

W etapie 12 zlecenia U-22.04.13 prowadzono adaptację rozwiązania laserowego urządzenia sterującego do celów produkcyjnych. W ramach nn. etapu, w PIAPie opracowano i wykonano czujnik skrętu lemiesza UL-SL /dokumentacja techn. oraz model użytkowy/. Czujnik skrętu lemiesza został opracowany po podjęciu decyzji przez OBRMZiT KP HSW o zastosowaniu - do sterowania ciągnika gąsienicowego z lemieszem-laserowego urządzenia sterującego UL-5 w miejsce pierwotnie stosowanego UL-4.

Urządzenie UL-4 posiada dwa detektory promieniowania umieszczone na krańcach lemiesza. Dzięki takiemu rozmieszczeniu detektorów zapewniona była kontrola położenia lemiesza tj. wysokości oraz skrętu w stosunku do laserowej płaszczyzny odniesienia. Jednakże urządzenie UL-4 nie zapewniało dostatecznej szybkości działania układu regulacji. Wynikało to z przyjętego systemu sterowania impulsowego, w którym, w chwilach próbkowania, korekcji podlegał albo błąd położenia lemiesza w pionie, albo błąd skrętu lemiesza.

Po zastosowaniu urządzenia UL-5 /jeden detektor umieszczony na środku lemiesza/ uzyskano większą szybkość regulacji, lecz jednocześnie ograniczono sterowanie lemieszem do utrzymywania zadanej wysokości prowadzenia środka lemiesza, pozostawiając utrzymywanie odpowiedniego skrętu lemiesza operatorowi.

Opracowany czujnik skrętu lemiesza UL-SL ma stanowić układ pomiarowy określający przekroczenie skrętu lemiesza ponad wartość dopuszczalną i tym samym wyeliminować subiektywną ocenę wartości skrętu lemiesza dokonywaną przez operatora.

Należy podkreślić, że czujnik skrętu lemiesza stanowi wyposażenie dodatkowe laserowego urządzenia sterującego ciągnikiem, a obecnie wykonany model użytkowy czujnika UL-SL będzie zastosowany do zbadania możliwości usprawnienia pracy operatora ciągnika.

## 1. Opis konstrukcji czujnika skrętu UL-SL

Czujnik skrętu lemiesza /dok. techn. nr arch. **4178** / został skonstruowany na bazie wahadła mechanicznego, dzięki czemu jest możliwy pomiar skrętu lemiesza poprzez pomiar odchylenia wahadła od pionu wyznaczonego przez siły grawitacyjne.

W opracowanej wersji czujnika skrętu lemiesza zastosowano dwa mikrowyłączniki, które są załączane odpowiednio przy przekroczeniu skrętu lemiesza w prawo lub w lewo ponad wartość dopuszczalną.

W czujniku zastosowano tłumik olejowy, którego zadaniem jest eliminowanie nadmiernych drgań własnych wahadła.

## 2. Laboratoryjne badania funkcjonalne czujnika skrętu lemiesza

W czasie wykonywania laboratoryjnych badań funkcjonalnych czujnika skrętu lemiesza dokonano pomiaru charakterystyk statycznych tego czujnika, przyjmując jako argument kąt skręcenia lemiesza i mierząc stan załączenia każdego z dwóch mikrowyłączników. Badania te wykonano dla dwóch przypadków:

i/ zmiana kąta skręcenia lemiesza następowała Quasistatycznie w całym mierzonym zakresie zmian tego kąta.

ii/ poszczególne wartości kąta skręcenia wprowadzano skokowo.

Przy założeniu, że załączenie lewego mikrowyłącznika wytwarza sygnał ujemny  $-A$ , a załączenie prawego mikrowyłącznika wytwarza sygnał dodatni  $+A$ , charakterystyka statyczna czujnika przy quasistatycznej zmianie wartości kąta skręcenia lemiesza będzie zgodna, w przypadku ogólnym, z rys.1.

Badania wg. pkt ii/ mają na celu zbadanie wpływu drgań wahadła przenoszonych z ciągnika - na wskazania czujnika. W przypadku bowiem gdy ruch wahadła jest sinusoidalnie zmienny o wartości średniej równej chwilowemu skręceniu lemiesza oraz gdy amplituda drgań

wahadła nie przekracza wartości strefy histerezy mikrowyłączników strefa histerezy układu pomiarowego dla wartości średniej drgań wahadła zawęża się. W przypadku skrajnym, gdy amplituda drgań jest równa wartości strefy histerezy mikrowyłączników, charakterystyka statyczna przyjmuje kształt jak na rys.2. Jest to przypadek korzystny, gdyż przy odpowiednim zbliżeniu mikrowyłączników do wahadła można zwiększyć czułość czujnika skrętu lemiesza.

Badania wg. pkt.ii/ umożliwiają wyznaczenie charakterystyki statycznej czujnika przy skokowym pojawianiu się skrętu lemiesza.

W czasie badań poligonowych zamierza się przeprowadzić badania czułości w warunkach eksploatacji ciągnika. Maksymalna amplituda drgań wahadła zostanie wtedy ustalona przy pomocy tłumika olejowego.

### 2.1. Wyznaczenie charakterystyki statycznej

W celu wyznaczenia charakterystyki statycznej czujnika należy:

1. Zdjąć obudowę zewnętrzną.
2. Zamocować czujnik na stole pomiarowym posiadającym możliwość regulacji kąta pochylenia w stosunku do poziomu za pomocą śrub nastawczych.
3. Pochylać stół w sposób quasistatyczny imitując skręt lemiesza w lewo.
4. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w chwili załączenia lewego mikrowyłącznika /wysokość tę oznaczono  $L_z$ /
5. Zwiększyć pochylenie do położenia, w którym wychylenie wahadła w lewo jest maksymalne.
6. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu w chwili, gdy wychylenie wahadła jest maksymalne./wysokość tę oznaczono  $L_{gr}$ /
7. Zmniejszać pochylenie stołu pomiarowego.
8. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w poło-

żeniu gdy lewy mikrowyłącznik zostaje wyłączony /wysokość tę oznaczono  $L_w$ /.

9. pochylać stół w sposób quasistatyczny imitując skręt lemiesza w prawo.
10. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w chwili załączenia prawego mikrowyłącznika /wysokość tę oznaczono  $P_z$ /.
11. Zwiększać pochylenie regulowanego końca stołu pomiarowego do położenia przy którym wychylenie wahadła jest maksymalne.
12. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w położeniu wahadła wychylonego maksymalnie w prawo /wysokość tę oznaczono  $P_{gr}$ /.
13. Zmniejszać pochylenie stołu pomiarowego.
14. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w chwili wyłączenia prawego mikrowyłącznika /wysokość tę oznaczono  $P_w$ /.
15. Obliczyć wartości kątów wyznaczających charakterystykę statyczną czujnika, zgodnie z poniższymi wzorami:

$$\alpha_{Lgr} = \arctg \left( \frac{L_{gr} - L_z}{L} \right) \quad \alpha_{Pgr} = \arctg \left( \frac{P_{gr} - L_z}{L} \right)$$

$\alpha_{Lz} = 0$  wartość ta wynika z przyjętego ustalenia.

$$\alpha_{Lw} = \arctg \left( \frac{L_w - L_z}{L} \right)$$

$$\alpha_{Pz} = \arctg \left( \frac{P_z - L_z}{L} \right) \quad \alpha_{Pw} = \arctg \left( \frac{P_w - L_z}{L} \right)$$

przy czym  $L$  oznacza długość stołu pomiarowego.

Uwaga!

Wszystkie pomiary należy wykonać pięciokrotnie, a jako wynik brać wartość średnią.

## 2.2. Wyznaczenie charakterystyki statycznej przy skokowym wprowadzaniu kąta skreńczenia lemieszka

W celu skokowego wprowadzenia kaźdej z wartości skreńtu lemieszka naleźy:

- ustalić połoźenie wahadła tak, aby jego ramię było ustawione współśrodkowo z przepustem, przez który ramię to jest wpuszczane do tłumika hydraulicznego.
- przy dowolnie pochyłonym stole pomiarowym imitującym skreńczenie lemieszka naleźy puścić swobodnie wahadło.

W celu wyznaczenia charakterystyki statycznej czujnika przy skokowym wprowadzaniu kąta skreńczenia lemieszka naleźy:

1. Zdjąć obudowę zewnętrzną.
2. Zamocować czujnik na stole pomiarowym posiadającym możliwość regulacji kąta pochylenia w stosunku do poziomu za pomocą śrub nastawczych.
3. Pochylać stół dokonując skokowego wprowadzania kąta skreńczenia w lewo.
4. Zmierzyć<sup>u</sup> wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w chwili załączenia lewego mikrowyłącznika /wysokość tę oznaczono  $L_{zs}$ /.
5. Zmniejszać pochylenie stołu pomiarowego dokonując skokowego wprowadzania kąta skreńczenia lemieszka.
6. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w chwili wyłączenia lewego mikrowyłącznika /wysokość tę oznaczono  $L_{ws}$ /.
7. Pochylać stół dokonując skokowego wprowadzania kąta skreńczenia lemieszka w prawo.
8. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w chwili załączenia prawego mikrowyłącznika /wysokość tę oznaczono  $P_{zs}$ /.
- 9.



9. Zmniejszać pochylenie stołu pomiarowego dokonując skokowego wprowadzania kąta skręcenia lemiesza.
10. Zmierzyć wysokość regulowanego końca stołu pomiarowego w chwili wyłączenia prawego mikrowyłącznika /wysokość tę oznaczono  $P_{ws}$ /.
11. Obliczyć wartości kątów wyznaczających charakterystykę statyczną przy skokowym wprowadzaniu kąta skręcenia lemiesza zgodnie z poniższymi wzorami:

$\alpha_{Lzs} = 0$  wartość ta wynika z przyjętego ustalenia.

$$\alpha_{Lws} = \arctg \left( \frac{L_{ws} - L_{zs}}{L} \right)$$

$$\alpha_{pzs} = \arctg \left( \frac{P_{zs} - L_{zs}}{L} \right)$$

$$\alpha_{pws} = \arctg \left( \frac{P_{ws} - L_{zs}}{L} \right)$$

“

Uwaga!

Wszystkie pomiary należy wykonać pięciokrotnie, a jako wynik brać wartość średnią.

### 3. Wyniki badań

Zmierzone położenia regulowanego końca stołu pomiarowego oraz obliczone wartości kątów wyznaczających charakterystyki statyczne dla dwóch badanych przypadków umieszczono odpowiednio w tabelach pomiarowych /wartości zmierzone / oraz w tablicach /wartości obliczone/.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że średnia wartość mierzonego przez czujnik kąta odchylenia /skręcenia lemiesza /

rozumiana jako:  $\alpha_{sr} = \frac{\alpha_{pz} - \alpha_{Lz}}{2}$

przy pochylaniu quasistatycznym wynosi:  $\alpha_{\tilde{e}r} = 1^{\circ}14'54''$

natomiast przy skokowym wprowadzaniu kąta skręcenia lemiesza, rozumiana jako  $\alpha_{\tilde{e}r} = \frac{\alpha_{pzs} - \alpha_{Lzs}}{2}$

wynosi  $\alpha_{\tilde{e}r} = 0^{\circ}36'13''$

Charakterystykę statyczną przedstawiono na rys.3, natomiast charakterystykę statyczną otrzymaną przy skokowym wprowadzaniu skręcenia lemiesza przedstawiono na rys.4.

#### Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że charakterystyka statyczna przy quasistatycznej zmianie wartości skrętu lemiesza wykazuje mniejszą czułość niż założona przy projektowaniu  $1^{\circ}$ . Wynika to z faktu występowania w układzie rzeczywistym tarcia suchego, czego skutkiem jest przesunięcie momentu włączania mikrowyłączników.

Jednocześnie próba wykorzystania drgań własnych wahadła do poprawienia czułości układu pomiarowego wykazała, że już przy amplitudzie drgań wahadła powstających przy skokowym wprowadzaniu skrętu lemiesza uzyskuje się czułość  $36'13''$ .

Ostateczną ocenę czułości układu pomiarowego można będzie przeprowadzić na ciągniku TD-25c w czasie prób eksploatacyjnych ciągnika, w czasie których drgania ciągnika będą przenoszone na układ pomiarowy.

W czasie tych prób należy również tak dobrać tłumienie układu tłumiącego czujnika skrętu lemiesza, aby amplituda drgań wahadła nie przekraczała wartości strefy histerezy mikrowyłączników.

tabela pomiarowa 1

|          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | $\bar{S}$ |
|----------|------|------|------|------|------|-----------|
| $L_z$    | 45,1 | 43,2 | 44,8 | 44,5 | 44,2 | 44,3      |
| $L_{gr}$ | 42,2 | 41,8 | 42,2 | 42,3 | 42,6 | 42,2      |
| $L_w$    | 64,3 | 64,6 | 64,3 | 64,7 | 64,5 | 64,4      |
| $P_z$    | 77,3 | 77,5 | 77,2 | 78,1 | 77,4 | 77,5      |
| $P_{gr}$ | 77,3 | 77,5 | 77,2 | 78,1 | 77,4 | 77,5      |
| $P_w$    | 50,5 | 51,0 | 50,8 | 51,2 | 51,3 | 50,9      |

tablica 1

| $\alpha_{Lz}$  | $0^\circ$           | $0^\circ$           | $0^\circ$           | $0^\circ$           | $0^\circ$           | $0^\circ$           |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $\alpha_{Lgr}$ | $-0^\circ 13' 07''$ | $-0^\circ 06' 19''$ | $-0^\circ 11' 45''$ | $-0^\circ 09' 57''$ | $-0^\circ 07' 14''$ | $-0^\circ 09' 40''$ |
| $\alpha_{Lw}$  | $1^\circ 26' 49''$  | $1^\circ 36' 46''$  | $1^\circ 28' 11''$  | $1^\circ 31' 21''$  | $1^\circ 31' 48''$  | $1^\circ 30' 59''$  |
| $\alpha_{Pz}$  | $2^\circ 25' 33''$  | $2^\circ 35' 02''$  | $2^\circ 26' 28''$  | $2^\circ 31' 53''$  | $2^\circ 30' 04''$  | $2^\circ 29' 48''$  |
| $\alpha_{Pgr}$ | $2^\circ 25' 33''$  | $2^\circ 35' 02''$  | $2^\circ 26' 28''$  | $2^\circ 31' 53''$  | $2^\circ 30' 04''$  | $2^\circ 29' 48''$  |
| $\alpha_{Pw}$  | $0^\circ 24' 25''$  | $0^\circ 35' 16''$  | $0^\circ 27' 08''$  | $0^\circ 32' 06''$  | $0^\circ 30' 18''$  | $0^\circ 29' 51''$  |

Tabela pomiarowa 1 oraz tablica 1 odpowiadają quasistatycznej zmianie wartości skrętu lemiesza.

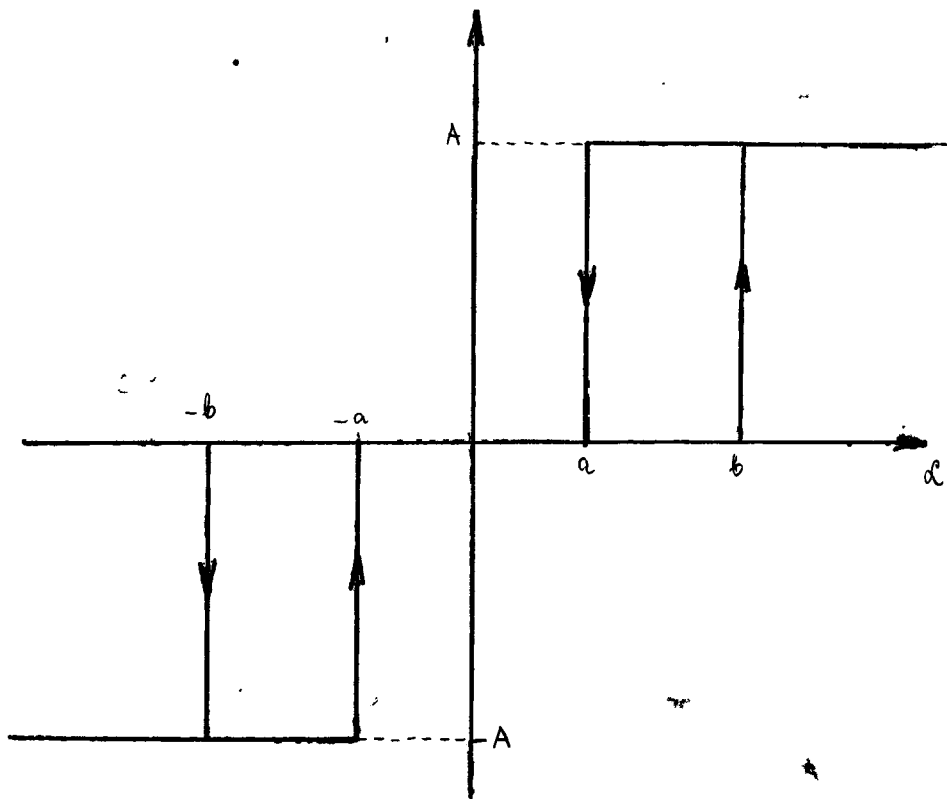
tabela pomiarowa 2

|                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | $\bar{x}$ |
|-----------------|------|------|------|------|------|-----------|
| L <sub>ZS</sub> | 49,2 | 49,5 | 50,3 | 50,2 | 50,0 | 49,8      |
| L <sub>WS</sub> | 56,8 | 56,4 | 56,8 | 56,7 | 56,4 | 56,6      |
| P <sub>ZS</sub> | 66,0 | 65,8 | 65,7 | 66,8 | 65,0 | 65,8      |
| P <sub>WS</sub> | 57,9 | 57,9 | 57,6 | 58,0 | 58,5 | 57,9      |

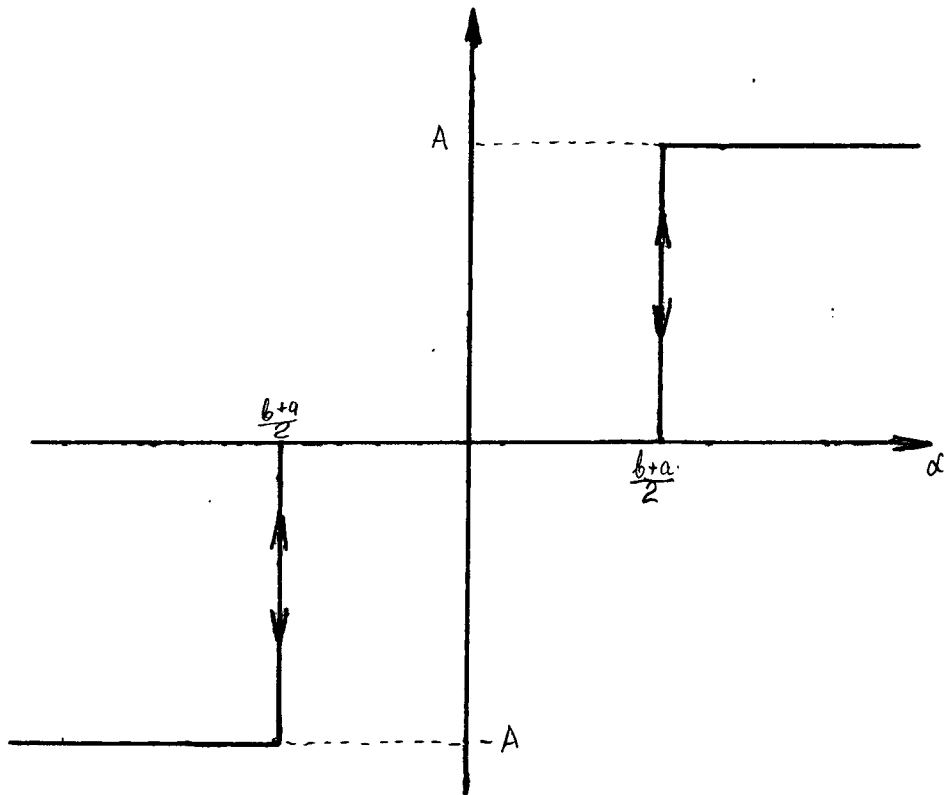
tablica 2

|                 |          |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $\Delta L_{ZS}$ | 0°       | 0°       | 0°       | 0°       | 0°       | 0°       |
| $\Delta L_{WS}$ | 0°34'22" | 0°31'12" | 0°29'24" | 0°29'24" | 0°28'56" | 0°30'40" |
| $\Delta P_{ZS}$ | 1°15'58" | 1°13'43" | 1°09'39" | 1°15'04" | 1°07'50" | 1°12'27" |
| $\Delta P_{WS}$ | 0°39'21" | 0°37'59" | 0°33'01" | 0°39'16" | 0°38'26" | 0°36'49" |

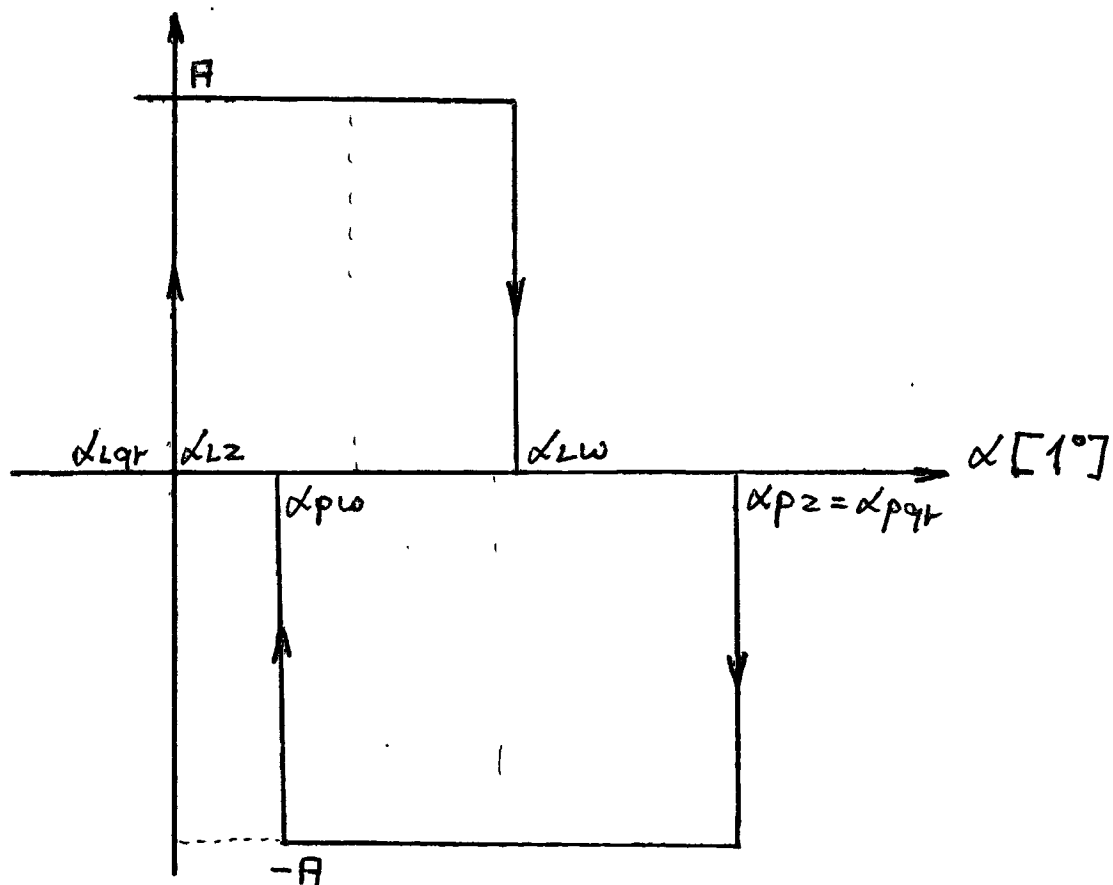
Tabela pomiarowa 2 oraz tablica 2 odpowiadają skokowemu wprowadzaniu wartości skrętu lemiesza.



Rys.1. Charakterystyka teoretyczna czujnika skrętu lemiesza.

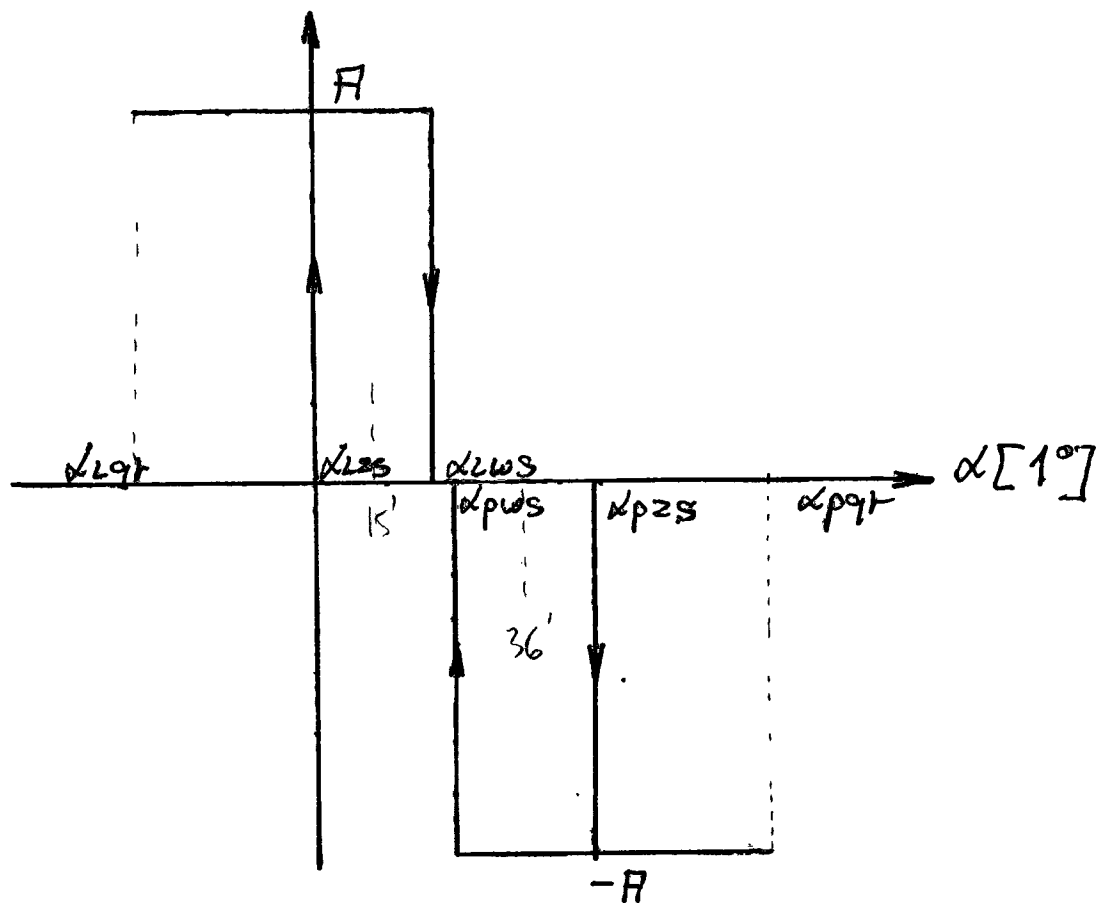


Rys.2. Charakterystyka teoretyczna czujnika skrętu lemiesza, w przypadku występowania stałych drgań wahadła o amplitudzie równej strefie histerezy mikrowyłączników.



- $\alpha_{LqT}$  - kąt maksymalnego wychylenia wahadła w lewo
- $\alpha_{Lz}$  - kąt wychylenia wahadła przy załączeniu lewego mikrowyłącznika
- $\alpha_{Lw}$  - kąt wychylenia wahadła przy wyłączeniu lewego mikrowyłącznika
- $\alpha_{pqT}$  - kąt maksymalnego wychylenia wahadła w prawo
- $\alpha_{pz}$  - kąt wychylenia wahadła przy załączeniu prawego mikrowyłącznika
- $\alpha_{pw}$  - kąt wychylenia wahadła przy wyłączeniu prawego mikrowyłącznika
- $A$  - stan załączenia lewego mikrowyłącznika
- $-A$  - stan załączenia prawego mikrowyłącznika

Rys.3. Charakterystyka statyczna czujnika skrętu lemiesza



Oznaczenia jak na rys.3.

Rys.4. Charakterystyka statyczna czujnika skrętu lemiesza przy skokowym wprowadzaniu kąta skrętu lemiesza.