

NIE UDOSTĘPNIAC →

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

Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

440

Centralna Stacja Prób

BE10

**Główny wykonawca**

**Wykonawcy** mgr inż. E. Trepczyński, tech. H. Michniewicz

**Konsultant** mgr inż. Z. Prokopowicz

**Nr zlecenia**

1726

Opracowanie elektronicznego układu regulacji prędkości obrotowej spalinowych silników.

etap 30

Badania prototypu regulatora

**Zleceniodawca** OAE

**Pracę rozpoczęto dnia** 84.12.15

Kierownik CSP

p.o.Z-cy, Dyrektora  
d/s Automatyki

mgr inż. E. Trepczyński

dr inż. T. Gałazka

**zakończono dnia** 85.02.28

Kierownik OBN

dr inż. St. Budzyński

**Praca zawiera:**

stron 21

rysunków

fotografii

tabel

tablic

załączników 35

**Rozdzielnik - ilość egz:**

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 OAE

Egz. 3 OBN

Egz. 4 OAE

Egz. 5 OAE

Egz. 6

Nr rejestr. 5388

Nie udostępniać - udostępnienie wymaga zgody  
zleceńiodawcy (prowadzącego temat)

### Analiza deskryptorowa

ELEKTRONICZNY UKŁAD REGULACJI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKÓW SPALINOWYCH +  
BADANIA PEŁNE PROTOTYPU.

### Analiza dokumentacyjna

Praca zawiera opis badań pełnych, wyniki sprawdzeń oraz orzeczenie.

### Tytuły poprzednich sprawozdań

nie ma

624.316.72 Regulatory prędkości 2

UKD

SIAP-252/02-6000

## 1. Wstęp

### 1.1. Przedmiot i cel badań

Przedmiotem badań był elektroniczny regulator prędkości obrotowej RELO1, przeznaczony do regulacji prędkości obrotowej wysokoprężnych silników spalinowych.

Celem badań była ocena wykonania regulatora w oparciu o wymagania ZN.

### 1.2. Dokumenty związane

Norma Zakładowa /projekt/ - Elektroniczny regulator prędkości obrotowej RECO1.  
- nr arch. 4463.

### 1.3. Zakres badań

Rodzaj badania	Opis badania	Wynik
- Oględziny	2.1	+
- Spr.wymiarów	2.2	+
- Spr.materiałów	2.3.	+
- Spr. rezystancji izolacji	2.4	+
- Spr.wytrzymałości elektrycznej izolacji	2.5	+
- Spr.poboru prądu zasilania	2.6	+
- Spr. stałej proporcjonalności przetwornika częstotliwości	2.7	+
- Spr.błędu podstawowego porównania	2.8	+
- Spr.błędu podstawowego odwzorowania charakterystyki statycznej regulatora	2.9	+
- Spr.zakresu proporcjonalności $K_p$ regulatora	2.10	+
- Spr.zakresu ograniczenia całkowania	2.11	+
- Spr.stałej proporcjonalności korektora sygnału zadającego układu nadążnego siłownika	2.12	+
- Spr.stałej proporcjonalności korektora sygnału wejściowego układu regulatora nadążnego siłownika	2.13	+
- Spr.wzmocnienia impulsowego wzmacniacza mocy	2.14	+
- Spr.okresu impulsowania wzmacniacza mocy	2.15	+
- Spr.ograniczenia prądowego wzmacniacza mocy	2.16	+
- Spr.zabezpieczenia od nadmiernej częstotliwości sygnału wejściowego oraz jej zaniku	2.17	+
- Spr.zakresu odchyień charakterystyki statycznej	2.18	+
- Spr.zakresu czasu wyprzedzenia	2.19	+
- Spr.zakresu czasu zdwojenia	2.20	+
- Spr.stałej czasowej korektora sygnału zadającego układu regulacji nadążnej siłownika	2.21	+

- Spr. stałej czasowej korektora sygnału wejściowego układu regulacji nadążnej siłownika	2.22	+
- Spr. stałości parametrów regulatora	2.23	+
- Spr. błędów dodatkowych od zmian temperatury	2.24	+
- stałej proporcjonalności przetwornika częstotliwości		
- odwzorowania charakterystyki statycznej regulatora		
- porównania zakresu proporcjonalności		
- zakresu czasu zdwojenia		
- zakresu czasu wyprzedzenia		
- Spr. błędów dodatkowych od zmian napięcia zasilania	2.25	+
- stałej proporcjonalności przetwornika częstotliwości		
- odwzorowania charakterystyki statycznej		
- porównania		
- Spr. odporności na wibracje sinusoidalne	2.26	+
- Spr. wytrzymałości na wibracje sinusoidalne	2.27	+
- Spr. wytrzymałości na udary mechaniczne	2.28	+
- Spr. wytrzymałości na zimno	2.29	+
- Spr. wytrzymałości na suche gorąco	2.30	+
- Spr. wytrzymałości na wilgotne gorąco stałe	2.31	+
- Spr. czasu regulacji	2.32	+
- Spr. stopnia ochrony obudowy	2.33	+

## 2. Wyniki badań

### 2.1. Oględziny

W wyniku oględzin dokonanych przed rozpoczęciem badań, jak i po sprawdzeniu narażeń środowiskowych i mechanicznych stwierdzono, że:

- montaż elektryczny jest wykonany prawidłowo, estetyczny w sposób zapewniający trwałość połączeń,
- połączenia śrubowe zapewniają sztywność konstrukcji,
- powłoki lakiernicze i galwaniczne nie mają wad w rodzaju: plam, pęcherzy, zadrapań, zacieków, śladów korozji. Napisy i oznaczenia są kontrastowe w stosunku do tła.

Elementy regulatora nie wykazały żadnych uszkodzeń mechanicznych oraz wad /zadrapań, wgnieceń/ mogących pogorszyć estetykę regulatora.

Elementy nastawcze działały bez zacięć.

## 2.2. Sprawdzenie wymiarów

Wymiary regulatora RELO1 nr 63 są zgodne z wymaganiami i wynoszą 266x150x64.  
Masa regulatora 2005 g.

## 2.3. Sprawdzenie materiałów

Materiały użyte do montażu regulatora są zgodne z dokumentacją techniczną /korespondentka OAE z dn. 85.03.07/.

## 2.4. Sprawdzenie rezystancji izolacji

Pomiar rezystancji izolacji przeprowadzono megaomierzem indukcyjnym 500 V pomiędzy połączonymi ze sobą stykami: A,K,G,D,Z,Ż,J,L,M,N,O gniazda dużego i 1,2,3,4,5 gniazda małego oraz jako drugim biegunem pomiarowym połączonymi ze sobą stykami B,W gniazda dużego regulatora.

Wartość pomierzonej rezystancji izolacji:  $R = 20 \text{ M}\Omega$ .

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.5. Sprawdzenie wytrzymałości elektrycznej izolacji

Sprawdzenie wykonano przy użyciu transformatora probierczego TP5S /moc wyj. 500 VA/. Napięcie probiercze 500 V przykładano między styki identycznie jak przy pomiarze rezystancji izolacji, zgodnie z wymaganiami p.4.2.2.2 ZN.

W czasie próby nie stwierdzono przebicia izolacji.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.6. Sprawdzenie poboru prądu zasilania

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.3 ZN.

Pomierzona wartość prądu wynosiła 71 mA /dop.wartość mniejsza od 100 mA/.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.7. Sprawdzenie stałej proporcjonalności przetwornika częstotliwości

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.4 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

Uf/V/	1,178	1,496	2,275	3,043	3,815	4,588	4,972
fx/Hz/	1280	1760	2720	3680	4640	5600	6080
zakres sygnał. %	0	10	30	50	70	90	100

Stałą proporcjonalności obliczono ze wzoru

$$K_F = \frac{U_{f100\%} - U_{f0\%}}{f_{x100\%} - f_{x0\%}} \quad \text{V/Hz}$$

$$K_F = \frac{4,972 - 1,178}{6,08 - 1280} = 0,79 \cdot 10^{-3}$$

/wartość dop. różnicy  $K_F = \pm 0,15 \cdot 10^{-3}$  V/Hz

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.8. Sprawdzenie błędu podstawowego porównania

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.5 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

nastawa					
Uw /V/	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588
odczyt					
Ux /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588
f <sub>x</sub> %	50	10	30	70	90

Błąd podstawowy porównania określono jako wartość największej różnicy U<sub>w</sub>-U<sub>x</sub> odniesioną do całego zakresu zmian napięcia U<sub>x</sub> /wyrażony w %/.

$$\delta = \frac{0,002}{1,539} \cdot 100 = 0,13 \%$$

/wart.dop. nie większa niż 0,25 %/.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.9. Sprawdzenie błędu podstawowego odwzorowania charakterystyki statycznej regulatora

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.6 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

nastawa			
Uw /V/	3,044	1,496	4,588
odczyt			
Ux /V/	3,044	1,495	4,5875
f <sub>x</sub> %	50	10	90

Błąd podstawowy odwzorowania określono jako wartość największej różnicy /Uw-Ux/ odniesioną do zakresu zmian sygnału Ux /wyrażony w %/.

$$\delta = \frac{0,001}{3,092} \cdot 100 = 0,03 \%$$

/wart.dop. nie większa niż 0,25 %/.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.10. Sprawdzenie zakresu proporcjonalności Kp

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.7 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- dla nastawy G min

Uw /V/	3,044	-	-
Ux /V/	3,044	4,911	1,107
Uy /V/	0,0107	5,025	-5,203
		max	min

	dla Uy30%	dla Uy70%
Ux /V/	2,248	3,755
Uy /V/	-2,156	1,914

Ux<sub>1</sub> → Uy 30%  
Ux<sub>2</sub> → Uy 70%

$$Kp \text{ min} = \frac{U_{y70\%} - U_{y30\%}}{U_{x2} - U_{x1}}$$

$$Kp \text{ min} = \frac{1,914 + 2,156}{3,755 - 2,248} = \frac{4,070}{1,507} = 2,7$$

- dla nastawy G max

Uw /V/	3,044	-	-
Ux /V/	3,044	3,126	2,968
Uy /V/	0,261	5,026	-5,205
		max	min

	dla U <sub>y30%</sub>	dla U <sub>y70%</sub>
Ux	3,016	3,078
Uy	-2,134	1,957

$$Kp \text{ max} = \frac{1,957 + 2,134}{3,078 - 3,016} = \frac{4,091}{0,062} = 65,9$$

Zakres proporcjonalności Kp = 2,7 + 62,5; dopuszczalny błąd ±25 %.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.11. Sprawdzenie ograniczenia całkowania

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.8 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

$U_x$ /V/	-3,000	+3,000	
$U_y$ /V/	-5,900	+4,600	/Y/ = 10,500 V

nastawa  $L_{min} \rightarrow Y = 4,610$

"-  $L_{max} \rightarrow Y = -5,856 \rightarrow \Delta L = 10,466$

Zakres ograniczenia całkowania 0-100%.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.12. Sprawdzenie stałej proporcjonalności korektora sygnału zadającego $K_{SZ}$

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.9 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

$U_{x1}$ /V/	$U_{x2}$ /V/
-4,000	+4,000
$U_{y1}$ /V/	$U_{y2}$ /V/
-1,064	+1,098

$$K_{SZ} = \frac{U_{y2} - U_{y1}}{U_{x2} - U_{x1}}$$

$$K_{SZ} = \frac{1,098 + 1,064}{8,0} = 0,27$$

/wart.dop.  $K_{SZ} = 0,27 \pm 15 \%$ .

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.13. Sprawdzenie stałej proporcjonalności korektora sygnału wejściowego $K_{SW}$

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.10 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

dla  $U_{x1} = -2,000$  V  $\rightarrow U_{y1} = -1,723$  V

dla  $U_{x2} = +2,000$  V  $\rightarrow U_{y2} = +1,757$  V

$$K_{SW} = \frac{U_{y2} - U_{y1}}{U_{x2} - U_{x1}} = \frac{1,757 + 1,723}{4} = 0,87$$

/wart.dop.  $K_{SW} = 0,9 \pm 20 \%$ .

Wynik sprawdzenia pozytywny.



2.14. Sprawdzenie wzmocnienia impulsowego wzmacniacza mocy  $K_A$

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.11 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

sygnał wyjściowy	0,4	0,85	1,55	2,5	3,85	5,5	8,0	10,7	A
$I_y / A /$	0,5	1,0	1,8	2,7	3,9	5,5	7,4	9,7	B
sygnał wejściowy $U_x / V /$	-1,4	-1,0	-0,6	-0,2	+0,2	+0,6	+1,0	+1,4	-

A - wart. teoretyczna  $K_A = 3,3 \text{ A/V}$  A = A min

B - wart. pomierzona  $K_A = \infty$  A = A max

Błąd wzmacniacza  $K_A$  dop. =  $3,6 \text{ A/V} \pm 50\%$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

2.15. Sprawdzenie okresu impulsowego wzmacniacza mocy

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.12 ZN.

Pomierzona wartość częstotliwości  $f = 203 \text{ Hz}$

$$t_i = \frac{1}{f}$$

$$t_{ipom} = 4,93 \cdot 10^{-3} \text{ /s/}$$

/wart. dop.  $t_i = 5 \cdot 10^{-3} \text{ /s/} \pm 25\%$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

2.16. Sprawdzenie ograniczenia prądowego impulsowego wzmacniacza

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.13 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

$$I_{ogr} = 8,4 \text{ A}$$

czas ograniczenia = 38 s.

/wart. dop.  $I_{ogr} = 9 \pm 3 \text{ A}$ , czas zwłoki ograniczenia  $40 \text{ s} \begin{matrix} +30s \\ -25s \end{matrix}$ .

Wynik sprawdzenia pozytywny.

2.17. Sprawdzenie zabezpieczenia od nadmiernej częstotliwości oraz zaniku sygnału z czujnika obrotów

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.14 ZN.

Zabezpieczenie działa aktywnie przy częstotliwości 0 i 10 kHz.

Częstotliwość, przy której wskazania woltomierza WC1 zmieniają się z wartości ujemnych na dodatnie wynosi 5100 Hz.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

2.18. Sprawdzenie odchylenia charakterystyki statycznej regulatora  $K_o$

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.15 ZN.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- pomiar  $K_o$  dla nastawy  $O = 0 \text{ min}$

$$U_{Ox_1} = +0,5 \text{ V} \rightarrow U_{Oy_1} = 0$$

$$U_{Ox_2} = -0,5 \text{ V} \rightarrow U_{Oy_2} = 0$$

$$K_o = 0$$

- pomiar  $K_o$  dla nastawy  $O = 0 \text{ max}$

$$U_{Ox_1} = +0,5 \text{ V} \rightarrow U_{Oy_1} = -0,391 \text{ V}$$

$$U_{Ox_2} = -0,5 \text{ V} \rightarrow U_{Oy_2} = +0,394 \text{ V}$$

$$K_o = \frac{U_{Oy_2} - U_{Oy_1}}{U_{Ox_1} - U_{Ox_2}}$$

$$K_o = \frac{0,785}{1} = 0,785$$

/wart.dop.  $K_o = 0 + 0,74 \pm 25\%$ /

Wynik sprawdzenia pozytywny.

2.19. Sprawdzenie zakresu czasu wyprzedzenia  $T_d$

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.16 ZN.

Zakres czasu wyprzedzenia  $T_d$  wyznaczono z zapisów oscylografu - zał.1.

$$T_d = 0 \quad D = D_{\text{min}}$$

$$T_d = 195 \text{ ms} \quad D = D_{\text{max}}$$

zakres czasu wyprzedzenia  $T_d = 0 - 240 \text{ ms}$ , dopuszczalny błąd zakresu  $\pm 40\%$ .

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.20. Sprawdzenie zakresu czasu zdwojenia $T_i$

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.17 ZN.

Czas zdwojenia wyznaczono z zapisów oscylografu - zał.2 i 3.

$$T_i \geq 0,17 \text{ s dla } I = I_{\min}$$

$$T_i = 1,7 \text{ s dla } I = I_{\max}$$

Zakres czasu zdwojenia  $T_i = 0,179 - 1,79 \text{ s}$ ; dopuszczalny błąd zakresu  $\pm 40 \%$ .

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.21. Sprawdzenie stałej czasowej korektora sygnału zadającego

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.18 ZN.

Stałą czasową  $T_{SZ}$  wyznaczono z zapisu oscylografu - zał.4.

$$T_{SZ} = 150 \text{ ms}$$

$$\text{/wart.dop. } T_{SZ} = 167 \text{ ms } \pm 25 \%$$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.22. Sprawdzenie stałej czasowej korektora sygnału wejściowego T

SW

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.19 ZN.

Stałą czasową  $T_{SW}$  wyznaczono z zapisu oscylografu - zał.5.

$$T_{SW} = 150 \text{ ms}$$

$$\text{/wart.dop. } T_{SW} = 167 \text{ ms } \pm 25 \%$$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.23. Sprawdzenie stałości parametrów regulatora

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.20 ZN.

Regulator w czasie 100 godzin nieprzerwanej pracy pracował w układzie pomiarowym odwzorowania charakterystyki statycznej /zgodnie z p.4.2.2.6 ZN/.

Po próbie wykonano sprawdzenia:

a/ odwzorowania charakterystyki statycznej regulatora wg p.2.9 sprawozdania  
wyniki pomiarów:

nastawa			
Uw /V/	3,044	1,496	4,588
odczyt			
Ux /V/	3,044	1,495	4,587
f <sub>x</sub> /%/	50	10	90

= 0,03 % - wynik sprawdzenia pozytywny.

11

b/ zakresu proporcjonalności  $K_p$  wg p.2.10 sprawozdania  
wyniki pomiarów:

- dla nastawy  $G_{min}$

$U_x$ /V/	3,044	-4,912	-1,106
$U_y$ /V/	0,010	+5,026	-5,202
		max	min

	dla $U_y=30\%$	dla $U_y=70\%$
$U_x$ /V/	2,248	3,755
$U_y$ /V/	-2,156	1,914

$$K_p \text{ min} = 2,7$$

- dla nastawy  $G_{max}$

$U_x$ /V/	3,044	3,126	2,968
$U_y$ /V/	0,262	5,026	-5,205
		max	min

	dla $U_y=30\%$	dla $U_y=70\%$
$U_x$	3,016	3,078
$U_y$	-2,134	1,957

$$K_p \text{ max} = 65,9 \text{ - wynik sprawdzenia pozytywny.}$$

c/ czasu zdwożenia  $T_i$  wg p.2.20 sprawozdania  
wyniki pomiarów - zał. 6, 7

$$T_i = 0,16 \text{ s dla } I = I_{min}$$

$$T_i = 1,95 \text{ s dla } I = I_{max}$$

wynik sprawdzenia pozytywny.

d/ czas wyprzedzenia  $T_d$  wg p.2.19 sprawozdania  
wyniki pomiarów - zał.8

$$T_d = 0 \text{ dla } D = D_{min}$$

$$T_d = 195 \text{ ms dla } D = D_{max}, \text{ wynik sprawdzenia pozytywny.}$$

Po próbie 100 godzin nieprzerwanej pracy regulator spełnia wymagania ZN pkt 2.4.28.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

2.24. Sprawdzenie błędów dodatkowych od temperatury otoczenia

Badania przeprowadzono dla temperatur otoczenia  $+70^{\circ}\text{C}$  i  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Pomiary wykonywano po upływie 2 h od chwili ustalenia się żądanej temperatury.

Badania wykonano dla wyznaczenia błędów dodatkowych od temperatury:

a/ dla porównania wg p.4.2.2.5 ZN /p.2.8 sprawozdania/

b/ dla odwzorowania charakterystyki statycznej wg p.4.2.2.6 ZN /p.2.9 sprawozdania/

c/ dla nastaw dynamicznych  $K_p$ ,  $T_d$ ,  $T_i$  wg p.4.2.2.7; 4.2.2.16; 4.2.2.17 ZN /p.2.10; 2.19; 2.20 sprawozdania/

d/ dla stałej proporcjonalności  $K_p$  wg p.4.2.2.4 ZN /p.2.7 sprawozdania.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

A - pomiary porównania wg p.2.8 sprawozdania

pomiar w temp.  $20^{\circ}\text{C}$

nastawa						
Uw /V/	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588	
odczyt						
Ux /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588	$\delta = 0,13 \%$
fx /%/	50	10	30	70	90	

pomiar w temp.  $-25^{\circ}\text{C}$

nastawa						
Uw /V/	3,026	1,474	2,253	3,793	4,565	
odczyt						
Ux /V/	3,025	1,475	2,252	3,796	4,565	$\delta = 0,19 \%$
fx /%/	50	10	30	70	90	

pomiar w temp.  $+70^{\circ}\text{C}$

nastawa						
Uw /V/	3,053	1,501	2,279	3,818	4,591	
odczyt						
Ux /V/	3,047	1,498	2,276	3,817	4,589	$\delta = 0,38 \%$
fx /%/	50	10	30	70	90	

Błąd dodatkowy nie przekracza wartości dopuszczalnej  $0,16 \%/10^{\circ}\text{C}$  - wynik sprawdzenia pozytywny.

B - pomiary odwzorowania charakterystyki statycznej wg p.2.9

pomiar w temp.  $20^{\circ}\text{C}$

nastawa				
Uw /V/	3,044	1,496	4,588	
odczyt				
Ux /V/	3,044	1,495	4,5875	$\delta = 0,03 \%$
fx /%/	50	10	90	

pomiar w temp. 70°C

nastawa				
Uw /V/	3,053	1,501	4,591	
odczyt				
Ux /V/	3,047	1,498	4,589	$\delta = 0,38 \%$
fx /%/	50	10	90	

pomiar w temp. -25°C

nastawa				
Uw /V/	3,026	1,474	4,565	
odczyt				
Ux /V/	3,025	1,475	4,565	$\delta = 0,19 \%$
fx /%/	50	10	90	

Błąd dodatkowy nie przekracza wartości dopuszczalnej 0,16 %/10°C - wynik sprawdzenia pozytywny.

C - pomiary nastaw dynamicznych  $K_p$ ,  $T_d$ ,  $T_i$

pomiar  $K_p$  dla  $G = G_{min}$ :

pomiar w temp. 20°C

Ux /V/	4,911	1,107	
Uy /V/	5,025	5,203	
	max	min	
Ux /V/	2,258	3,733	
Uy /V/	-2,135	1,956	
dla:	Uy=30%	Uy=70%	$K_{p \min} = \frac{4,091}{1,475} = 2,77$

dla Uy

pomiar w temp. -25°C

Ux /V/	2,251	+3,740	
Uy /V/	-2,114	1,898	
dla	Uy=30%	Uy=70%	$K_{p \min} = \frac{4,012}{1,489} = 2,69$

pomiar w temp. +70°C

Ux /V/	2,265	3,799	
Uy /V/	-2,150	1,995	
dla	Uy=30%	Uy=70%	$K_{p \min} = \frac{4,145}{1,534} = 2,7$

Błąd dodatkowy  $K_{p \min}$  wynosi dla temp. +70°C - 2,5 %  
 dla temp. -25°C - 2,8 %  
 i nie przekracza dop. wartości 10 %.

AH

Pomiar  $K_p$  dla  $G = G_{max}$ :

pomiar w temp.  $20^{\circ}C$

$U_x$ /V/	3,126	2,968
$U_y$ /V/	5,026	-5,205
	max	min

$U_x$ /V/	3,016	3,078
$U_y$ /V/	-2,134	1,957
dla $U_y=30\%$		$U_y=70\%$

$$K_{p \max} = \frac{4,091}{0,062} = 65,9$$

pomiar w temp.  $-25^{\circ}C$

$U_x$ /V/	3,027	3,094
$U_y$ /V/	-2,151	1,994
dla $U_y=30\%$		$U_y=70\%$

$$K_{p \max} = \frac{4,145}{0,067} = 61,8$$

pomiar w temp.  $70^{\circ}C$

$U_x$ /V/	3,004	3,062
$U_y$ /V/	-2,112	1,900
dla $U_y=30\%$		$U_y=70\%$

$$K_{p \max} = \frac{4,012}{0,058} = 69,1$$

Błąd dodatkowy  $K_{p \max}$  dla temp.  $+70^{\circ}C$  wynosi 4,8 %  
 $-25^{\circ}C$  6,3 %

nie przekracza dop.wartości 10 %.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

Pomiar  $T_d$  - czasu wyprzedzenia:

pomiary wykonano wg p.2.19.

Czas wyprzedzenia  $T_d$  wyznaczony z zapisów oscylografu zał.9,10 wynosi:

- w temp.  $-25^{\circ}C$   $T_d = 0 + 180$  ms  
 $+70^{\circ}C$   $T_d = 0 + 190$  ms

Błąd dodatkowy  $T_d$  w całym zakresie temperatury wynosi 5,3 %.

Wartość dopuszczalna błędu dodatkowego 10 %.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

Pomiar  $T_i$  - czasu zdwojenia:

pomiary wykonano wg p.2.20.

Czas zdwojenia wyznaczony z zapisów oscylografu zał.11,12,13,14 wynosi:

- w temp.  $-25^{\circ}C$   $T_i = 0,185$  s dla  $I = I_{min}$   
 $T_i = 2,10$  s dla  $I = I_{max}$   
- w temp.  $+70^{\circ}C$   $T_i = 0,175$  s dla  $I = I_{min}$   
 $T_i = 2,05$  s dla  $I = I_{max}$

Błąd dodatkowy  $T_i$  w całym zakresie temperatur wynosi: dla  $I = I_{min}$  - 5,4 %  
dla  $I = I_{max}$  - 2,4 %  
i nie przekracza wartości dopuszczalnej 10 %.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

D - pomiar stałej proporcjonalności  $K_F$  wg p.2.7 sprawozdania  
wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

$U_f$ /V/	1,160	1,480	2,260	3,026	3,797	4,517	4,955	temp. -25°C
	1,185	1,501	2,279	3,047	3,819	4,592	4,973	temp. +70°C
$f_x$ /Hz/	1280	1760	2720	3680	4640	5600	6080	-
zakres sygn. /%/	0	10	30	50	70	90	100	-

$$K_{F-25^{\circ}\text{C}} = \frac{4,955 - 1,160}{6080 - 1280} = 0,791 \cdot 10^{-3} \text{ V/Hz}$$

$$K_{F+70^{\circ}\text{C}} = \frac{4,973 - 1,185}{6080 - 1280} = 0,789 \cdot 10^{-3} \text{ V/Hz}$$

Błąd dodatkowy  $K_F$  obliczony na zmianę temperatury o 10°C wynosi 0,026 %.  
Wartość dopuszczalna błędu dodatkowego - 0,15 % / 10°C.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.25. Sprawdzenie błędów dodatkowych od zmian napięcia zasilania

Badania wykonano przy napięciach zasilania 19,2 V oraz 28,8 V.

Pomiary wykonano dla wyznaczenia błędów dodatkowych:

a/ dla porównania wg p.4.2.2.5 ZN /p.2.8. sprawozdania/,

b/ dla odwzorowania charakterystyki statycznej wg p.4.2.2.6 ZN /p.2.9 sprawozd./

c/ dla stałej proporcjonalności  $K_F$  przetwornika częstotliwości

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

A - pomiary porównania wg p.2.8 sprawozdania

nastawa	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588	
$U_w$ /V/						
odczyt	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588	$U_{zas}$ 19,2V
$U_x$ /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588	$U_{zas}$ 28,8V
$f_x$ /%/	50	10	30	70	90	

W wyniku pomiarów nie stwierdzono zmian  $U_x$  w zależności od zmian  $U_{zas}$ .  
Błąd dodatkowy jest równy zeru.

B - pomiary charakterystyki statycznej wg p.2.9 sprawozdania



nastawa Uw /V/	3,049	1,496	4,588	-
odczyt Ux /V/	3,049	1,495	4,5875	Uzas 19,2V
	3,049	1,495	4,5875	Uzas 28,8V
fx /%/	50	10	90	-

W wyniku pomiaru nie stwierdzono zmian Ux w zależności od zmian Uzasilania.  
Błąd dodatkowy jest równy zeru.

C - pomiary stałej proporcjonalności  $K_F$  przetwornika częstotliwości wg p.2.7  
sprawozdania

Uf /V/	1,178	1,496	2,275	3,043	3,815	4,588	4,972	Uzas 19,2V
	1,178	1,496	2,275	3,043	3,815	4,588	4,972	Uzas 28,8V
fx/Hz/	1280	1760	2720	3680	4640	5600	6080	-
zakres sygn. %/	0	10	30	50	70	90	100	-

W wyniku pomiaru nie stwierdzono zmian Uf w zależności od zmian Uzasilania  
Błąd dodatkowy jest równy zeru.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.26. Sprawdzenie odporności na wibracje sinusoidalne

Badany regulator zamocowano w sposób sztywny do stołu wstrząsarki wibracyjnej i poddano drganiom o częstotliwości 25 Hz i przyspieszeniu  $49 \text{ m/s}^2$ .

W czasie drgań w pracującym regulatorze zmierzono błąd dodatkowy nastaw dynamicznych  $K_p$ ,  $T_d$  i  $T_i$ .

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- pomiar  $K_p$

dla  $G = G_{min}$  bez wibracji

Ux /V/	4,911	1,107
Uy /V/	5,025	-5,203
	max	min

Ux /V/	2,258	3,733
Uy /V/	-2,135	1,956
dla	Uy=30%	Uy=70%

$$K_p = \frac{4,091}{1,475} = 2,77$$

W trakcie wibracji nie stwierdzono zmian wartości Ux przy nastawach Uy, tzn.:

Ux /V/	2,258	3,733
Uy /V/	-2,135	1,956
dla	Uy=30%	Uy=70%

$$K_p = \frac{4,091}{1,475} = 2,77$$

błąd dodatkowy  $K_p \rightarrow G = G_{min}$  od wibracji równy jest zeru.

17

dla  $G = G_{max}$  bez wibracji

$U_x / V/$	3,126	2,968
$U_y / V/$	5,026	-5,205
	max	min

$U_x / V/$	3,016	3,078
$U_y / V/$	-2,134	1,957
dla	$U_y = 30\%$	$U_y = 70\%$

$$K_{p_{max}} = \frac{4,091}{0,062} = 65,9$$

W trakcie wibracji nie stwierdzono zmian wartości  $U_x$  przy nastawach  $U_y$ , tzn:

$U_x / V/$	3,016	3,078
$U_y / V/$	-2,134	1,957
dla	$U_y = 30\%$	$U_y = 70\%$

$$K_p = 65,9$$

Błąd dodatkowy  $K_p \rightarrow G = G_{max}$  od wibracji jest równy zero.

- pomiar  $T_d$

Pomiar  $T_d$  wykonano zarówno bez wibracji jak i w trakcie wibracji. Na podstawie zapisów oscylogramów - zał.15 - stwierdzono, że czas wyprzedzenia nie zmienia się i pozostaje równy

$$T_d = 0 + 180 \text{ ms}$$

Błąd dodatkowy  $T_d$  od wibracji równy jest zero.

- pomiar  $T_i$

Czas zdwojenia  $T_i$  wykonano zarówno bez wibracji jak i w trakcie wibracji. Na podstawie zapisów oscylogramów - zał.16,17, stwierdzono, że czas zdwojenia  $T_i$  nie zmienia się i wynosi:

$$T_i = 0,175 \text{ s dla } I = I_{min}$$

$$T_i = 1,80 \text{ s dla } I = I_{max}$$

Błąd dodatkowy  $T_i$  od wibracji równy jest zero.

W trakcie próby odporności na wibracje nie stwierdzono żadnych efektów rezonansowych, poluzowania połączeń mechanicznych, ani zmiany nastaw pokręteł i mikrowyłączników.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.27. Sprawdzenie wytrzymałości na wibracje

Sprawdzenie wykonano przy zamocowanym sztywno do stołu wstrząsarki regulatorze w stanie niepracującym /w normalnej pozycji pracy/. Regulator poddano wibracjom zgodnie z p.2.5.3 ZN.

Po próbie w wyniku oględzin nie stwierdzono żadnych uszkodzeń mechanicznych ani rozluźnienia połączeń.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- błąd podstawowy porównania wg p.2.8.

nastawa						
Uw /V/	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588	
odczyt						
Ux /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588	$\delta = 0,13 \%$
fx /%/	50	10	30	70	90	

- błąd podstawowy odwzorowania wg p.2.9

nastawa				
Uw /V/	3,0490	1,4960	4,5885	
odczyt				
Ux /V/	3,0490	1,4960	4,5880	$\delta = 0,015 \%$
fx /%/	50	10	90	

- zakres proporcjonalności wg p.2.10

$$K_p = 2,7 \text{ dla } G = G_{\min}$$

$$K_p = 65,9 \text{ dla } G = G_{\max}$$

- czas wyprzedzenia  $T_d$  wg p.2.19

/zapis w zał.18/

$$T_d = 0 \text{ ms dla } D = D_{\min}$$

$$T_d = 205 \text{ ms dla } D = D_{\max}$$

- czas zdwojenia  $T_i$  wg p.2.20

/zapis w zał.19 i 20/

$$T_i = 0,18 \text{ s dla } I = I_{\min}$$

$$T_i = 1,85 \text{ s dla } I = I_{\max}$$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.28. Sprawdzenie wytrzymałości na udary mechaniczne

Sprawdzenie wykonano poddając regulator w opakowaniu zastępczym uderom zgodnie z p.2.5.4 ZN.

Po próbie w wyniku oględzin nie stwierdzono żadnych uszkodzeń mechanicznych ani rozluźnienia połączeń w badanym regulatorze.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- błąd podstawowy porównania wg p.2.8

nastawa						
Uw /V/	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588	
odczyt						
Ux /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588	$\delta = 0,13 \%$
fx /%/	50	10	30	70	90	

- błąd podstawowy odwzorowania wg p.2.9

nastawa			
Uw /V/	3,0490	1,4960	4,5880
odczyt			
Ux /V/	3,0490	1,4960	4,5875
fx /%/	50	10	90

$\delta = 0,015 \%$

- zakres proporcjonalności wg p.2.10

$$K_p = 2,7 \text{ dla } G = G_{\min}$$

$$K_p = 65,9 \text{ dla } G = G_{\max}$$

- czas wyprzedzenia  $T_d$  wg p.2.19

/zapis w zał.21/

$$T_d = 0 \text{ ms dla } D = D_{\min}$$

$$T_d = 180 \text{ ms dla } D = D_{\max}$$

- czas zdwojenia  $T_i$  wg p.2.20

/zapis w zał.22 i 23/

$$T_i = 0,195 \text{ s dla } I = I_{\min}$$

$$T_i = 2,2 \text{ s dla } I = I_{\max}$$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 2.29. Sprawdzenie wytrzymałości na zimno

Sprawdzeniu poddano regulator nieopakowany i niepracujący. Narażenie wykonano zgodnie z p. 2.5.5 ZN.

Po próbie nie stwierdzono żadnych zmian w wyglądzie zewnętrznym regulatora.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- błąd podstawowy porównania wg p.2.8

nastawa					
Uw /V/	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588
odczyt					
Ux /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588
fx /%/	50	10	30	70	90

$\delta = 0,13 \%$

- błąd podstawowy odwzorowania wg p.2.9

nastawa			
Uw /V/	3,049	1,496	4,588
odczyt			
Ux /V/	3,049	1,496	4,5875
fx /%/	50	10	90

$\delta = 0,015 \%$

- zakres proporcjonalności wg p.2.10

$$K_p = 2,7 \text{ dla } G = G_{min}$$

$$K_p = 65,9 \text{ dla } G = G_{max}$$

- czas wyprzedzenia  $T_d$  wg p.2.19

/zapis w zał.24/

$$T_d = 0 \text{ ms dla } D = D_{min}$$

$$T_d = 190 \text{ ms dla } D = D_{max}$$

- czas zdwojenia  $T_i$  wg p.2.20

/zapis w zał.25 i 26/

$$T_i = 0,170 \text{ ms dla } I = I_{min}$$

$$T_i = 2,1 \text{ s dla } I = I_{max}$$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.30. Sprawdzenie wytrzymałości na suche gorąco

Sprawdzeniu poddano regulator nieopakowany i niepracujący. Narażenie wykonano zgodnie z p.2.5.6 ZN.

Po próbie nie stwierdzono żadnych zmian w wyglądzie zewnętrznym regulatora.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- błąd podstawowy porównania wg p.2.8.

nastawa					
Uw /V/	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588
odczyt					
Ux /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588
fx /%/	50	10	30	70	90

$$\delta = 0,13 \%$$

- błąd podstawowy odwzorowania wg p.2.9.

nastawa			
Uw /V/	3,049	1,496	4,588
odczyt			
Ux /V/	3,049	1,496	4,5875
fx /%/	50	10	90

$$\delta = 0,015 \%$$

- zakres proporcjonalności wg p.2.10

$$K_p = 2,7 \text{ dla } G = G_{min}$$

$$K_p = 65,9 \text{ dla } G = G_{max}$$

- czas wyprzedzenia  $T_d$  wg p.2.19  
/zapis w zał.27/

$$T_d = 0 \text{ ms dla } D = D_{\min}$$

$$T_d = 180 \text{ ms dla } D = D_{\max}$$

- czas zdwojenia  $T_i$  wg p.2.20  
/zapis w zał.28 i 29/

$$T_i = 0,170 \text{ s dla } I = I_{\min}$$

$$T_i = 2,15 \text{ s dla } I = I_{\max}$$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.31. Sprawdzenie wytrzymałości na wilgotne gorąco stałe

Sprawdzeniu poddano regulator w indywidualnym opakowaniu. Narażenie wykonano zgodnie z p.2.5.7 ZN.

Po próbie w wyniku oględzin nie stwierdzono żadnych zmian w wyglądzie zewnętrznym.

Wyniki pomiarów zestawiono poniżej:

- błąd podstawowy porównania wg p.2.8

nastawa					
Uw /V/	3,049	1,496	2,275	3,815	4,588
odczyt					
Ux /V/	3,049	1,496	2,274	3,817	4,588
fx /%/	50	10	30	70	90

$$\delta = 0,13 \%$$

- błąd podstawowy odwzorowania

nastawa			
Uw /V/	3,049	1,496	4,588
odczyt			
Ux /V/	3,049	1,496	4,5875
fx /%/	50	10	90

$$\delta = 0,015 \%$$

- zakres proporcjonalności wg p.2.10

$$K_p = 2,7 \text{ dla } G = G_{\min}$$

$$K_p = 65,9 \text{ dla } G = G_{\max}$$

- czas wyprzedzenia  $T_d$  wg p.2.19  
/zapis w zał.30/

$$T_d = 0 \text{ ms dla } D = D_{\min}$$

$$T_d = 180 \text{ ms dla } D = D_{\max}$$

- czas zdwojenia  $T_i$  wg p.2.20 /zapis w zał.31 i 32/

$$T_i = 0,170 \text{ s} \quad \text{dla } I = I_{\min}$$

$$T_i = 2,2 \text{ s} \quad \text{dla } I = I_{\max}$$

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.32. Sprawdzenie czasu regulacji

Sprawdzenie wykonano zgodnie z opisem i wymaganiami p.4.2.2.30 ZN.

Zapisy skokowego wrzutu i zrzutu 100 % obciążenia silnika zamieszczono w zał. 33, 34, 35.

Czasy regulacji wynoszą odpowiednio:

- przy  $f = 1280 \text{ Hz}$   $t_r$  wrzutu = 0,7 s  $t_r$  zrzutu = 0,75 s

- przy  $f = 3680 \text{ Hz}$   $t_r$  wrzutu = 0,95 s  $t_r$  zrzutu = 0,925 s

- przy  $f = 6080 \text{ Hz}$   $t_r$  wrzutu = 1,05 s  $t_r$  zrzutu = 1,2 s

przy wymaganym czasie regulacji nie większym niż 2 s.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

### 2.33. Sprawdzenie stopnia ochrony obudowy

Sprawdzenie wykonano dla stopnia ochrony IP52 zgodnie z opisem i wymaganiami normy PN-79/E-08106.

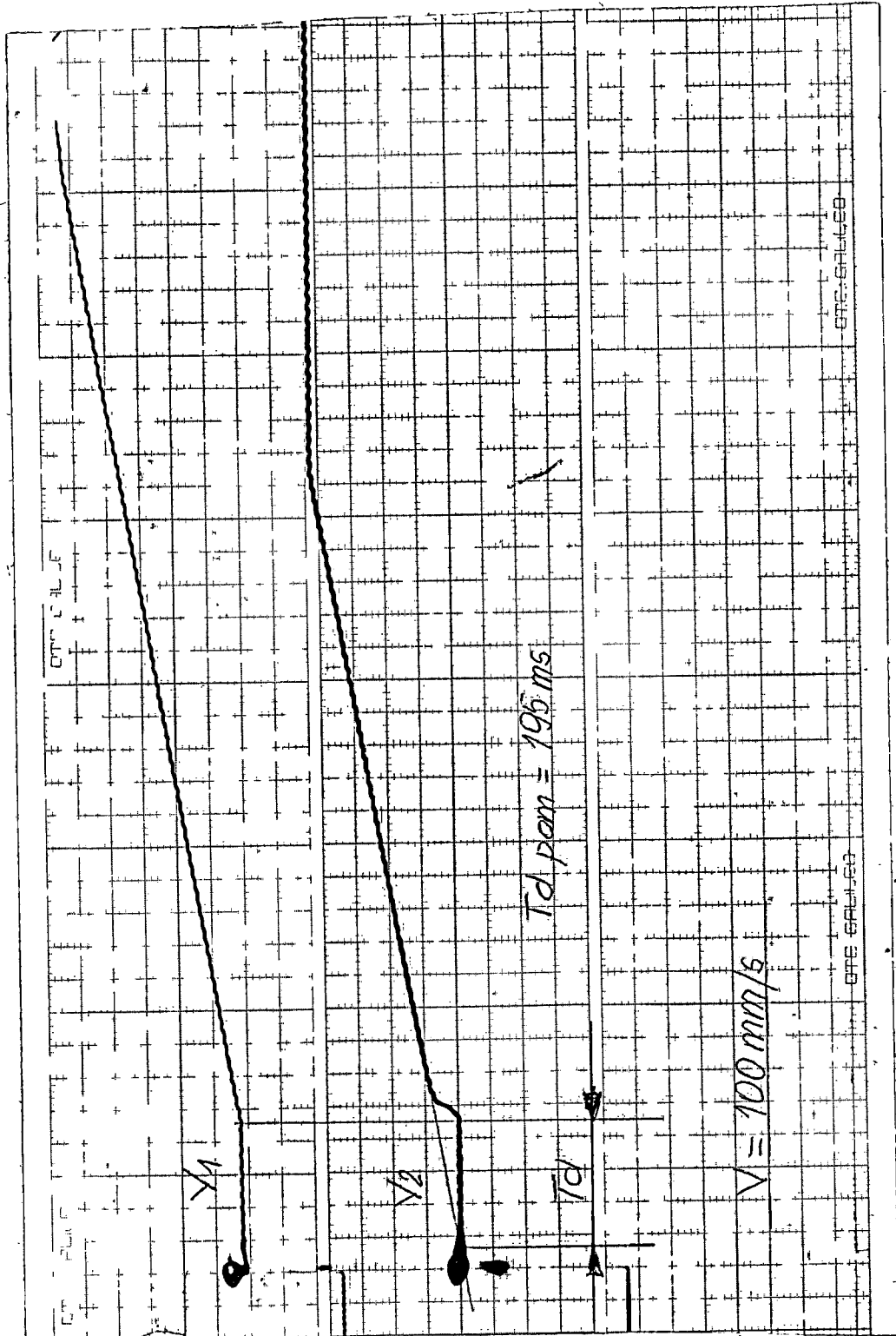
Zarówno próba pyłoszczelności dla stopnia IP5S jak i próba wodoszczelności IPX2 wykazały całkowitą szczelność obudowy.

Wynik sprawdzenia pozytywny.

## 3. Orzeczenie

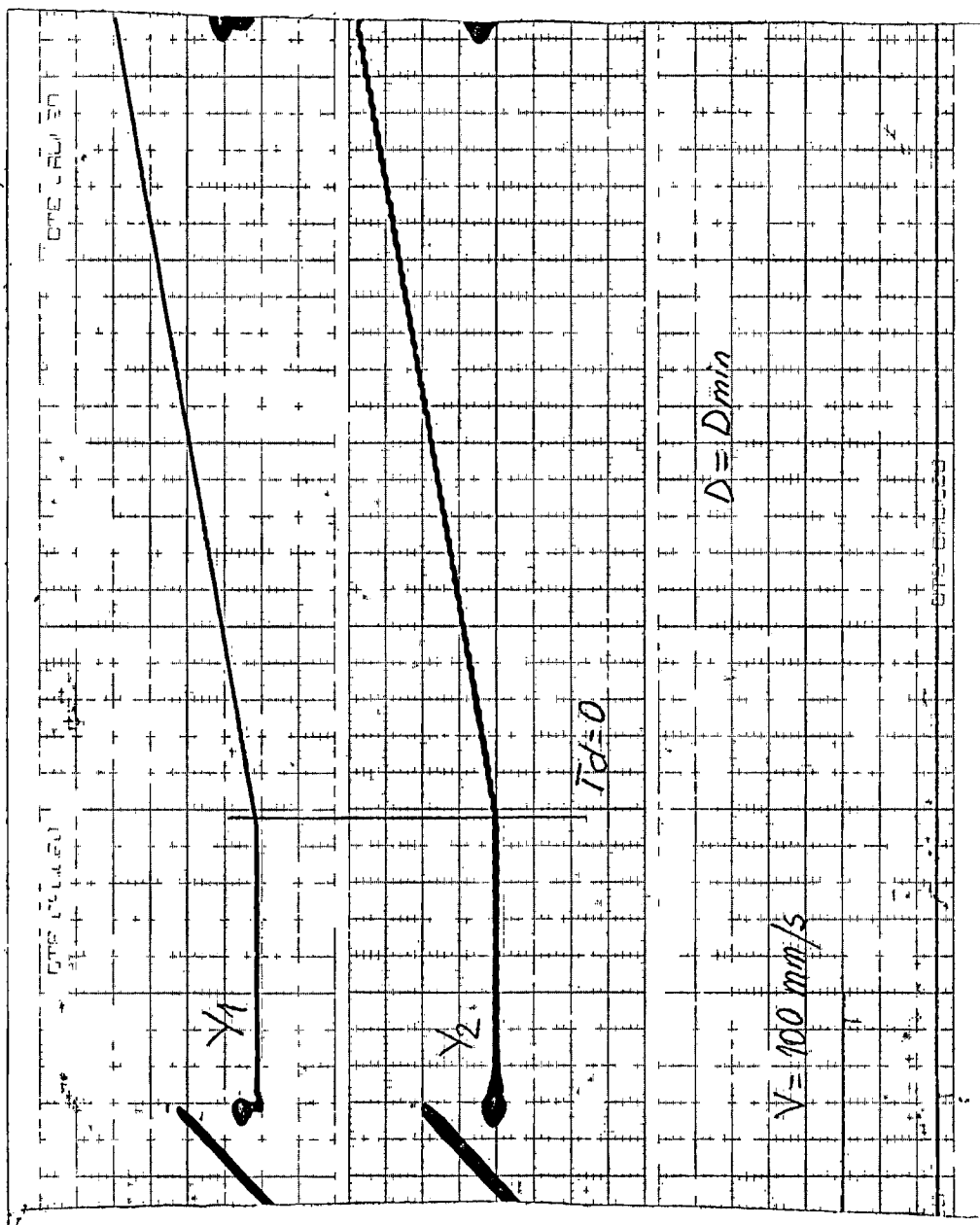
Stwierdza się, że badany prototyp elektronicznego regulatora prędkości obrotowej typu REL-01 spełnia wymagania normy zakładowej w zakresie badań pełnych.

Pomiar  $T_d$

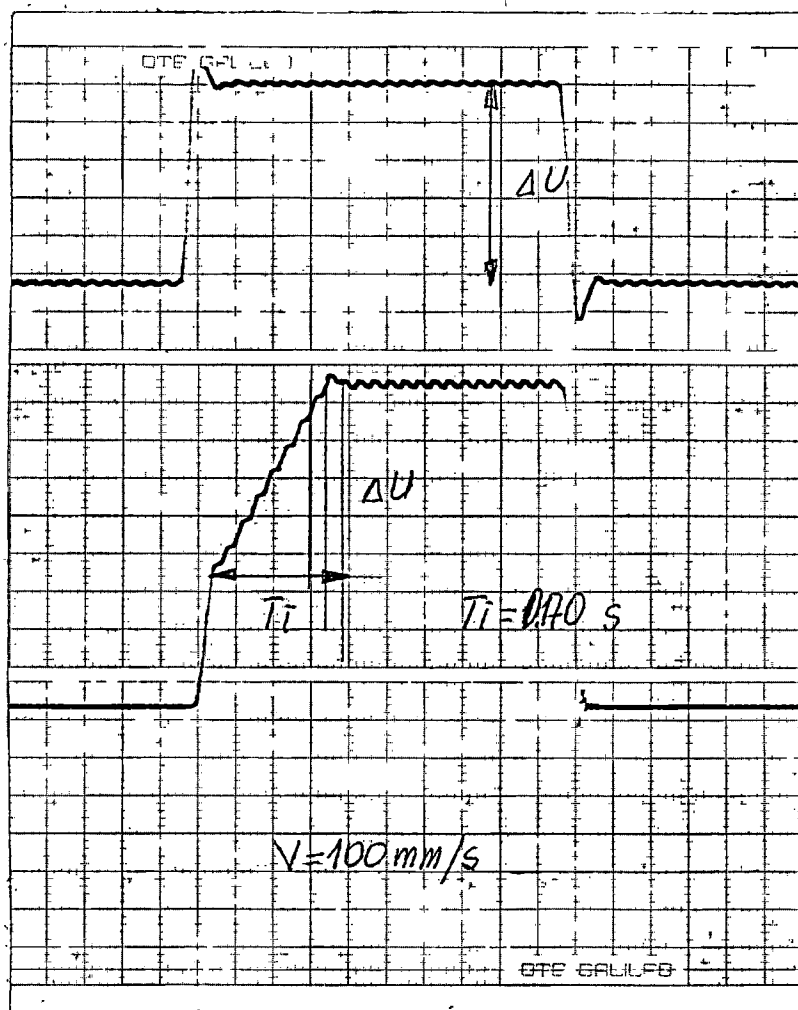




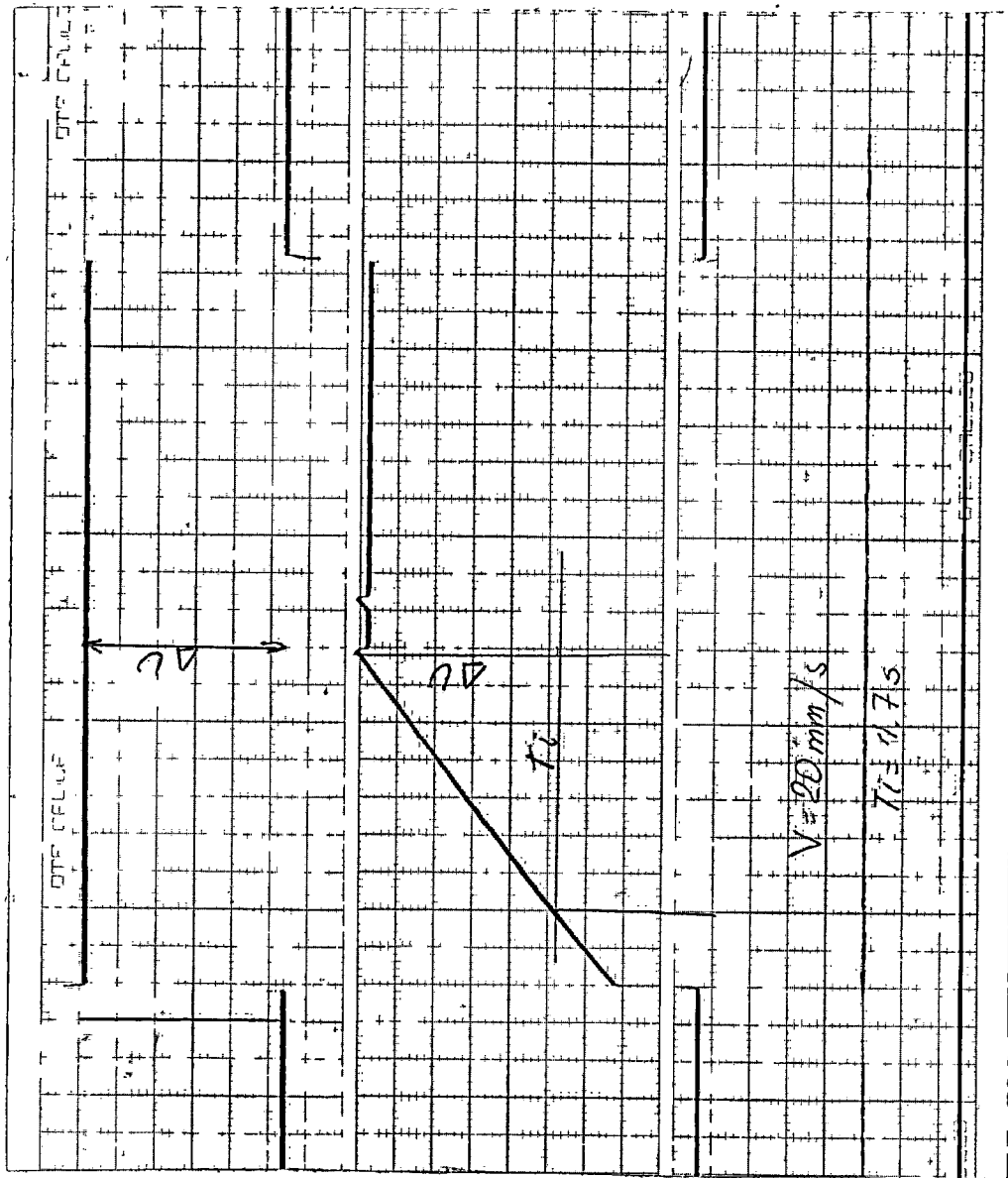
Pomiar  $T_d$



Pomiar  $T_i$   $J_{min}$

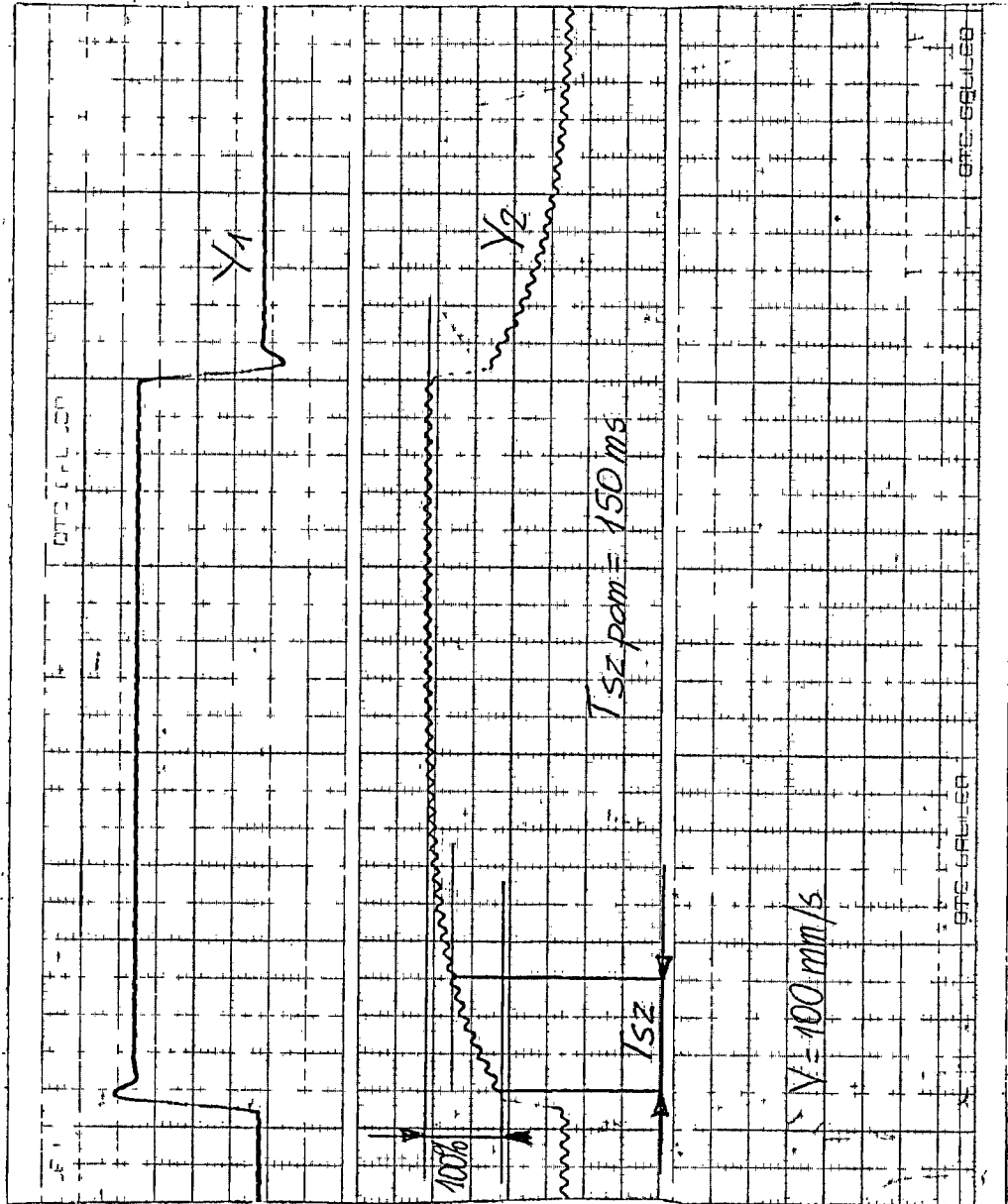


Pomiar  $T_i$   $J_{max}$

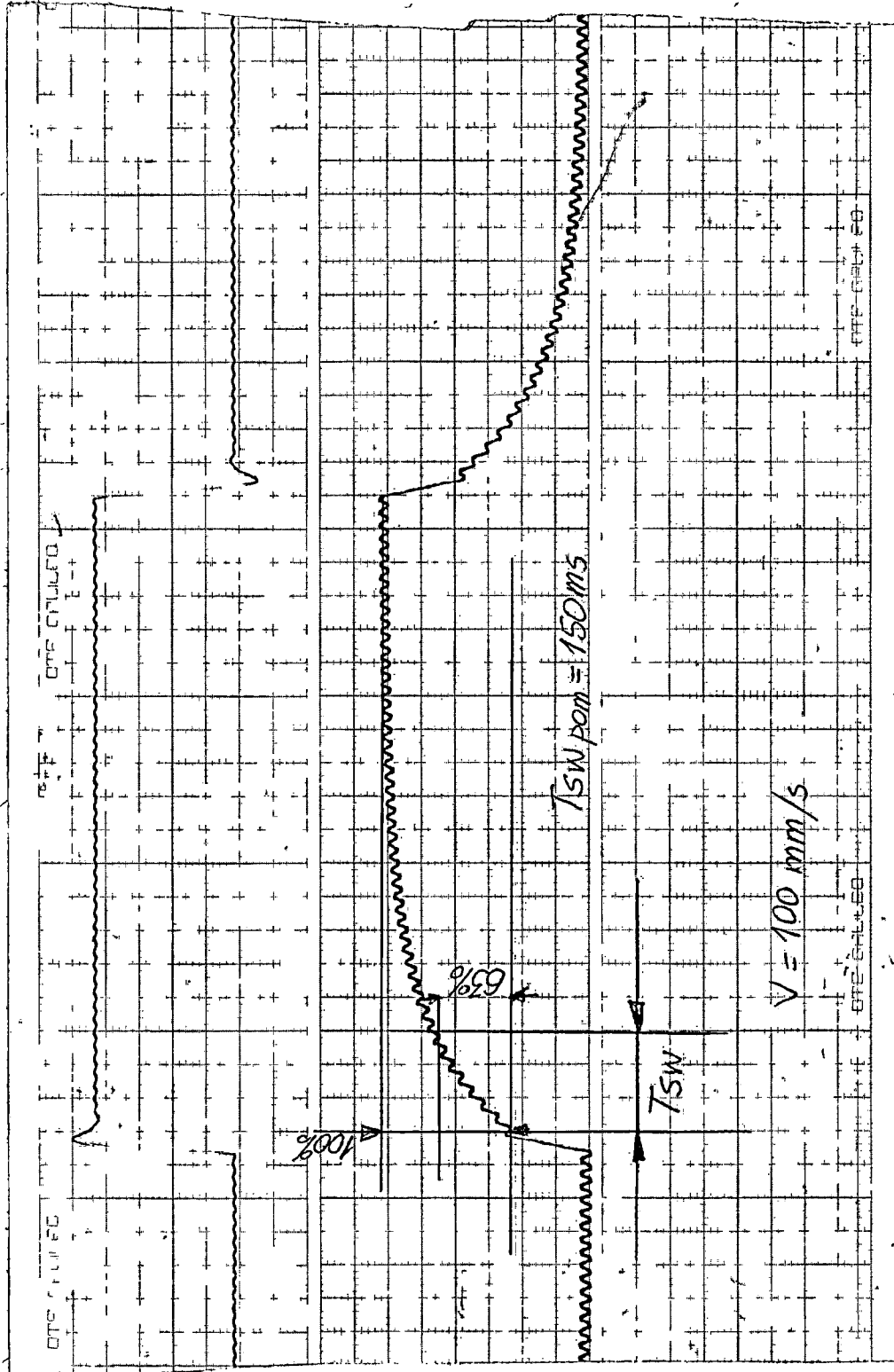


27

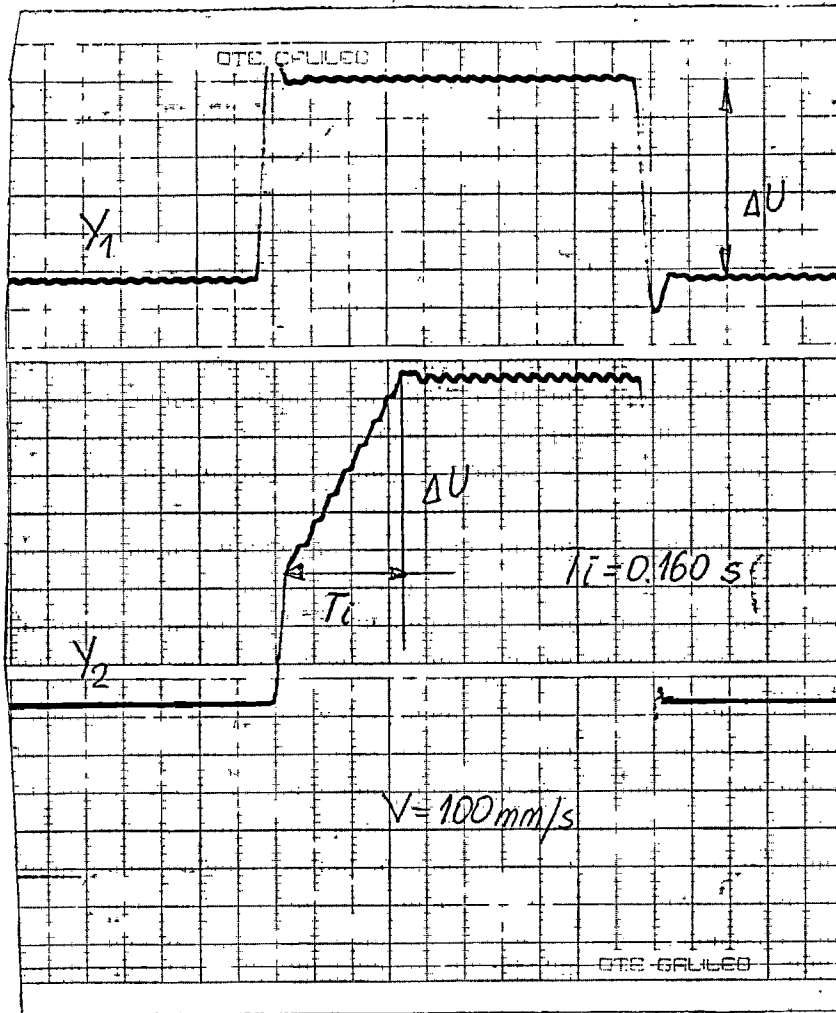
Pomiar  $T_{sz}$



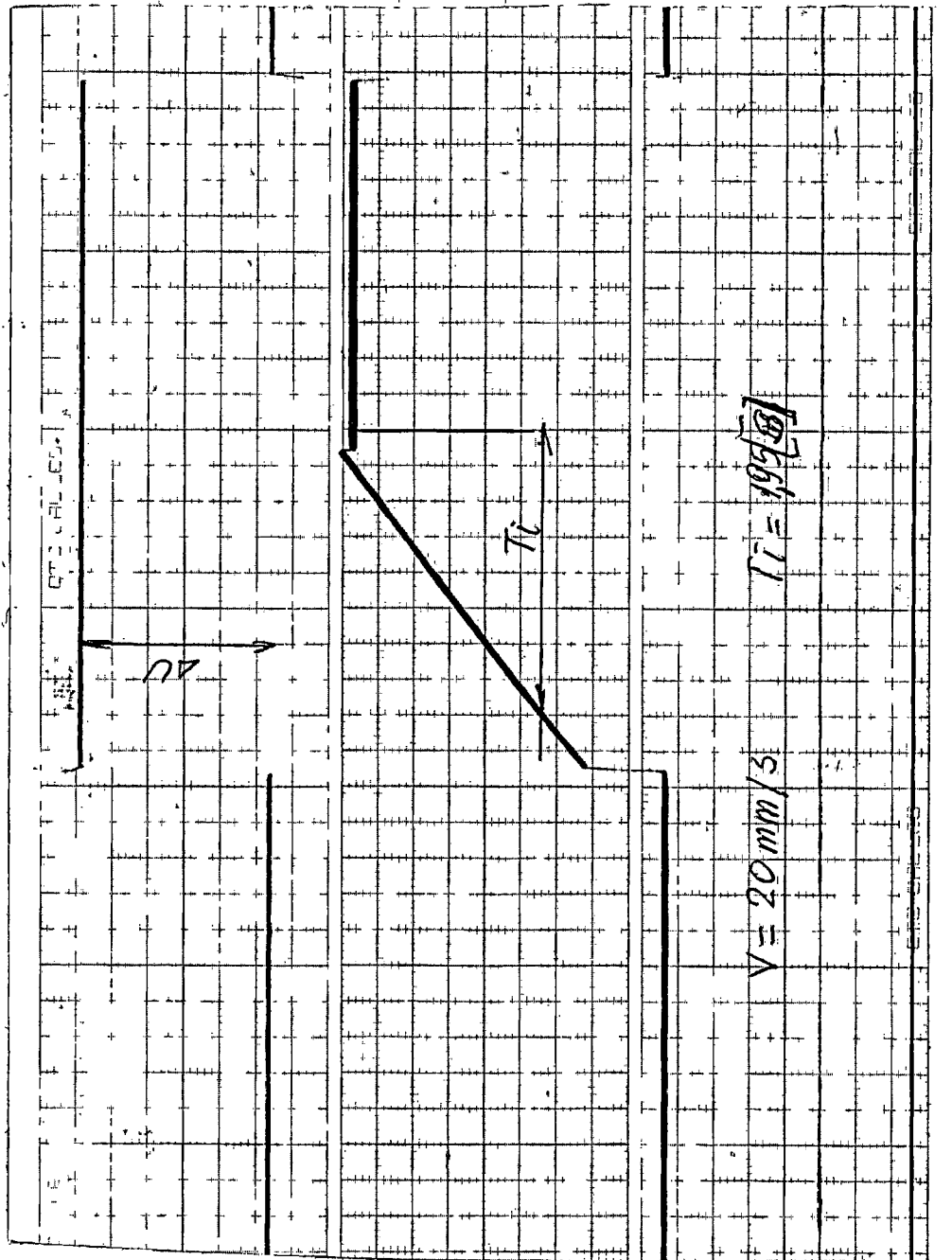
# Pomiar TSW



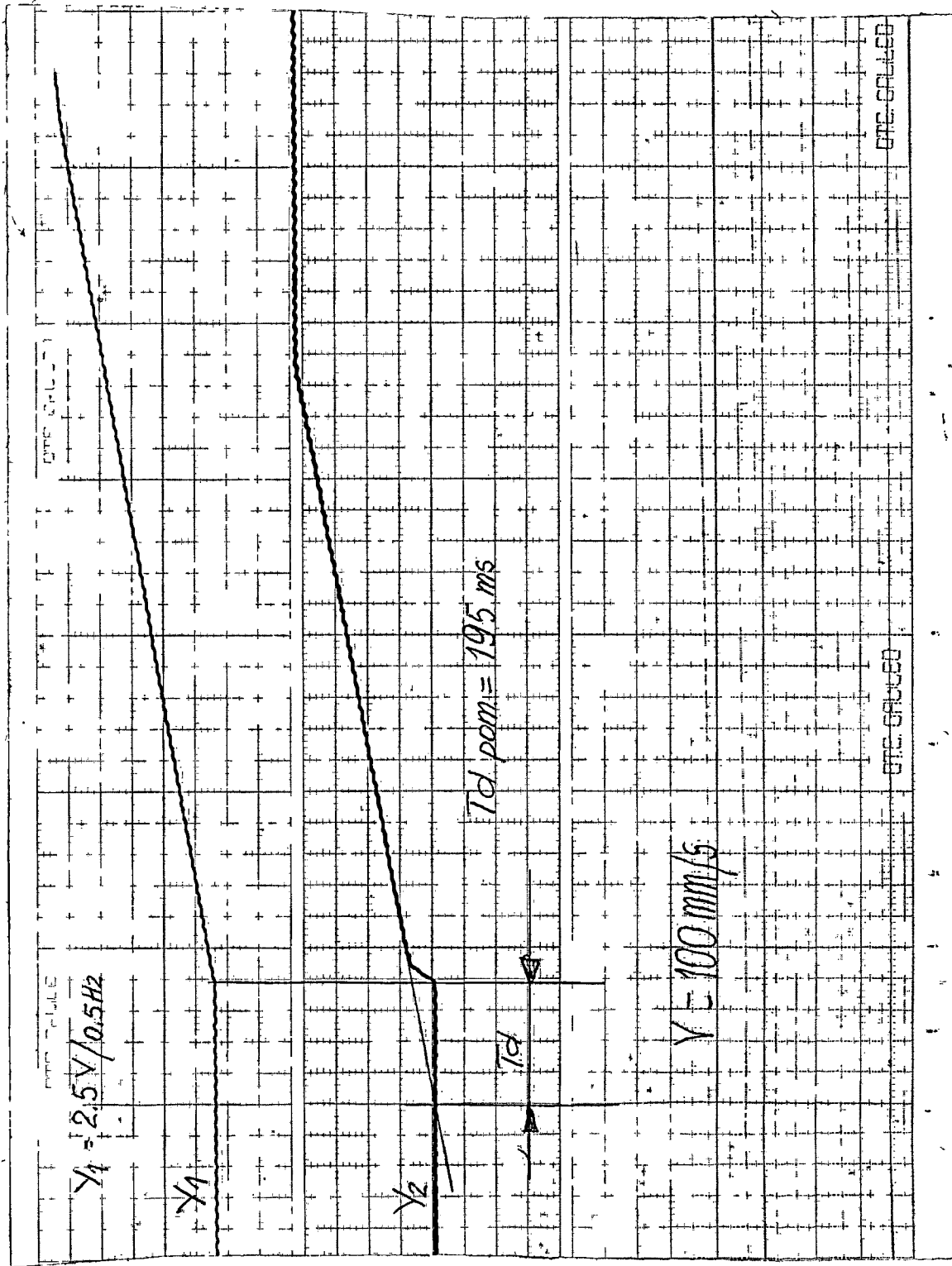
Pomiar  $T_i$   $J=\min$



Pomiar  $T_i$   $J_{max}$

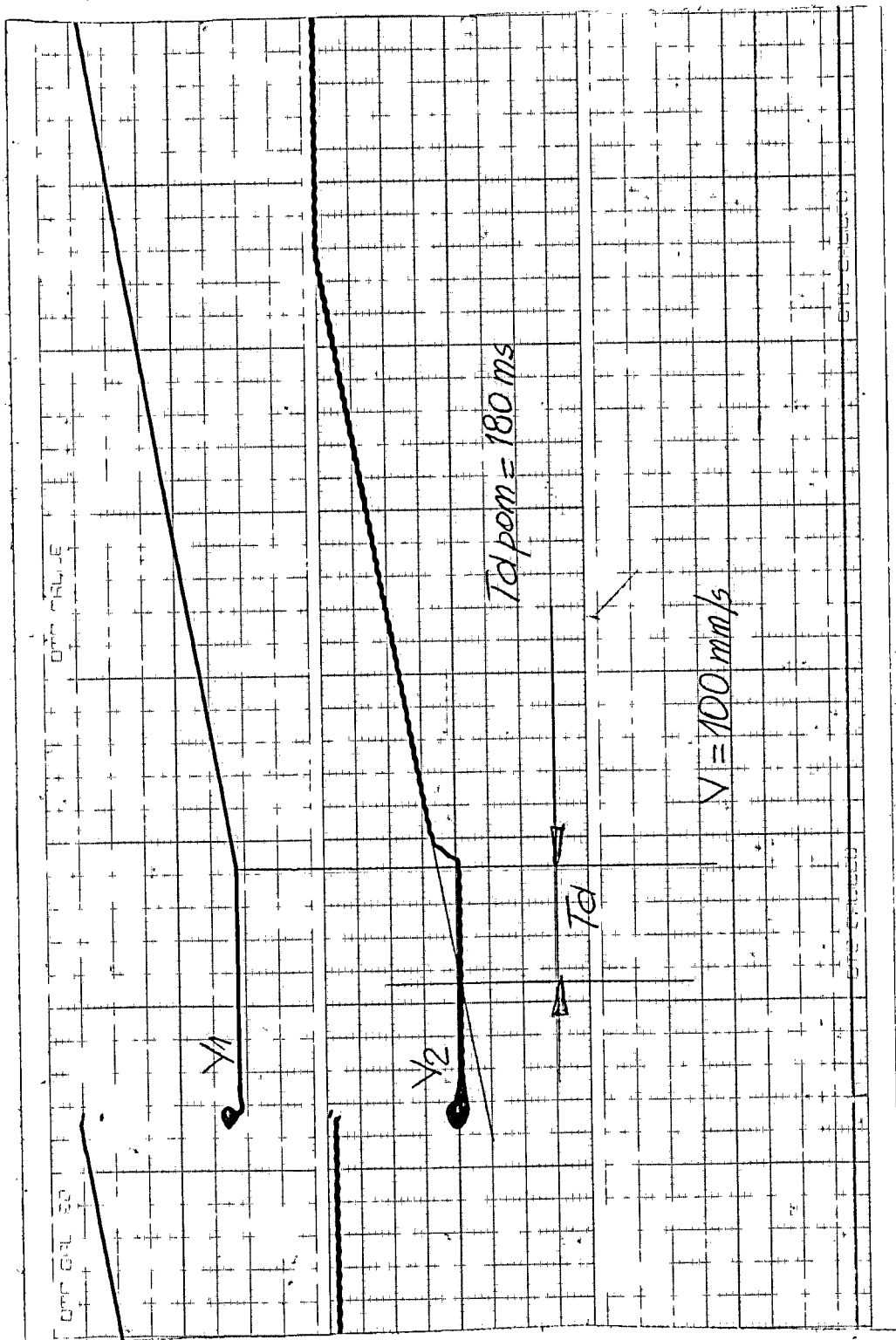


Pomiar  $T_d$

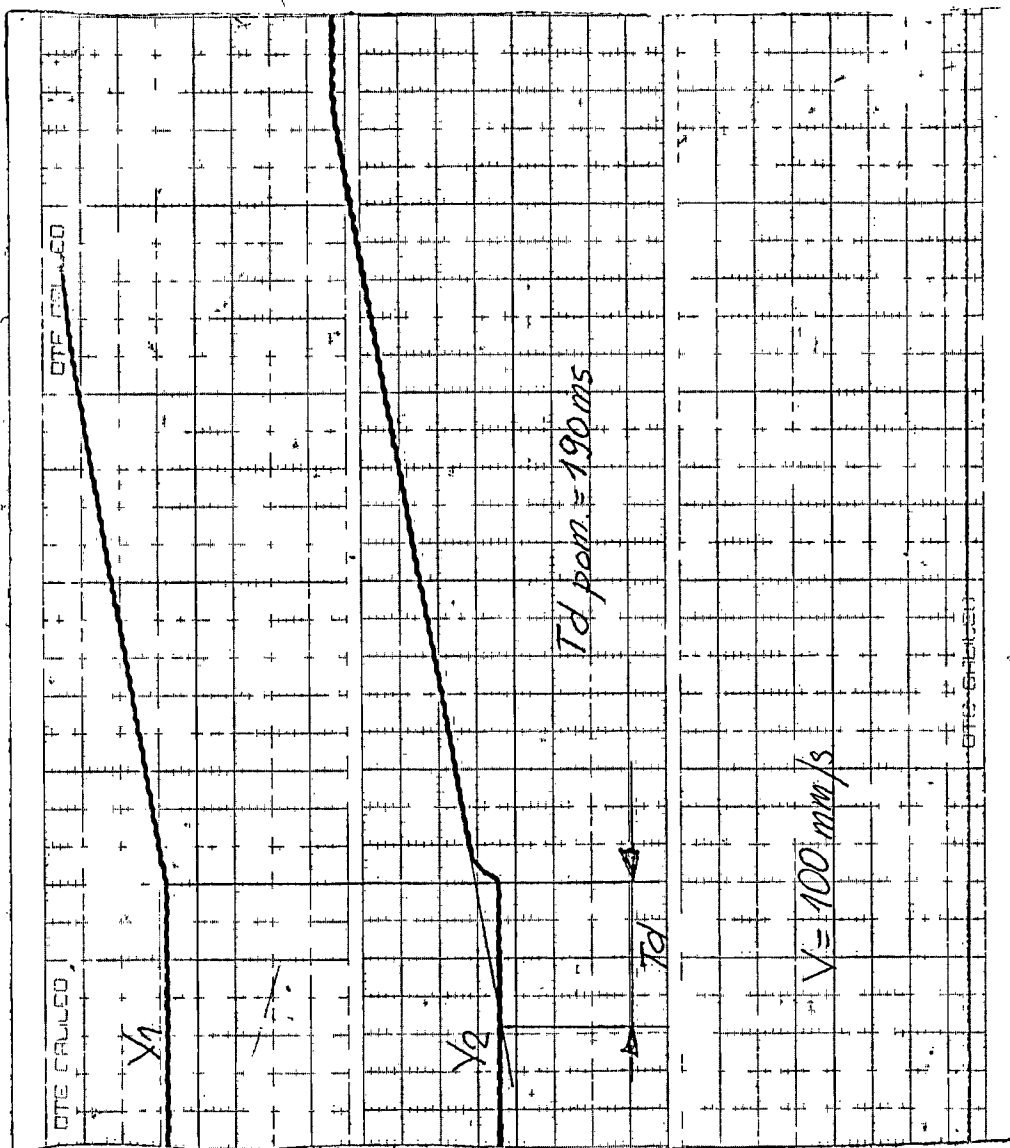




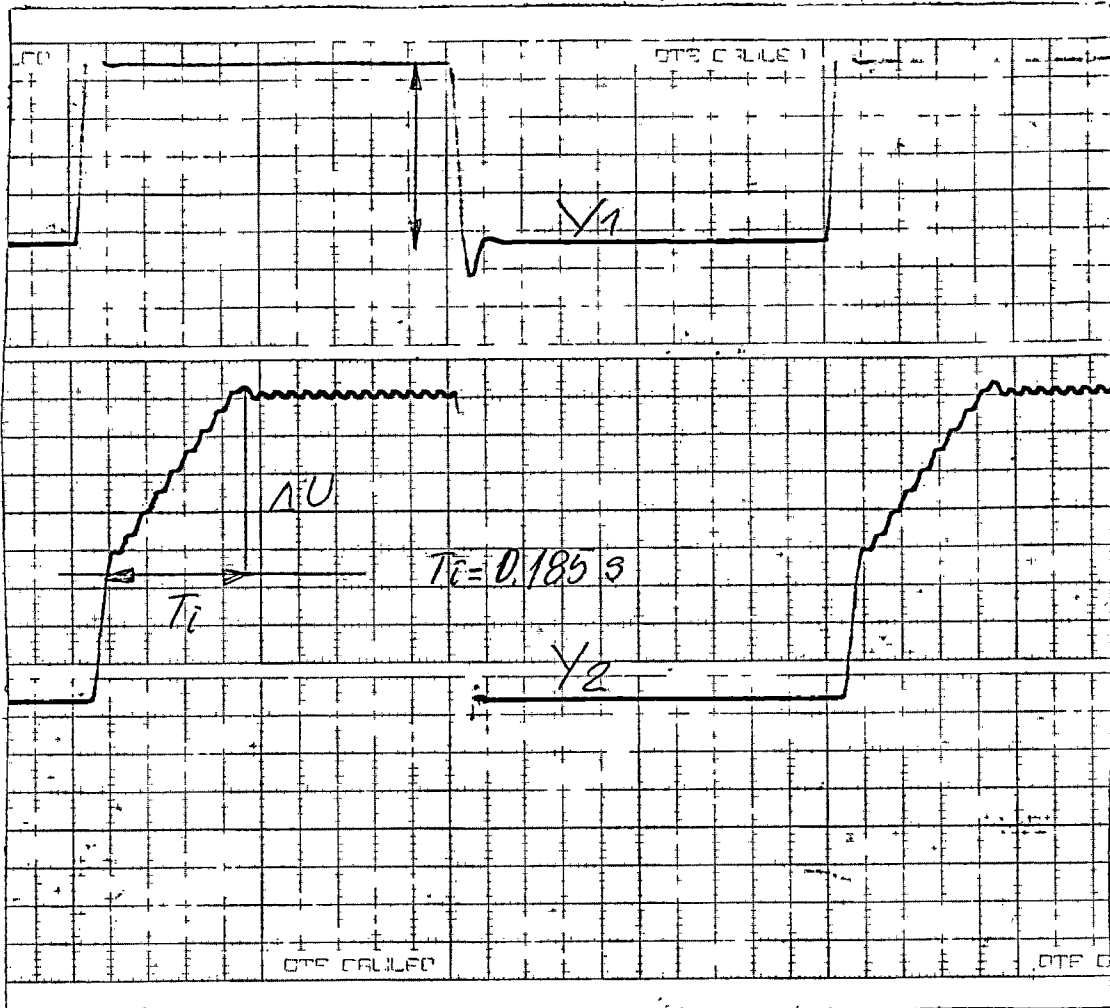
Pomiar  $T_d$  w temp  $-25^{\circ}\text{C}$



Pomiar  $T_d$  w temp.  $70^\circ\text{C}$

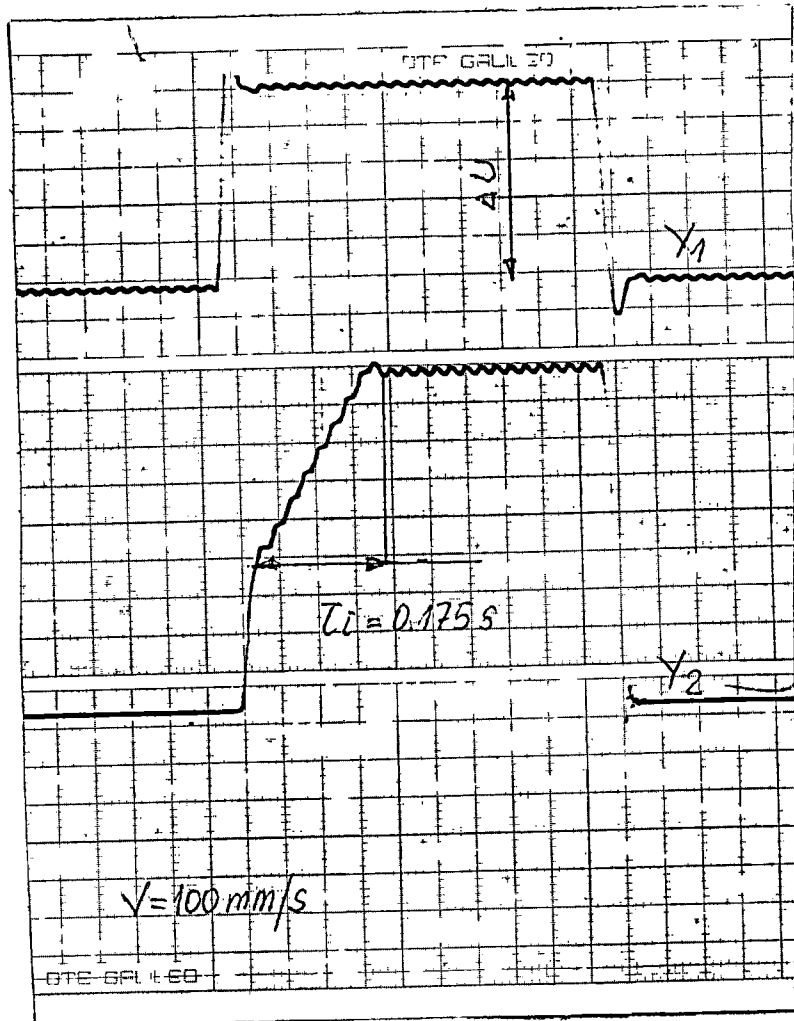


Pomiar  $T_i$   $J_{min}$   $-25^{\circ}\text{C}$



Pomiar  $T_i$

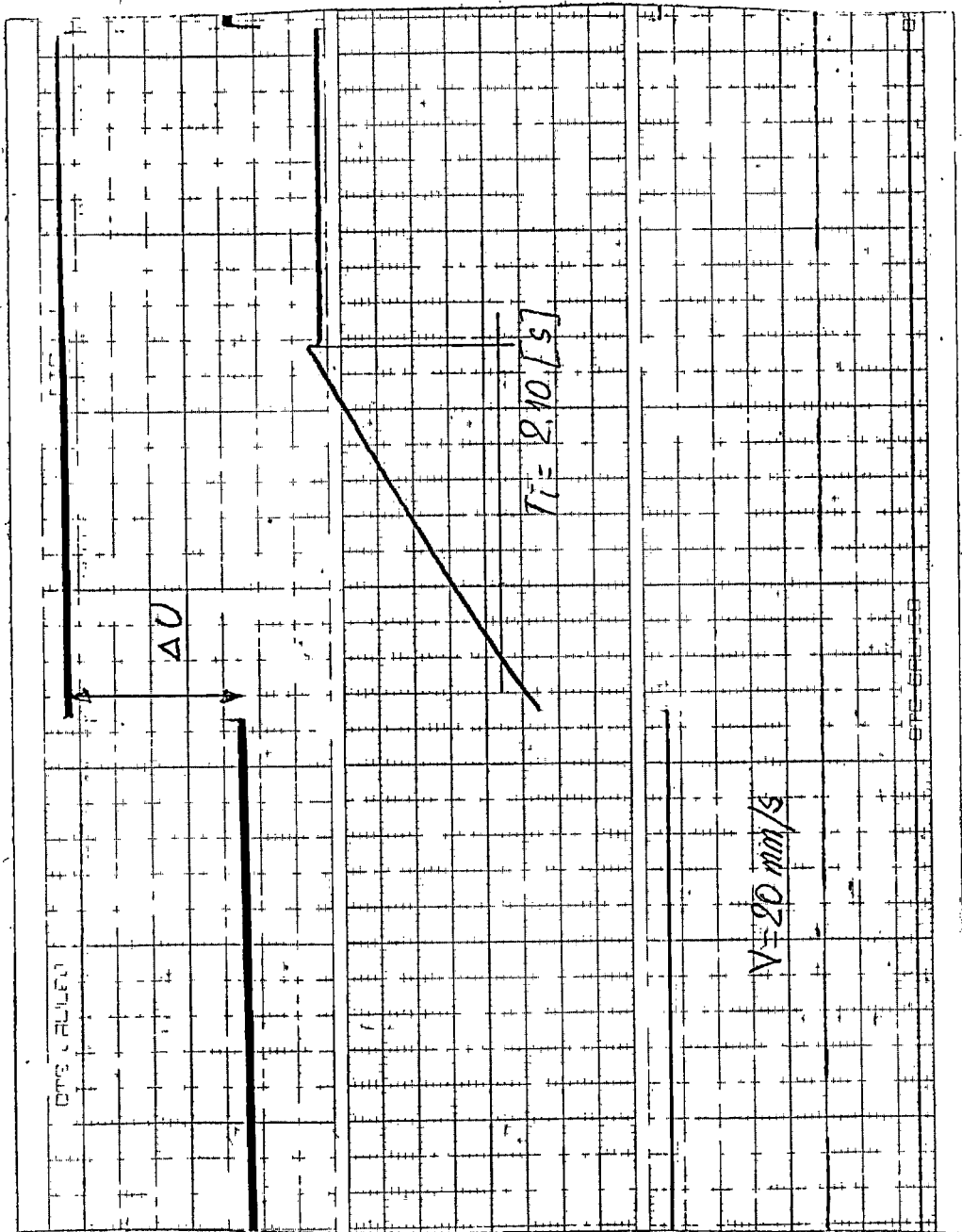
$J_{min}$   
 $t = 70^\circ C$



Pomiar  $T_i$

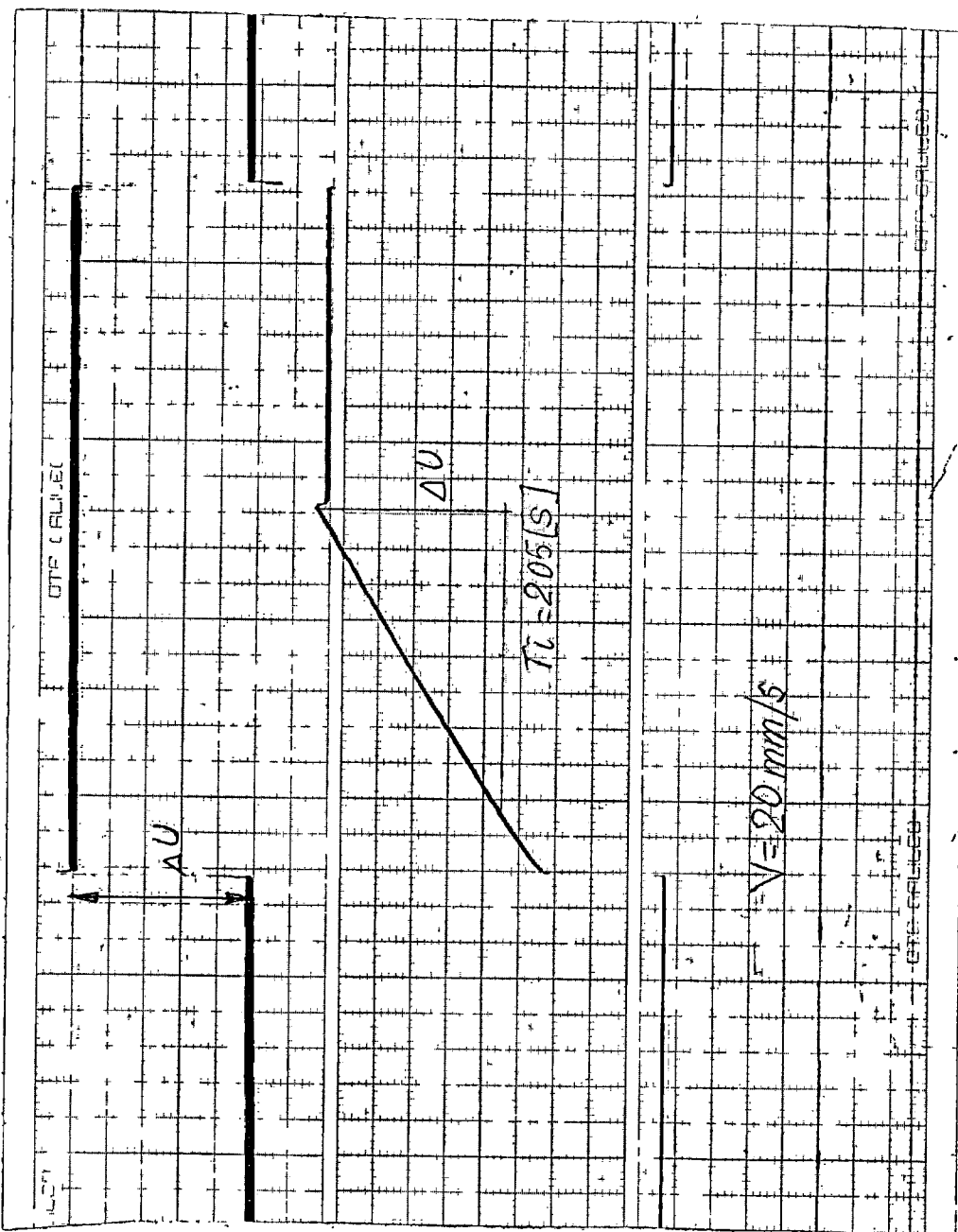
$I_{max}$

$t = -25^{\circ}\text{C}$

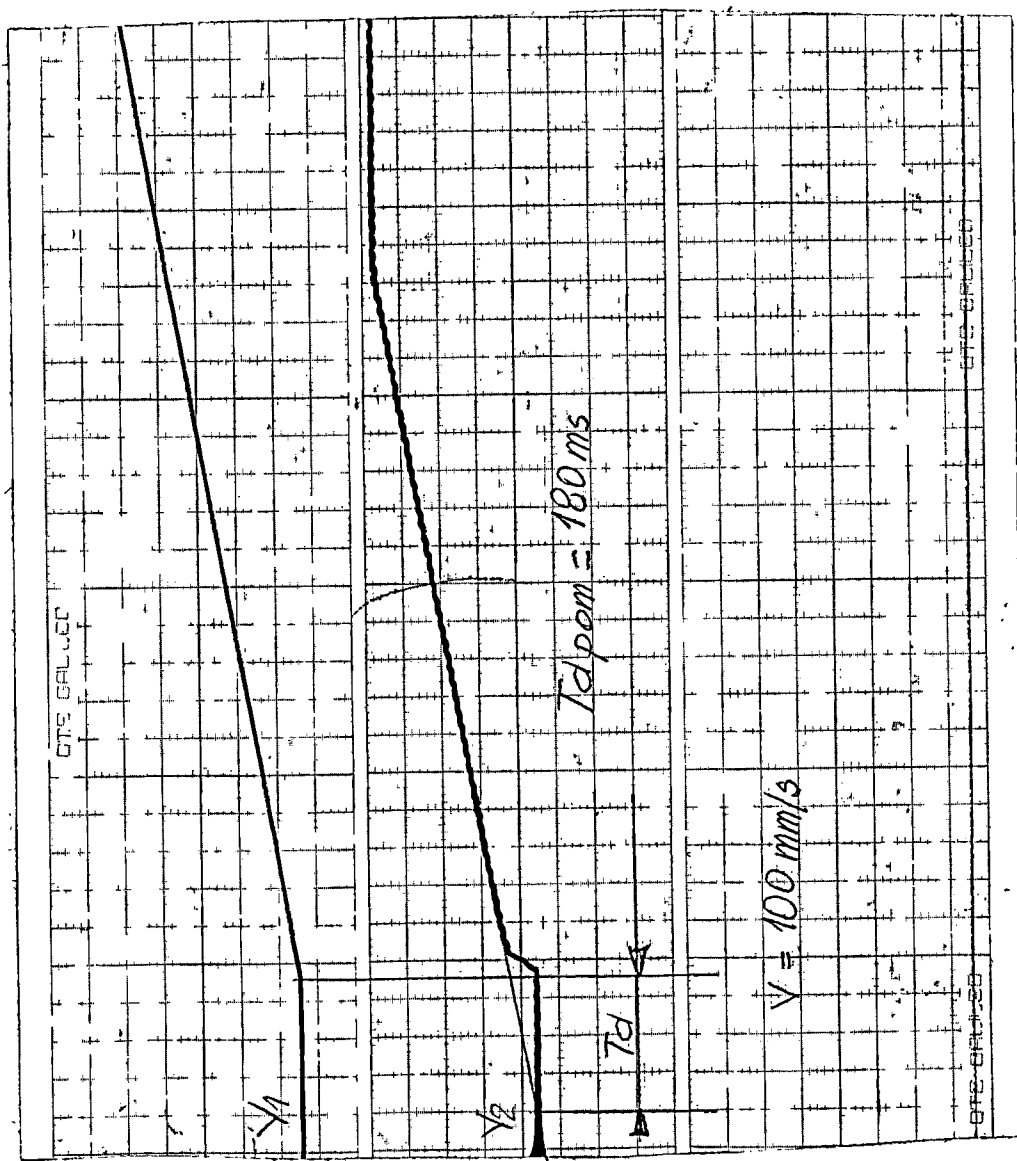


Pomiar  $T_i$   $J_{max}$

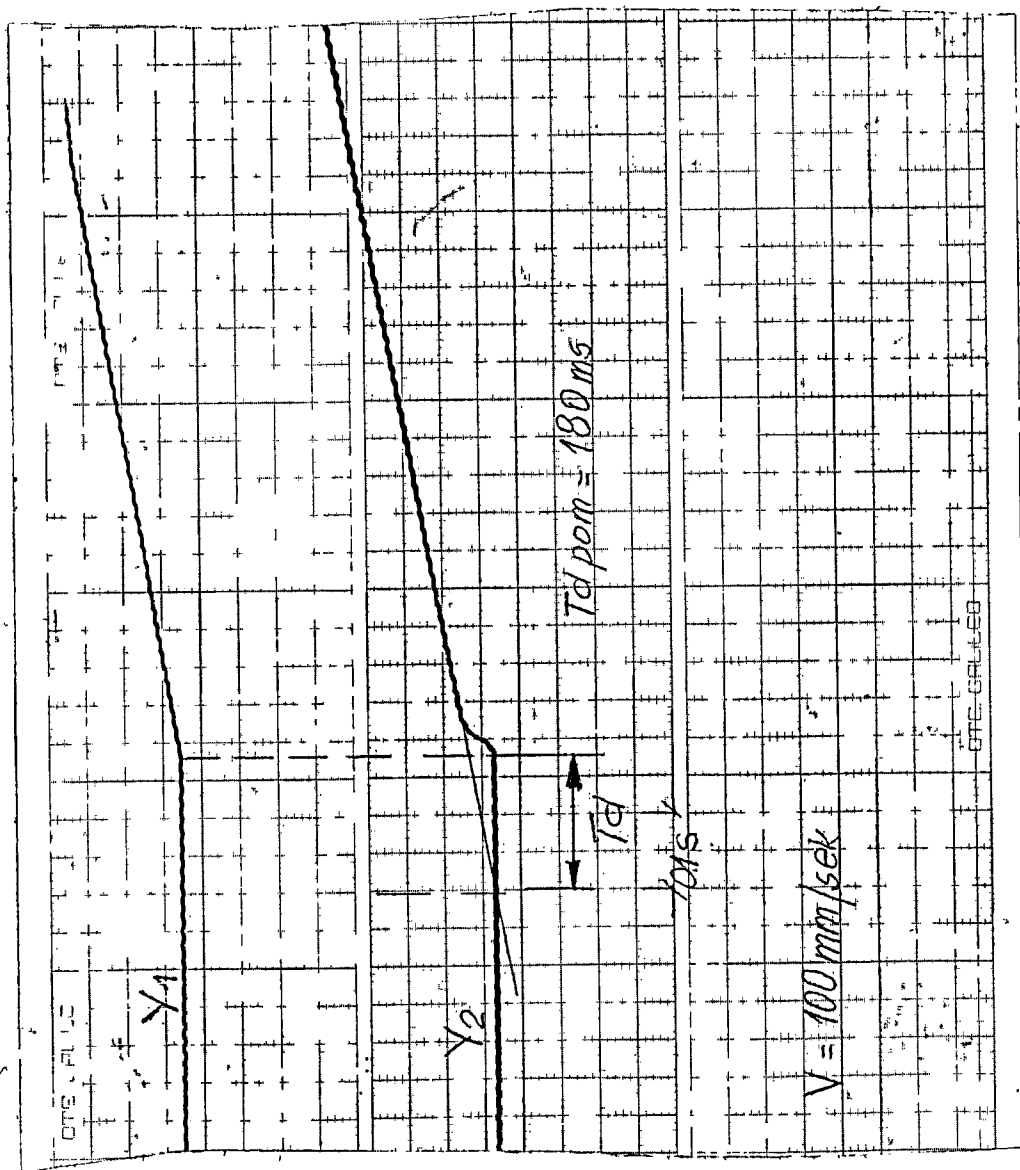
$t = 70^\circ\text{C}$



Pomiar  $T_d$  - bez wibracji

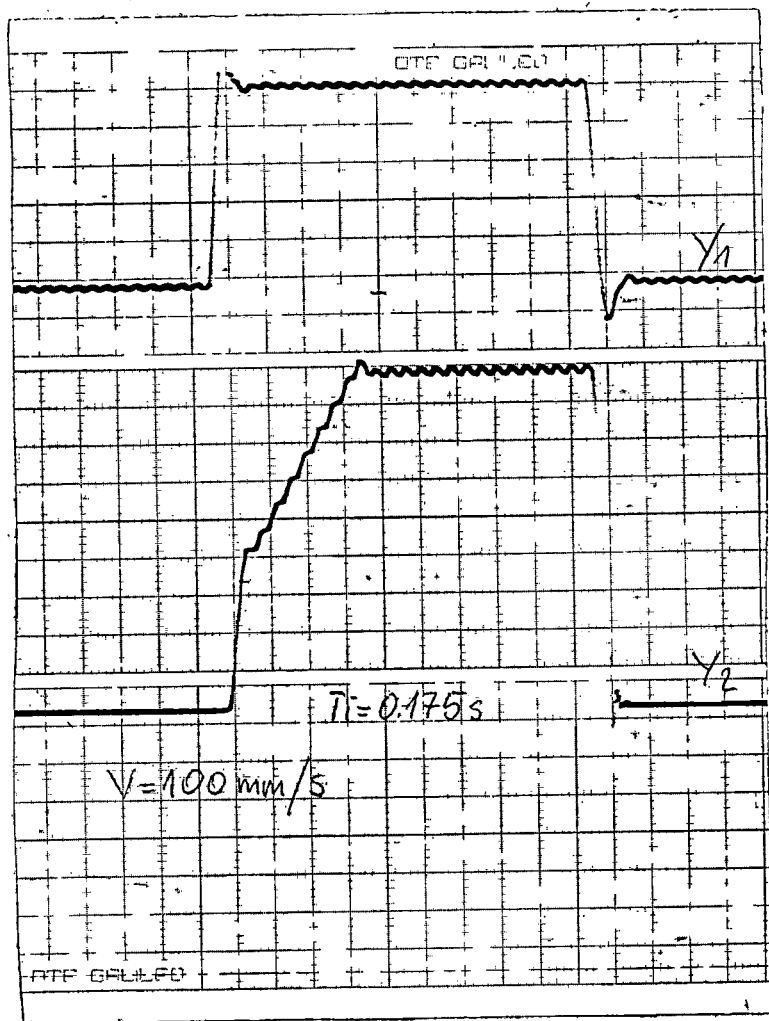


Pomiar  $T_d$  - w trakcie wibracji





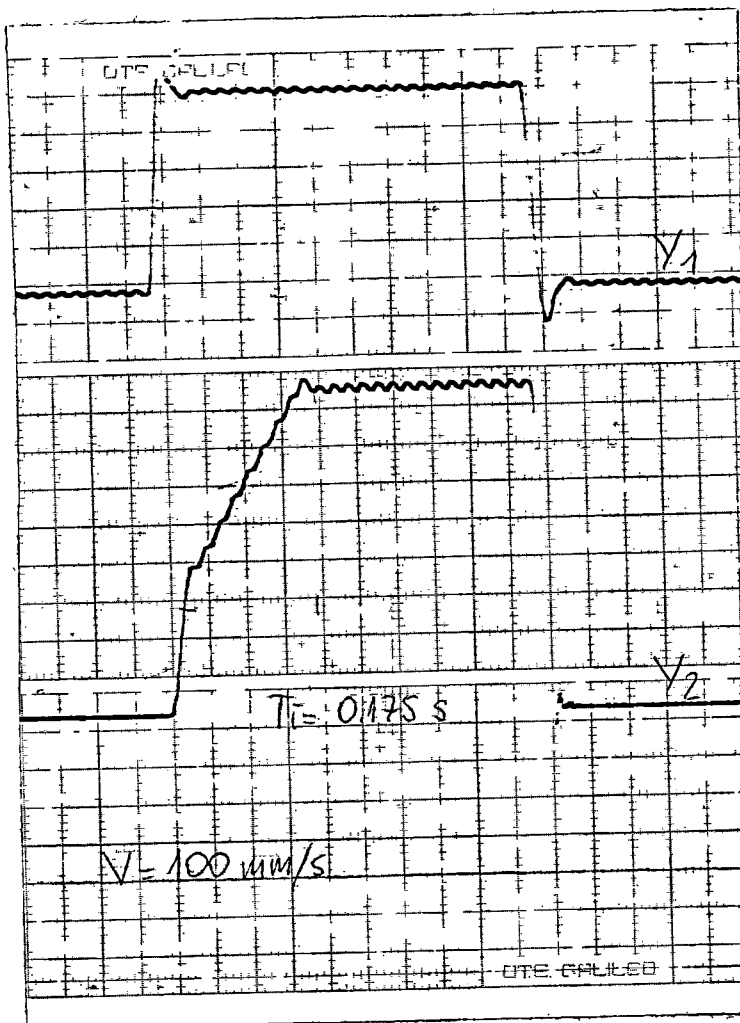
Pomiar  $T_i$   $J_{min}$



bez wibracji

41

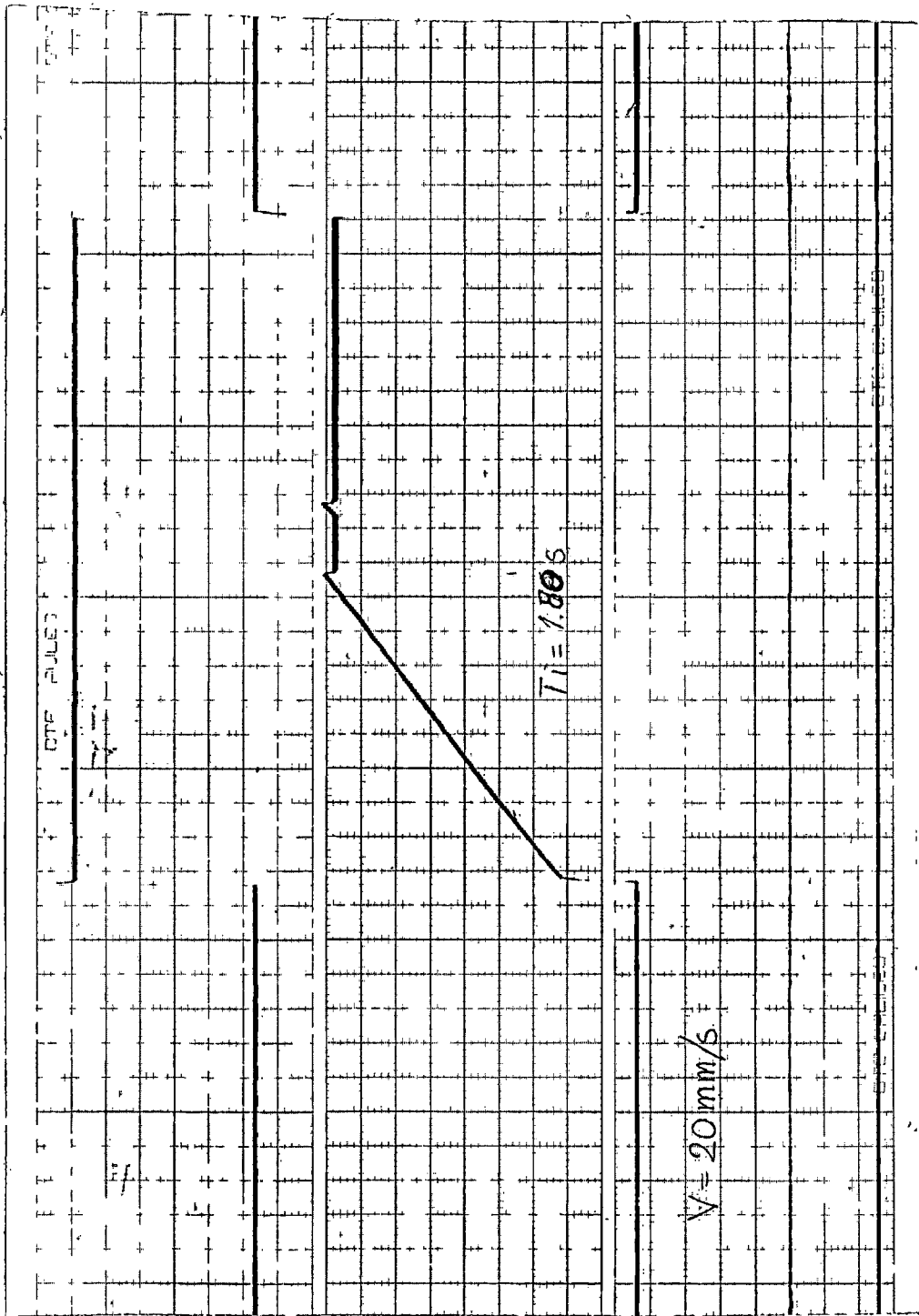
Pomiar  $T_i$   $J_{min}$



w trakcie wibracji

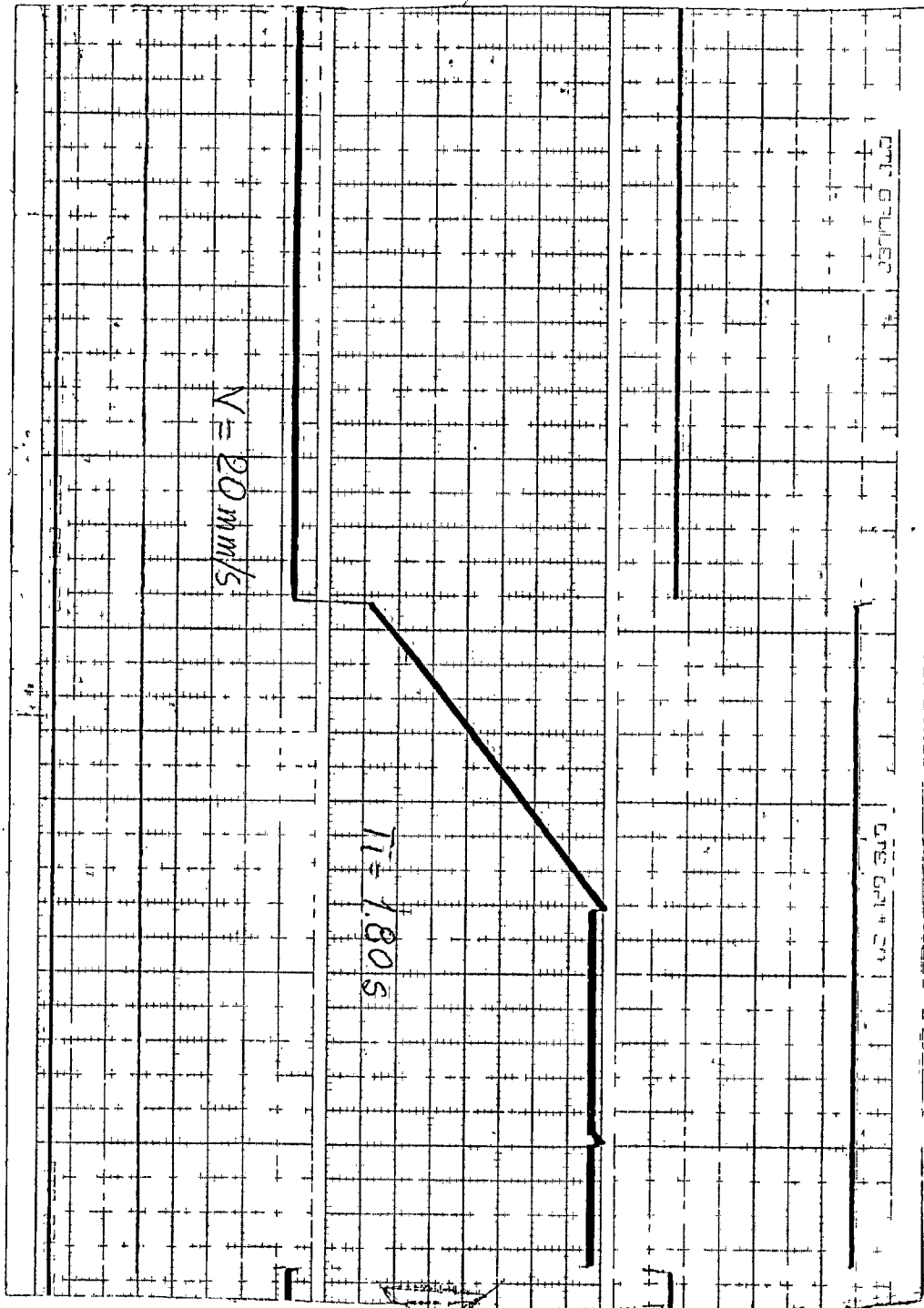
42

Pomiar  $T_i$   $J_{max}$



bez wibracji

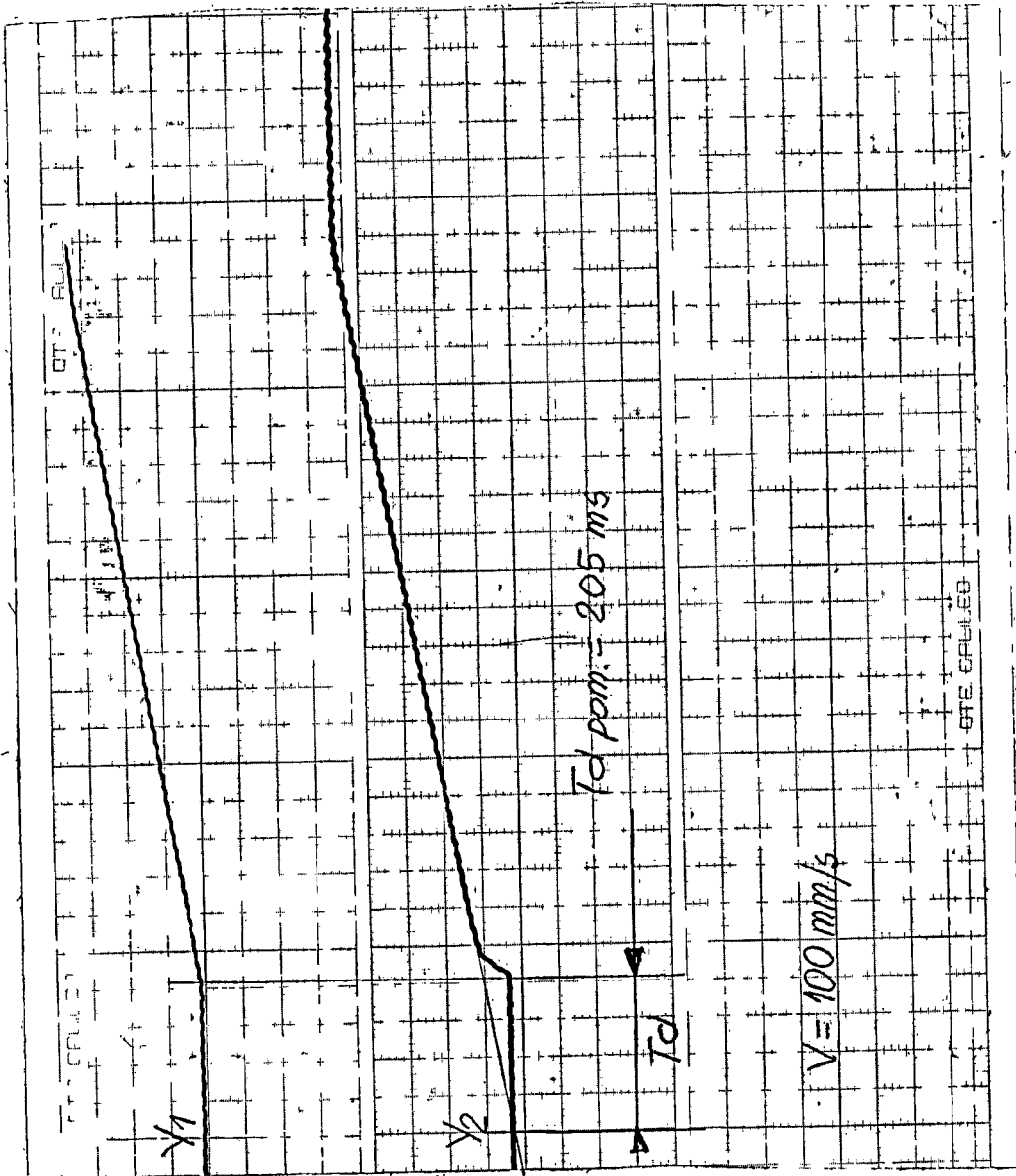
Pomiar  $T_i$   $I_{max}$



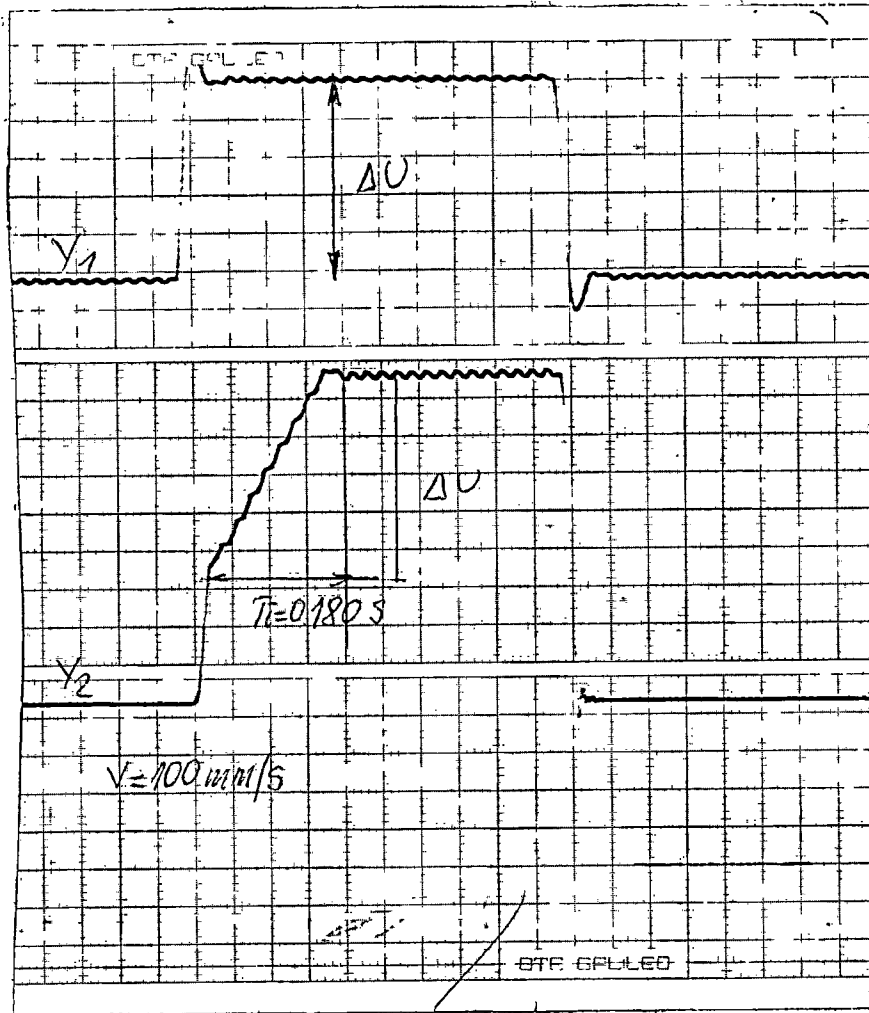
w trakcie wibracji

1/14

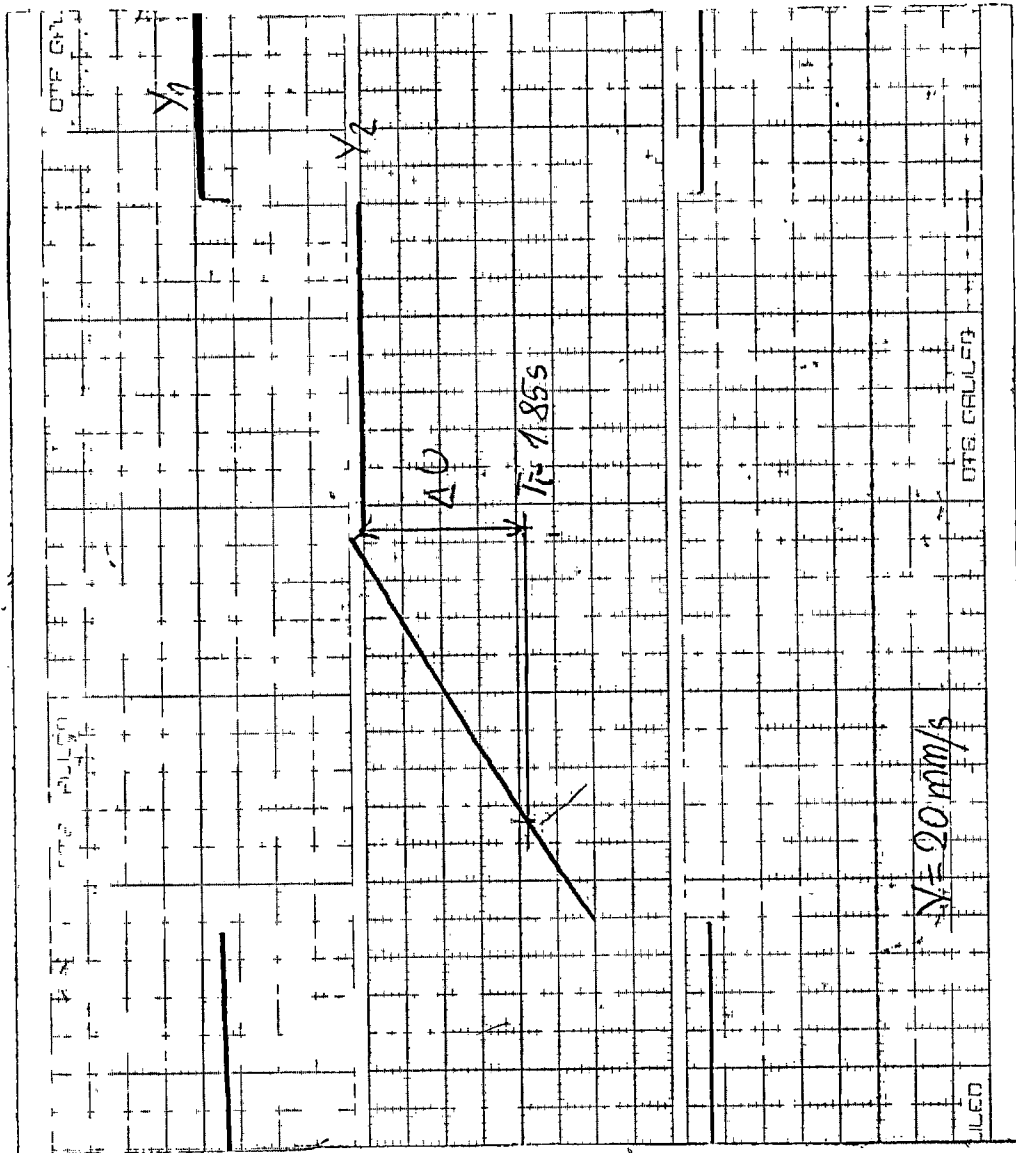
Pomiar  $T_d$ .



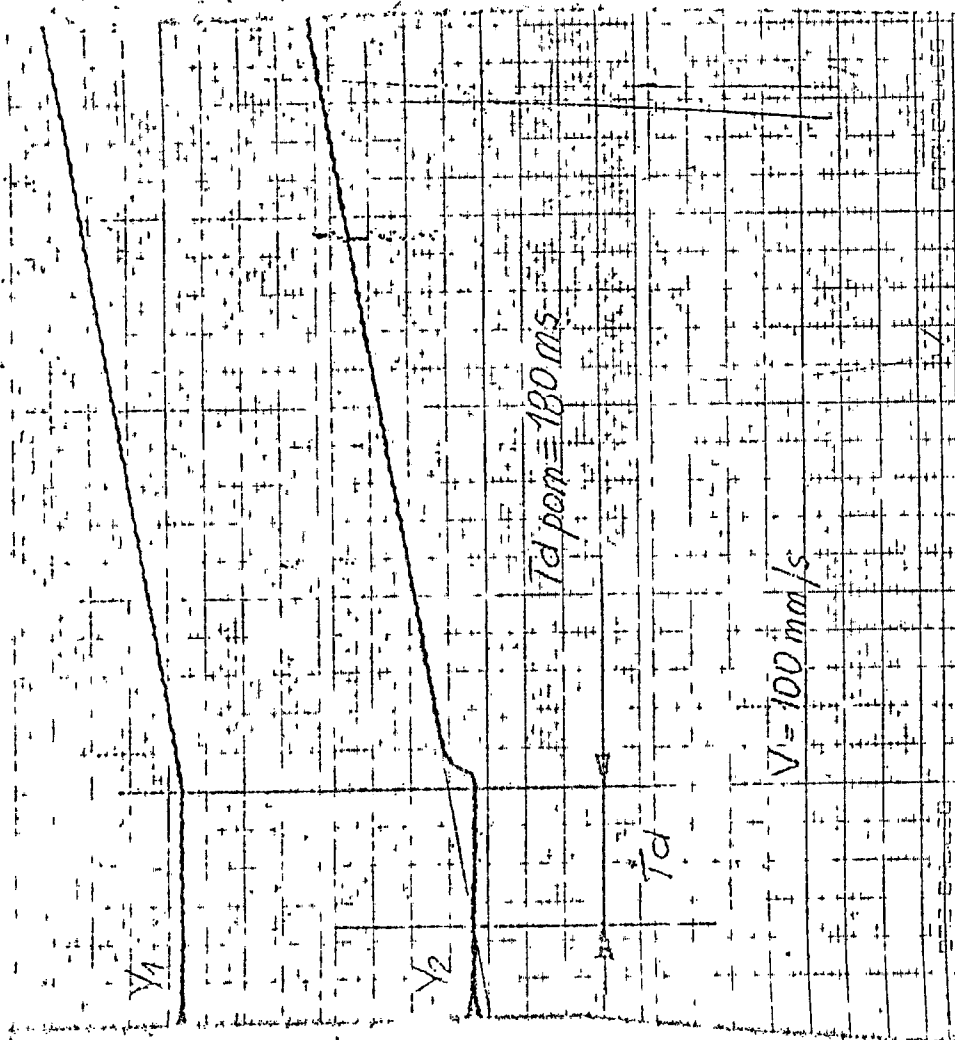
Pomiar  $T_i$   $J_{min}$



Pomiar  $T_i = I_{max}$

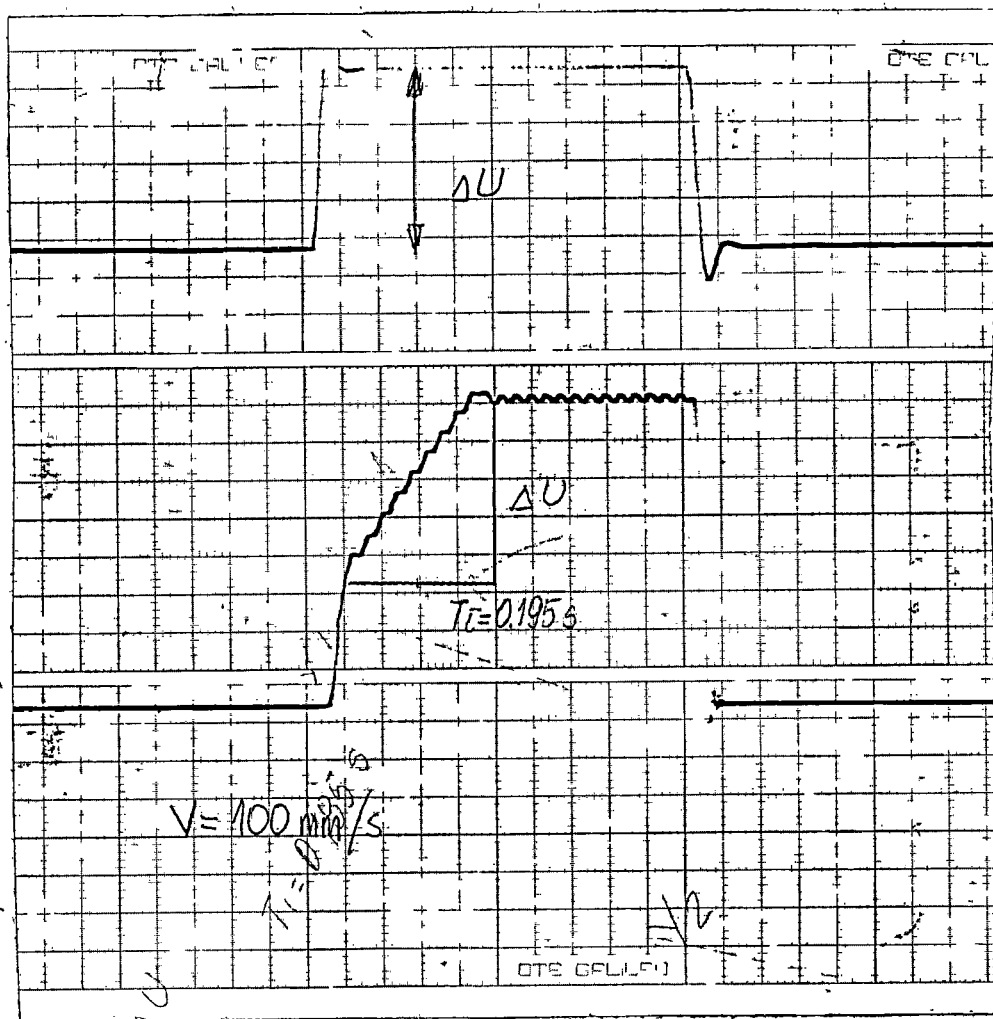


Pomiar  $T_d$

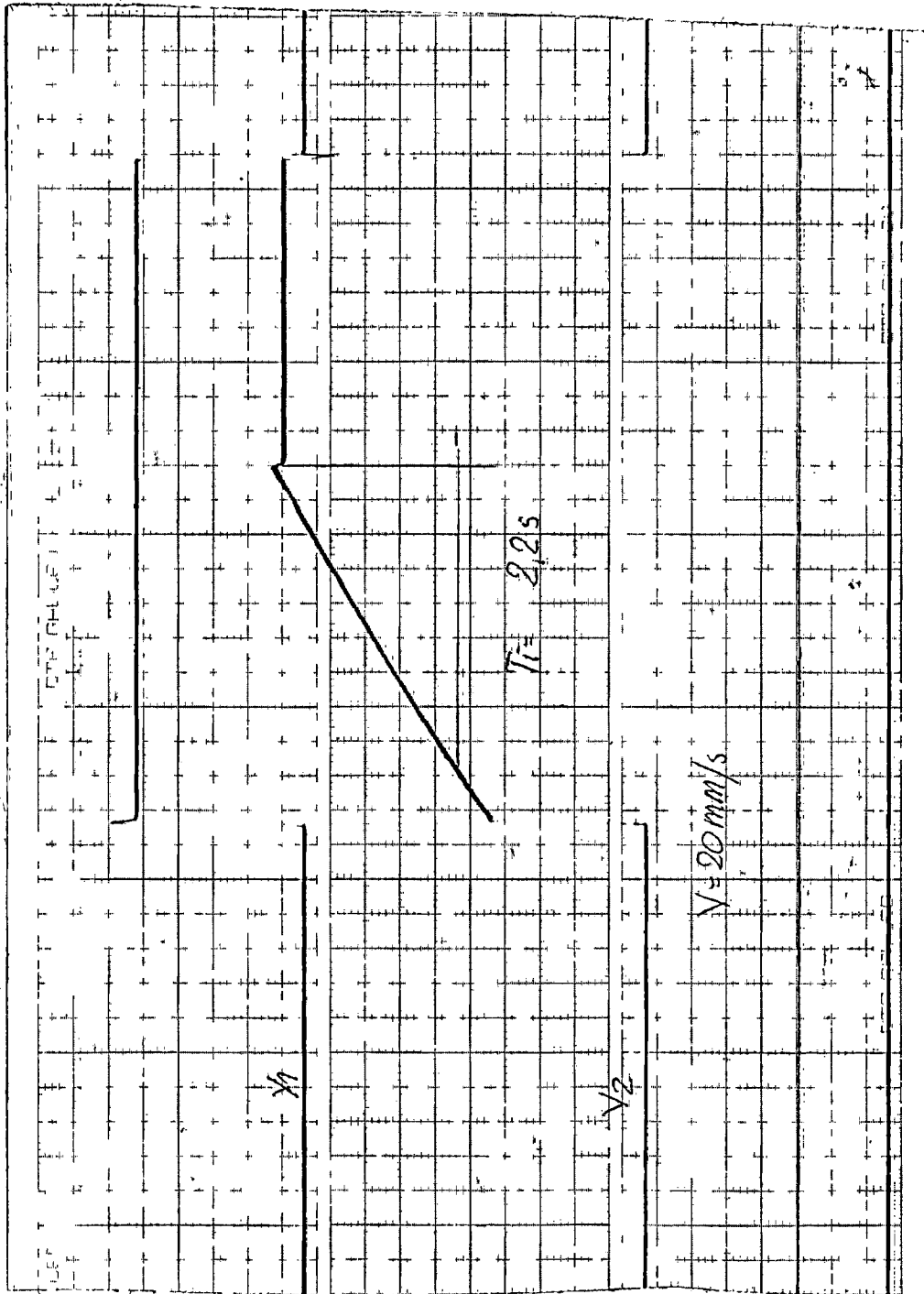




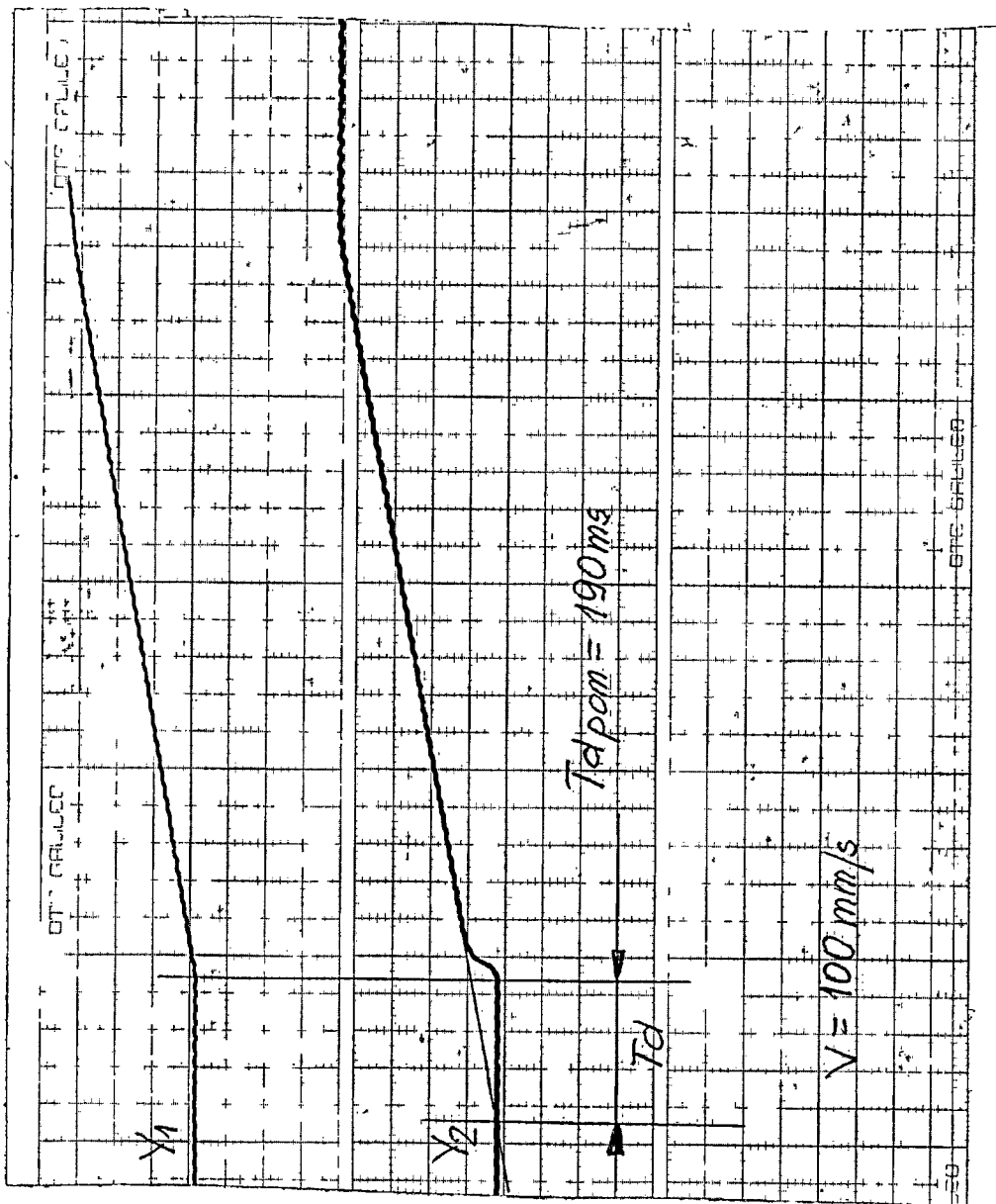
Pomiar  $T_i$   $J_{min}$



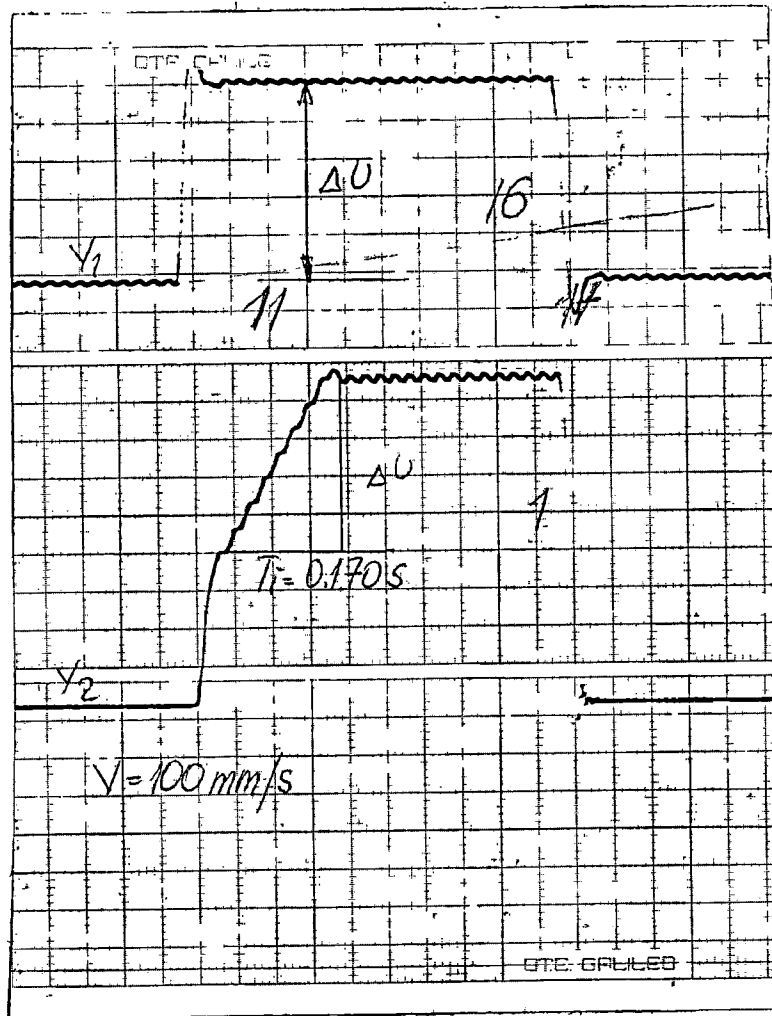
Pomiar  $T_i$   $T_{max}$



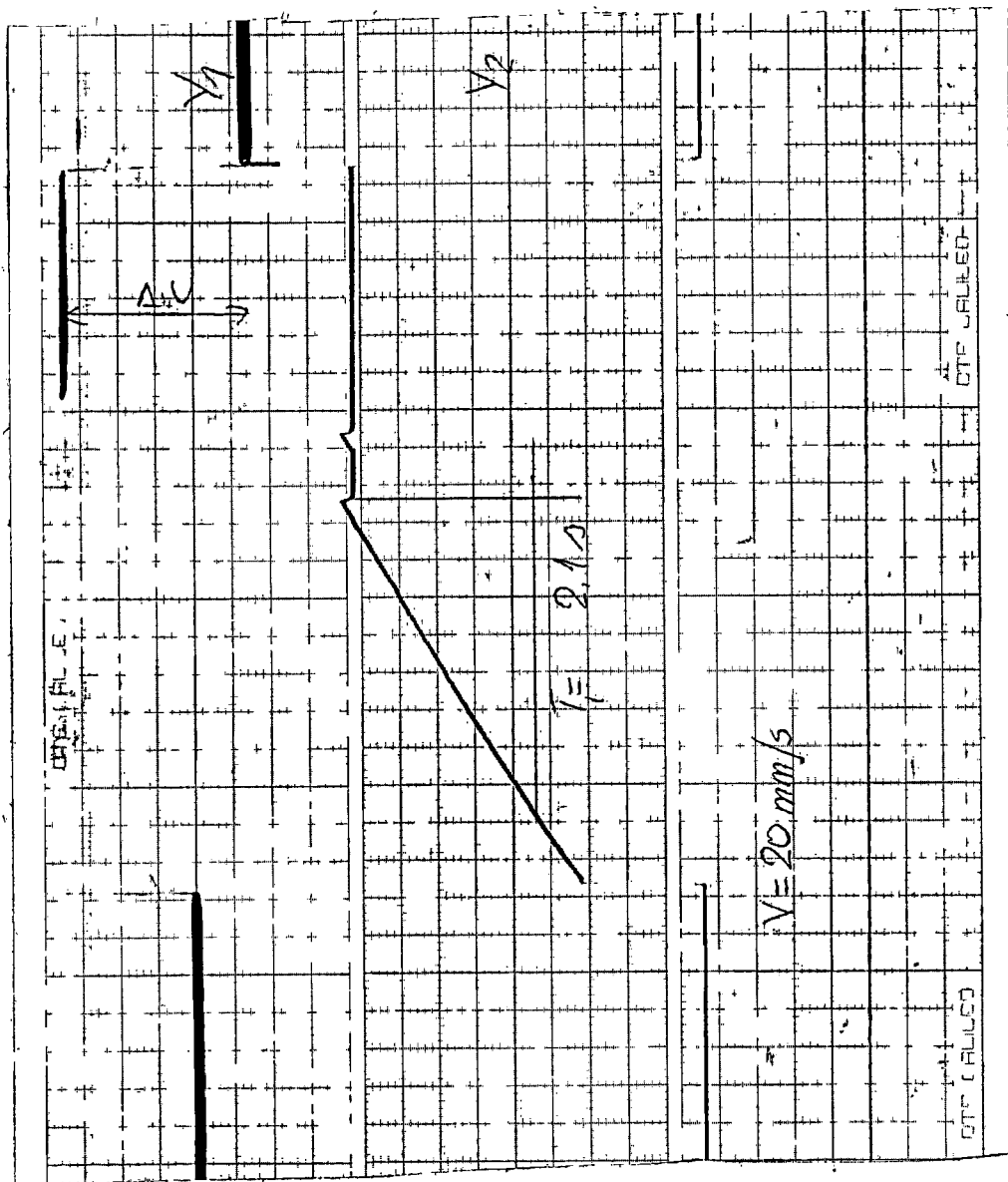
Pomiar  $T_d$



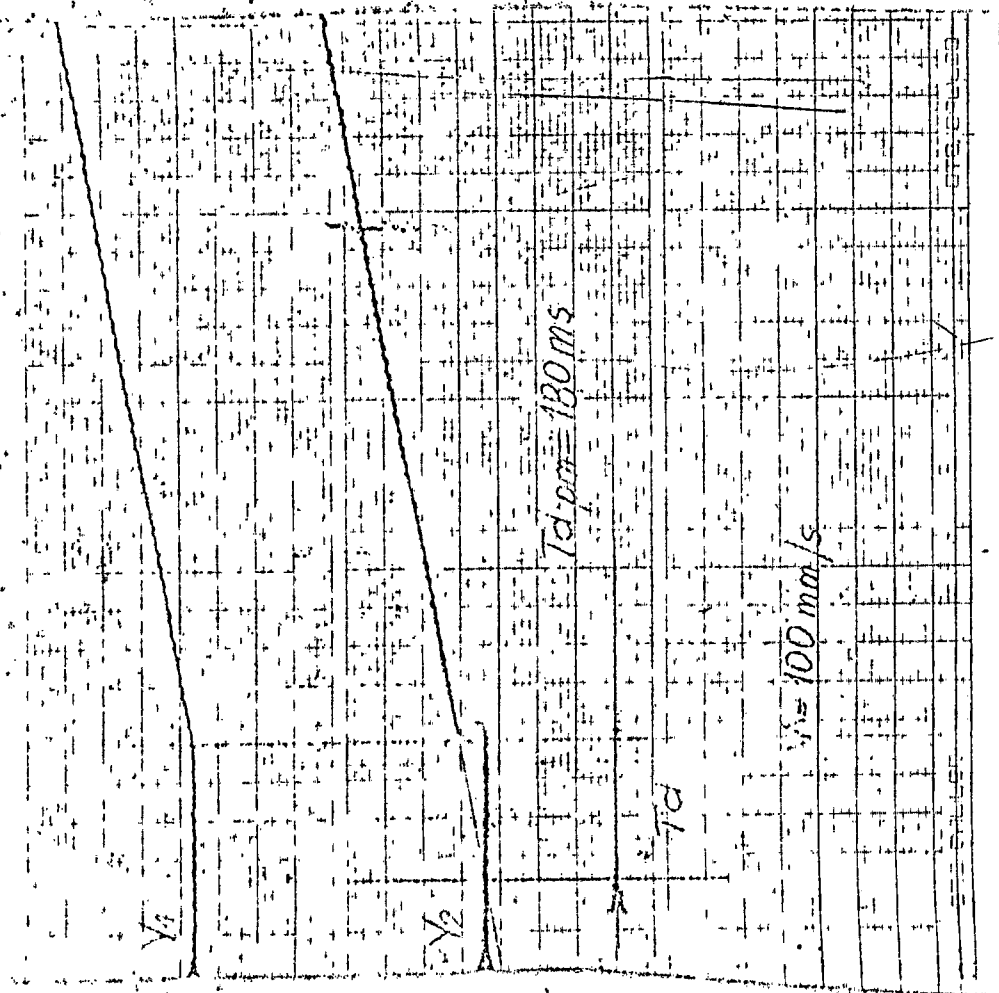
Pomiar  $T_i$   $J_{min}$



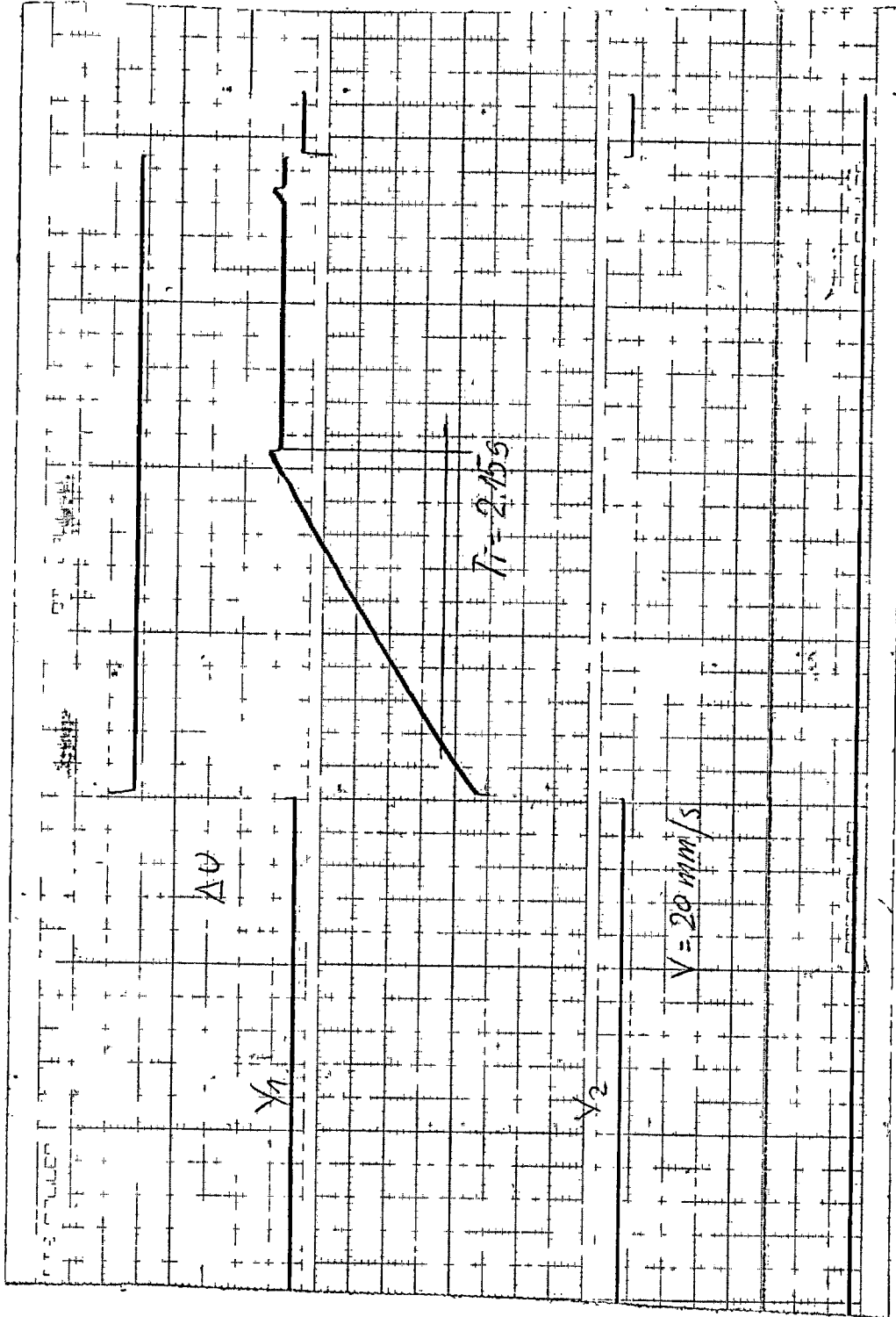
Pomiar  $T_i$   $J_{max}$



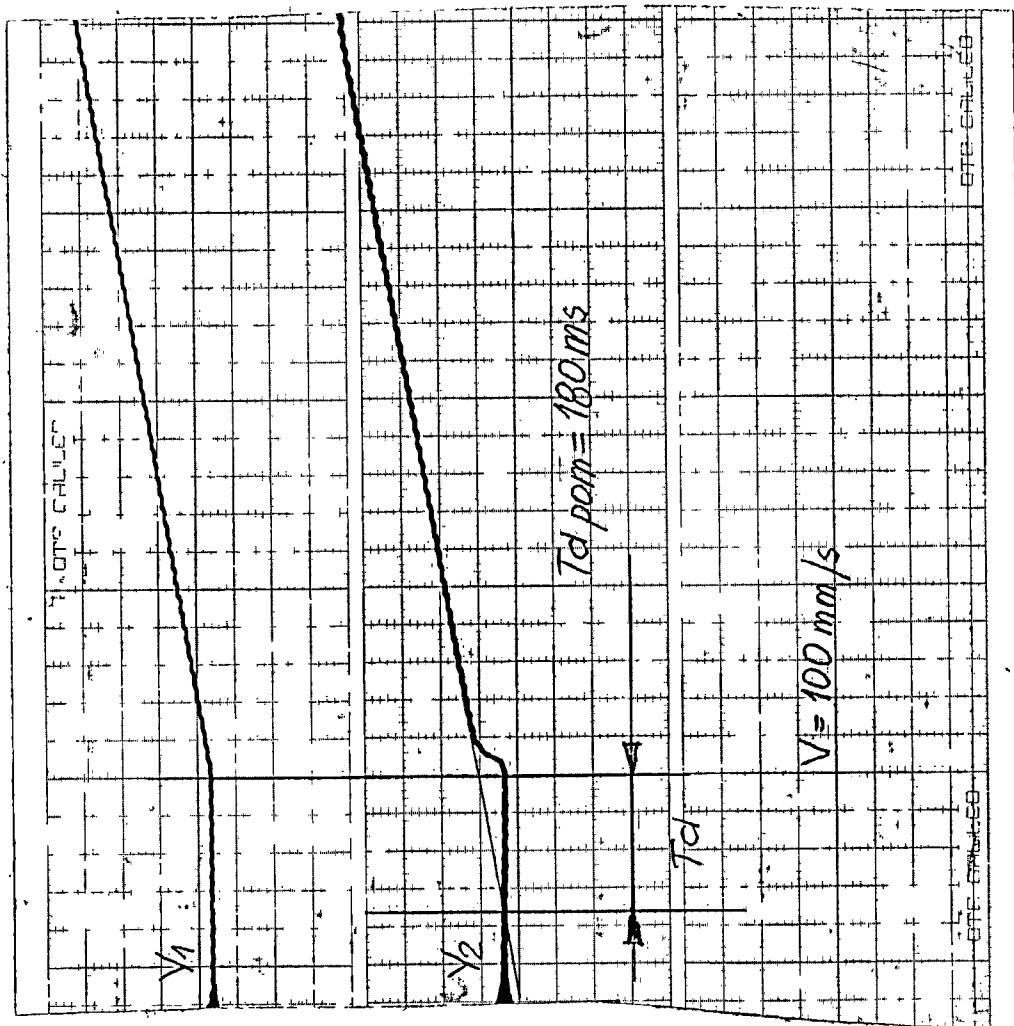
Pomiar  $T_d$



Pomiar  $T_i$   $I_{max}$

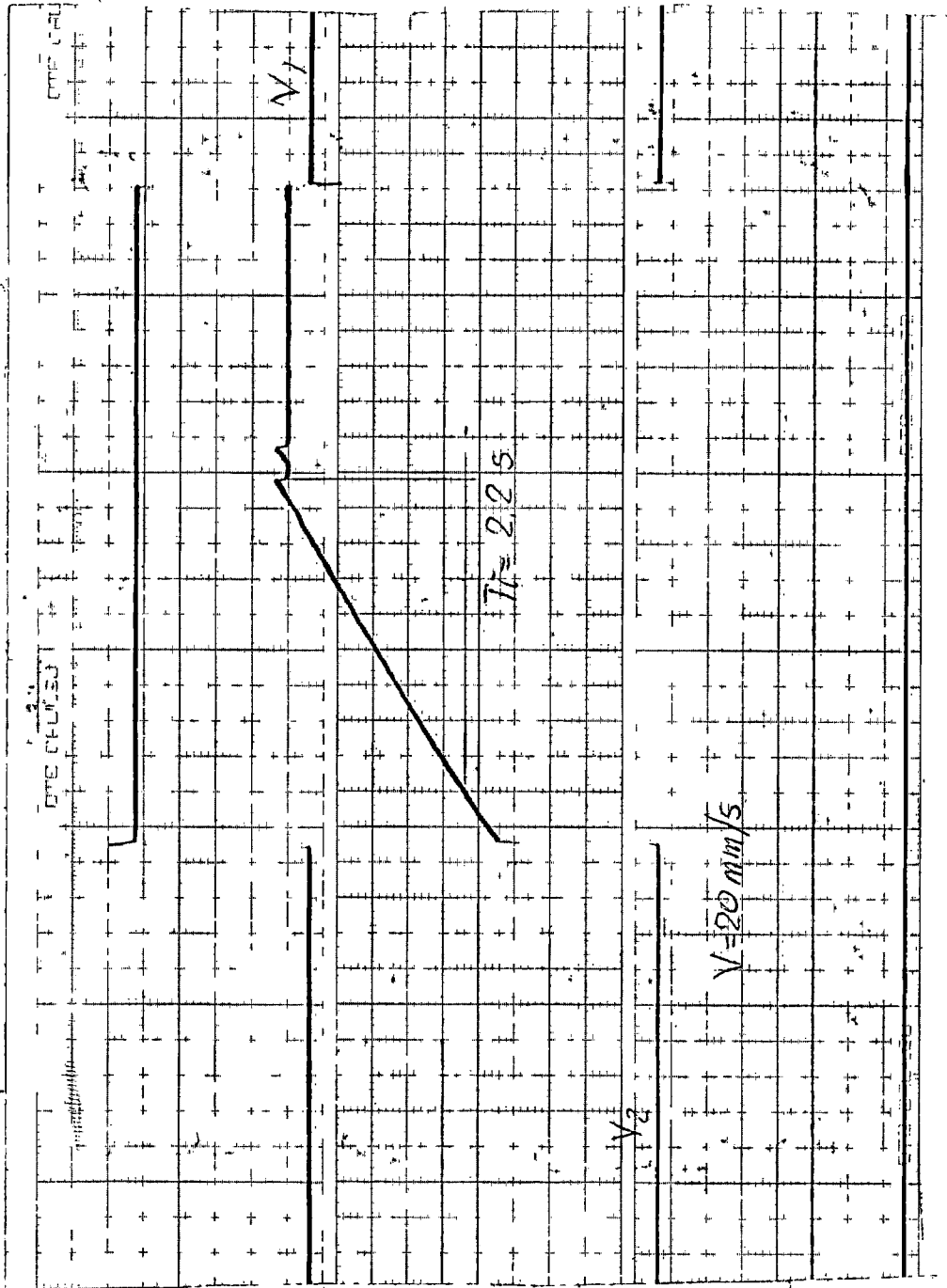


Pomiar  $T_d$

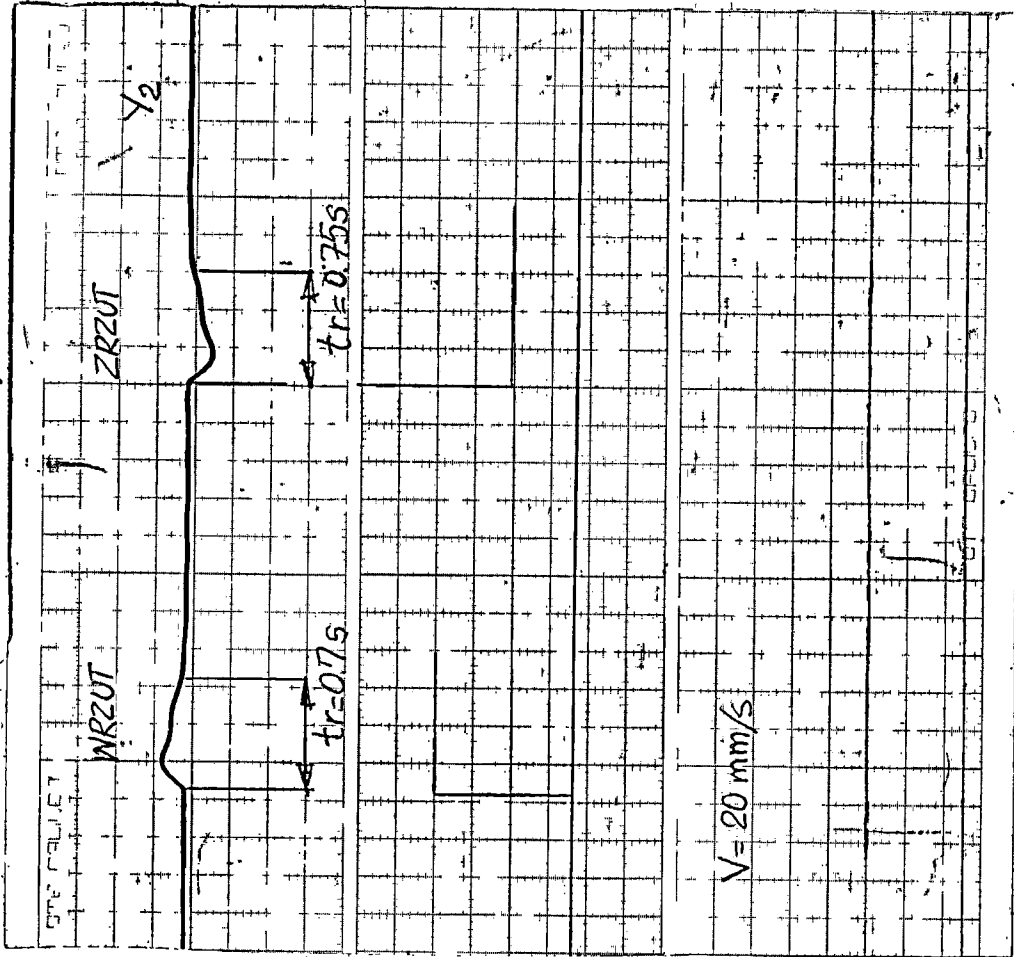




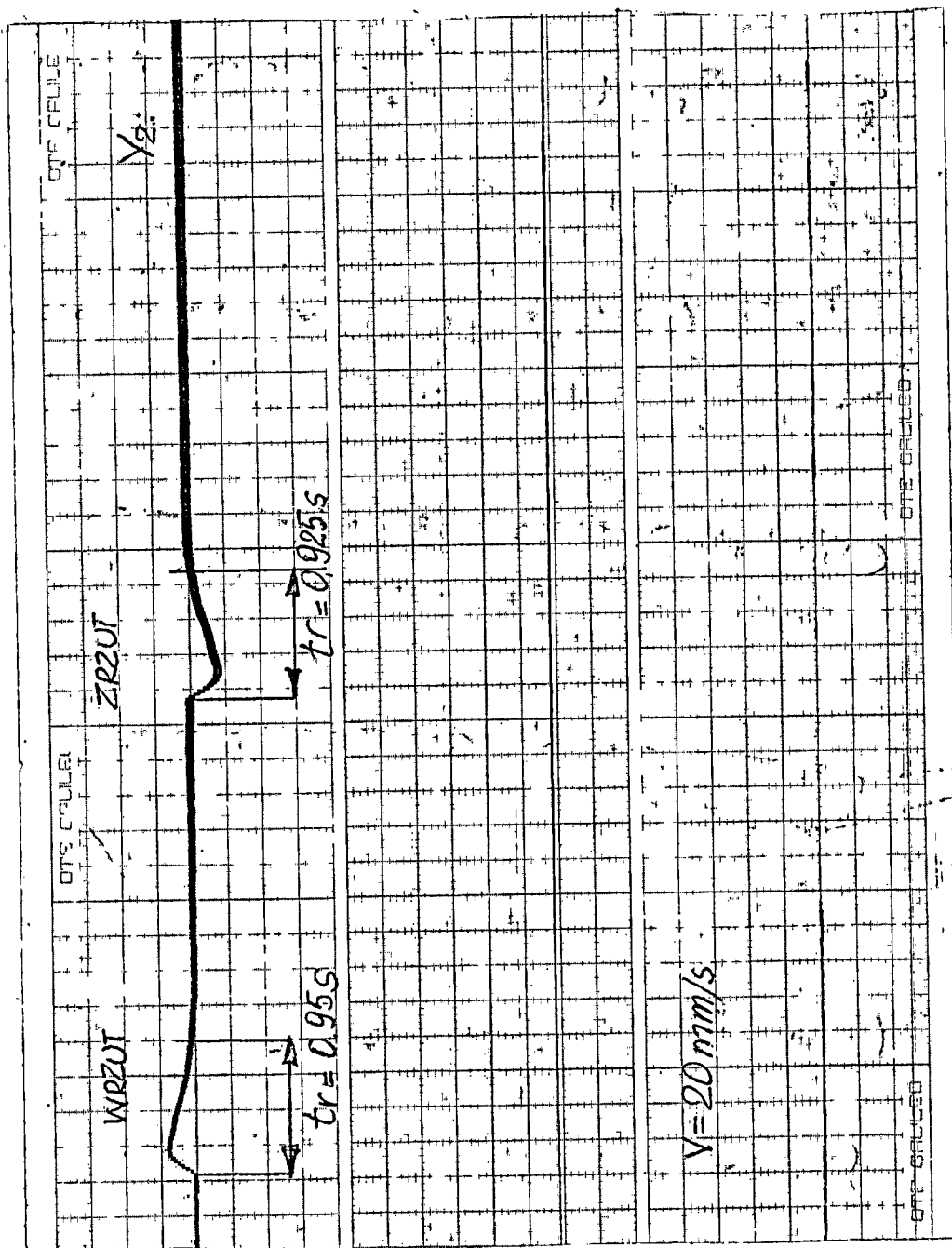
Pomiar  $T_i$   $I_{max}$



$f = 1280 \text{ Hz}$



$f = 3680 \text{ Hz}$



$f = 6080 \text{ Hz}$

