

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202

02-222 Warszawa

Telefon 23-70-81

OŚRODEK POMIARÓW RUCHU I CZASU

074

A

Główny wykonawca mgr inż. Jęzzy Justat

Wykonawcy mgr inż. M. Fabrycy, tech. Z. Darda, tech. W. Woliński,
tech. E. Lewicka-Gawron

Konsultant

Nr zlecenia RP.104.2

Temat: Zbadanie możliwości wykorzystania efektu magnetostrykcji do budowy czujników momentu.

Zadanie 3.1 Opracowanie i wykonanie układów modelowych i ich badania oraz analiza zakresu zastosowań.

Zleceniodawca Centralny Plan Badawczo-Rozwojowy 7.1

Pracę rozpoczęto dnia 1987.10.30

zakończono dnia 1988.11.30

Kierownik Pracowni

mgr inż. M. Fabrycy

Z-ca Dyrektora
d/s Pomiarów

dr inż. J. Kisiński

Kierownik Ośrodka

dr inż. P. Karkoska

Praca zawiera:

stron 44

rysunków

fotografii

tabel

tablic

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOKITE

Egz. 2 SE

Egz. 3 ORC

Egz. 4

Egz. 5

Egz. 6

Nr rejestr. 6163

Analiza deskryptorowa CZUJNIK MOMENTU

Analiza dokumentacyjna KONSTRUKCJA CZUJNIKÓW MOMENTU I ICH BADANIE

Tytuły poprzednich sprawozdań

Repoznanie stanu techniki i opracowanie koncepcji wykorzystania efektu magnetostrykcji w czujnikach momentu nr. rej. 5805

Opracowanie i wykonanie stanowiska badawczego nr. rej. 5952

UKD

PIAP 41/88 10000

SPIS TREŚCI

	str.
1. Informacje ogólne	2
1.1 Cel pracy	2
1.2 Podstawa wykonania pracy	2
1.3 Zakres pracy	2
2. Badania podstawowe	2
2.1 Badania materiałów magnetostrykcyjnych	2
2.1.1 Badania taśm amorficznych	3
2.1.2 Badania cienkich warstw FeNi i Ni	3
3. Konstrukcje czujników momentu	5
3.1 Czujnik paskowy	5
3.2 Czujnik z dwoma warstwami	6
3.3 Czujnik z jedną warstwą	6
3.4 Czujnik krzyżowy	7
4. Analiza wyników badań	7
5. Układ przetwarzający sygnał z czujnika	8
6. Analiza zastosowań	9
7. Wnioski z badań	9
8. Rysunki i wykresy	11

1. INFORMACJE OGÓLNE

1.1 Cel pracy.

Celem pracy jest zbadanie możliwości wykorzystania efektu magnetostrykcji do budowy czujników momentu.

1.2 Podstawa wykonania pracy.

Praca jest realizowana na zlecenie nr.RP 104.2 w Centralnym Planie Badawczo Rozwojowym 7.1. "Roboty Przemysłowe".

1.3 Zakres pracy.

Etap 3.1 obejmuje opacowanie, wykonanie i badania układów modeli magnetostrykcyjnych czujników momentu oraz analizę zakresu zastosowań.

2. BADANIA PODSTAWOWE.

2.1. Badania materiałów magnetostrykcyjnych .

Z rozpoznania stanu techniki przeprowadzonego w etapie 1.1 wynikało, że najbardziej interesujące właściwości magnetostrykcyjne posiadają taśmy amorficzne i cienkie warstwy Ni i FeNi. W celu otrzymania stopów FeNi i Ni nawiązano współpracę z Wydziałem Chemii Politechniki Warszawskiej Taśmy amorficzne uzyskano z Instytutu Metali Nieżelaznych w Gliwicach.

Do badań wykorzystano stanowisko pomiarowe zbudowane w etapie wcześniejszym.

Celem badań było otrzymanie charakterystyki $U_{wy}=f(n)$ (n-napężenia) i sprawdzenie wpływu zmiany natężenia pola

magnetycznego H zależnego od natężenia prądu i częstotliwość prądu zasilającego na liniowość, czułość, histerezę, taśmy i warstw FeNi i Ni.

2.1.1 Badania taśm amorficznych

Przeprowadzono badania następujących taśm amorficznych:

FeSiB, FeCo₇₉B₁₆Si₅, (FeCo)₇₈B₁₃Si₉. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys 1.

Badania taśm przeprowadzono dla prądów sinusoidalnych o natężeniu $I=10\text{mA}-500\text{mA}$, częstotliwości $f=50-50000\text{Hz}$, naprężenia $n=0-7\text{kG/mm}^2$. Zaobserwowano 100% zmiany sygnału wyjściowego, co świadczy o dużej czułości taśm. Liniowość przebiegu zależna jest od natężenia prądu i częstotliwości. Charakterystyki taśm przedstawiono na rys 8..11.

Badania taśm potwierdziły ich doskonałe właściwości magnetoelastyczne.

2.1.2 Badania cienkich warstw Ni i FeNi

Badania cienkich warstw FeNi i Ni nanoszonych metodą elektrolityczną przeprowadzono na próbkach walcowych wykonanych z następujących materiałów stal st3, 15, 45, Pa7. Próbki walcowe poddawano ścisnaniu z siłą 0-5 T. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys 2. Zbadano następujące warstwy :

nr próbki.	podłoże	warstwa	grubość
53	15	Ni	100 μm
54	45	Ni	100 μm
59	st3	Ni	100 μm
56	45	FeNi	100 μm

58,57	15	FeNi	100 μ m
60	st3	FeNi	100 μ m
62	PA6	Ni	100 μ m
63	PA6	FeNi	100 μ m

Przeprowadzone badania wykazały bardzo małą czułość próbek bez naniesionych warstw. Na rys 12..18 przedstawiono charakterystyki próbek $U_{wy} = f(n)$; n - naprężenia dla natężeń prądów od 10 - 300mA i częstotliwości 50- 150000 Hz. Charakterystyki pozwalają ocenić liniowość i czułość próbek. Jako kryterium przydatności danych warstw wzięto czułość danej próbki (rys.24,29), określona jako względną zmianę sygnału wyjściowego na jednostkę naprężenia według wzoru $k = ((U_{wyk} - U_{wyp}) / U_{wyp}) / (M_k - M_p)$ dla określonego natężenia prądu i częstotliwości. W wyniku przeprowadzonych pomiarów porównano czułości próbek z warstwami FeNi i Ni. Wartości dodatnie czułości oznaczają zmiany sygnału napięciowego, a ujemne zmiany sygnału prądowego w obwodzie cewki wzbudzającej. Okazało się, że czułość warstw FeNi jest dużo większa. Największą czułość posiadała próbka nr 63 PA6 z warstwą FeNi. Zaobserwowano duże zmiany natężenia prądu w obwodzie cewki wzbudzającej spowodowane naprężeniami. Stwarza to możliwość zbudowania czujnika z jedną cewką. Następnie przeprowadzono próby z miedzianą warstwą umieszczoną między wałkiem a warstwą FeNi.

Zbadano następujące próbki:

nr próbki	podłoże	Cu grubość	FeNi grubość
92	45	20 μ m	20 μ m
93	15	20 μ m	20 μ m

94	45	100 μ m	20 μ m
95	15	100 μ m	20 μ m
96	45	100 μ m	6 μ m

Próbki z przekładką Cu wykazały dwu trzykrotne zwiększenie czułości rys 31..35. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu grubości warstwy Cu na czułość próbki.

3. KONSTRUKCJE CZUJNIKÓW MOMENTU.

Przeprowadzone prace badawcze taśm amorficznych i warstw FeNi potwierdziły możliwość zastosowania ich w konstrukcji czujników momentu. Ze względu na brak odpowiedniego kleju do klejenia taśm amorficznych (przeprowadzono rozmowy z firmą Loctite oraz osobami próbującymi stosować inne kleje) postanowiono wykonać modele czujników z warstwami FeNi. Wykonano 4 modele czujników.

3.1. Czujnik paskowy

Konstrukcję czujnika przedstawiono na rys 3. Na wałku wykonanym ze stali 45 osadzono elektrolitycznie warstwę Cu o grubości 20 μ m i na niej pod kątem 45° do osi wału osadzono elektrolitycznie dwie strefy (o długości 30 mm) pasków o grubości 20 μ m i szerokości 1.5 mm i przerwami między nimi 2mm. Obie strefy obejmowane są przez cewkę wzbudzającą 5. Na cewce wzbudzającej nawinięte są dwa uzwojenia odbiorcze 6 i 6a połączone przeciwnie. Karkas cewek umieszczony jest w dwóch łożyskach 1, w których elementami ślizgowymi *W rozwiązaniu docelowym planuje się zastosowanie właściwego ułożyskowania.* taczynymi są wkręty teflonowe 4. Cewka wzbudzająca zasilana jest napięciem sinusoidalnym. W wyniku skręcania wału paski są odpowiednio rozciągane i ściskane. Naprężenia powodują zmianę

24 przenikalności magnetycznej pasków, co jest rejestrowane przez zmianę indukcyjności cewek odbiorczych. Na wyjściu cewek powstaje sygnał różnicowy ^{zbliżony do} proporcjonalnego ^{do} ^{w zależności od} zmian momentu skręcającego. Układ umożliwia określenie kierunku skręcenia wału. Charakterystyki czujnika przedstawiono na rys. 39, 40-41

3.2 Czujnik z dwoma warstwami

Konstrukcję czujnika przedstawiono na rys 4. Na wałku osadzono elektrolitycznie warstwę Cu o grubości 20 μm . Następnie wałek skręcony osadzono na nim warstwę FeNi o grubości 20 μm i szerokości 30mm. Podobnie wykonano drugą warstwę skręcając wałek przeciwnie. W ten sposób uzyskano w warstwach ukierunkowanie właściwości magnetoelastycznych w powłokach FeNi. W zależności od kierunku momentu skręcającego warstwy są ściskane lub rozciągane. Połączenia cewek i ułożyskowanie karkasu jest takie same jak w rozwiązaniu na rys 3. Zmiany przenikalności magnetycznej wykrywane są przez cewki pomiarowe. Charakterystykę przedstawiono na rys 39,

3.3. Czujnik z jedną warstwą

Wykorzystując dobre właściwości magnetoelastyczne stopu FeNi, wykonano czujnik z jedną warstwą (rys 5.) Na wałku osadzono elektrolitycznie warstwę Cu i warstwę FeNi o grubości 20 μm . Warstwą obejmowaną jest przez cewkę wzbudzącą. W wyniku skręcania wału powstają naprężenia, które powodują zmianę przenikalności magnetycznej. Zmiana przenikalności powoduje zmianę indukcyjności cewki, dając zmianę natężenia prądu płynącego przez cewkę.

Charakterystyki przedstawiono na rys. 38.

3.4 Czujnik krzyżowy

Zaletą czujnika krzyżowego jest możliwość przystawiania go do powierzchni wału bez demontażu wału. Czujnik (rys 6) wykonany jest z dwóch rdzeni permalojowych. Na rdzeniu 1 ustawionym wzdłuż osi wału nawinięte są uzwojenia wzbudzające połączone zgodnie, a na rdzeniu 2 nawinięte są uzwojenia pomiarowe połączone przeciwnie. Na wałku osadzono warstwę Cu i FeNi w celu poprawienia właściwości magnetoelastycznych wału. Cewki pomiarowe rejestrują zmiany rozkładu strumienia magnetycznego wywołane naprężeniami.

Charakterystykę przedstawiono na rys 37.

4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ.

Na podstawie otrzymanych charakterystyk $U_{wy}=f(M)$ określono parametry czujników : histerezę , nieliniowość , czułość , błąd temperaturowy.

Wyniki przedstawiono w tabeli nr 1

Tabela nr 1

czujnik	I histereza	I nieliniowość	I błąd temp	I czułość
paskowy	I 3.5%	I 7%	I 0.2%/C	I 0.09V/Nm
2 warstwowy	I 20%	I 7%	I 0.2 %/C	I 6.49μA/Nm
1 warstwowy	I 15%	I 3.1%	I 0.28%/C	I 0.46mA/Nm
krzyżowy	I 5.8%	I 8,4%	I 10.8 -34.8 N m	I 0.079V/Nm

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli można stwierdzić, że najkorzystniejsze parametry ma czujnik paskowy.

5. UKŁAD PRZETWARZAJĄCY SYGNAŁ Z CZUJNIKA .

Do czujnika paskowego opracowano układ przetwarzający sygnał napięciowy na sygnał częstotliwościowy. Schemat blokowy układu przedstawiono na rys 7. Czujnik zasilany jest prądem o natężeniu 30mA z generatora sygnału prostokątnego.

Sygnał z cewek pomiarowych prostowany jest w detektorze międzyszczytowym i poprzez wtórnik podawany jest na układ przetwornika napięcia na częstotliwość.

Ze względu na ewentualne warunki pracy czujnika, tj. ilość miejsca, zapylenie, drgania, temperaturę, zdecydowano się oddzielić część elektroniczną od czujnika.

Na rys 42, 44 przedstawiono charakterystykę sygnału po przejściu przez układ przetwarzający. Na podstawie charakterystyki $U_{wy}=f(f)$ określono następujące parametry czujnika z układem przetwarzającym:

	próbka 112	próbka 113
zakres pomiarowy	0 - 30 Nm	
czułość	$k = 31.8 \text{ Hz/Nm}$	$0.97 \mu\text{A/Nm}$
nieliniowość	$e_{n\text{-max}} = 6.2\%$	4.1%
błąd temperaturowy	$e_{t\text{-max}} = 0.2\%/^{\circ}\text{C}$	0.2%
histereza	$e_{h\text{-max}} = 3.7\%$	4.1%
błąd wierności	$e_w = 1.9\%$	1.9%
błąd pobudliwości	0.1 Nm	0.1 Nm

- sygnał wyjściowy niezależny od prędkości obrotowej wału.
- Czujnik reaguje na masę metalową znajdującą się w odległości 1 cm od niego. Prosta obrazująca prostoliniową charakterystykę czujnika wykreslono korzystając z metody najmniejszych kwadratów.

6. ANALIZA ZASTOSOWAŃ.

Podstawowe kierunki zastosowań to : roboty przemysłowe ,samochody i maszyny robocze. Czujnik momentu może być stosowany w elastycznych systemach produkcyjnych . Montowany np :w uchwycie wiertarskim może służyć do kontroli pracy wiertła . Porównując sygnał wzorcowy skrawania wiertłem z rzeczywistym, można uzyskać informacje o stopieniu wiertła ,zakleszczeniu,przegrzaniu,użyciu niewłaściwego narzędzia.

W robotach adaptowanych do wkręcania śrub czujnik momentu może kontrolować poprawność wkręcania śrub z określonym momentem. W robocie do obróbki ubytkowej np;przez szlifowanie,czujnik momentu może kontrolować docisk tarczy szlifierskiej.

W samochodach i maszynach roboczych poprzez kontrolę momentu obrotowego wału można sterować pracą silnika.

7. WNIOSKI Z BADAŃ.

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność warstw FeNi na podłożu Cu do konstrukcji magnetostrykcyjnego czujnika momentu.

Uwzględniając wyniki badań należałoby przyjąć dwie koncepcje dalszej pracy :

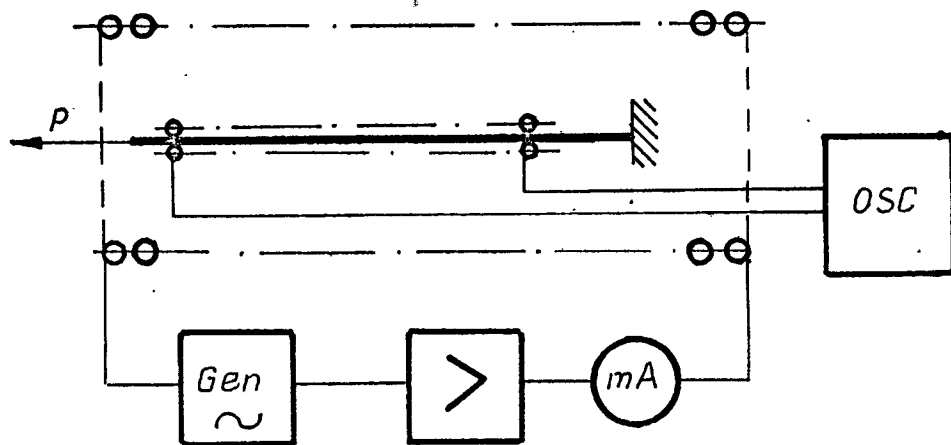
- prowadzić pracę nad samodzielnym czujnikiem (przetwornikiem) określonego zakresu pomiarowego zapewniając odpowiednią klasę

urządzenia.

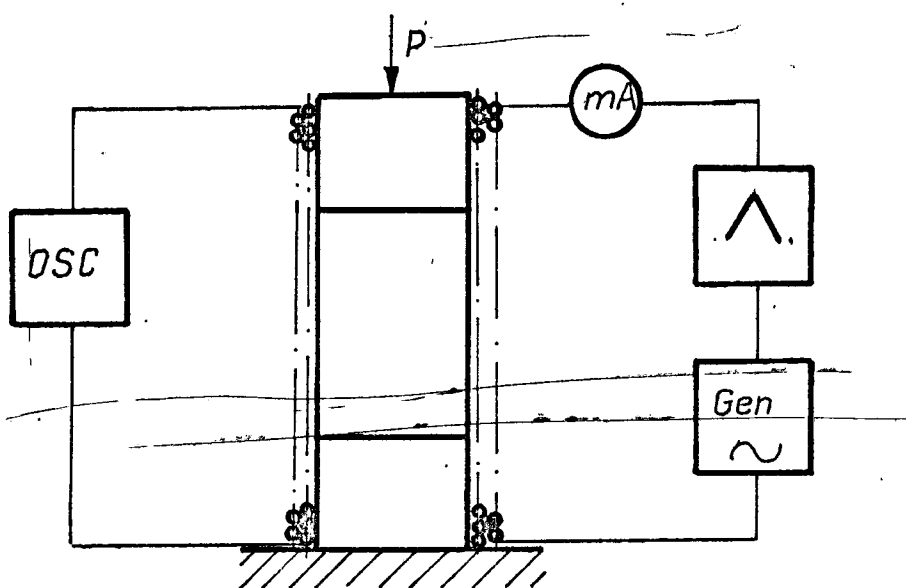
-wykonywanie czujników dla określonych średnic wałów na zamówienie klienta.

Wyniki badań dają możliwość rozszerzenia pracy o czujniki (przetworniki) siły.

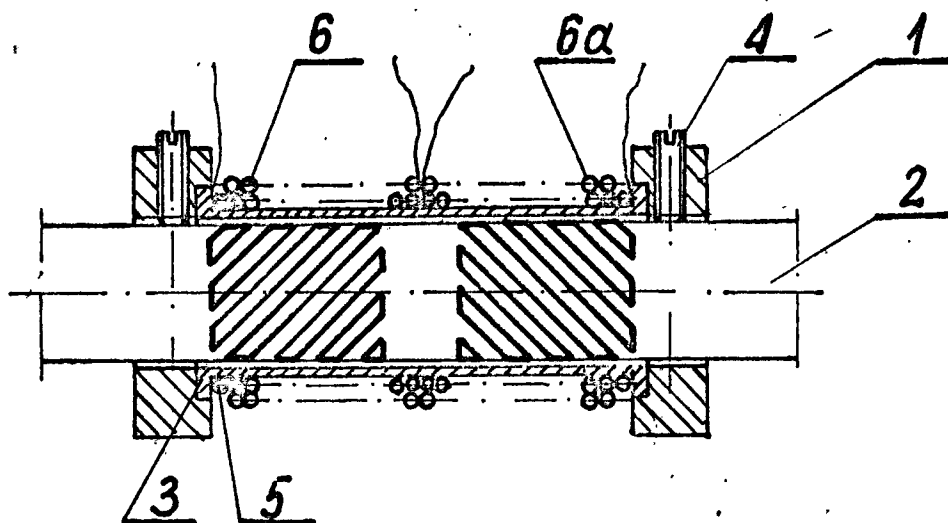
Badania wykazały, że zmniejszenie grubości warstwy powoduje zmniejszenie wpływu naprężeń własnych w warstwie oraz lepszą przyczepność do podłoża. Stosowanie cienkich warstw powoduje zmniejszenie wpływu prądów wirowych co umożliwia pracę na wyższych częstotliwościach i możliwość zmniejszenia natężenia prądu w cewce wzbudzającej. Warstwy takie można uzyskać stosując technologię napyłania próżniowego. Wydaje się celowe prowadzenie prac nad tą technologią równoległe z konstrukcją czujników.



Rys. 1

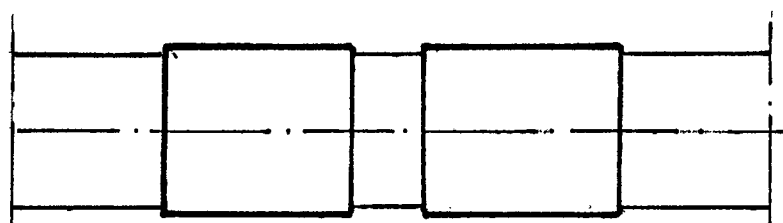


Rys. 2

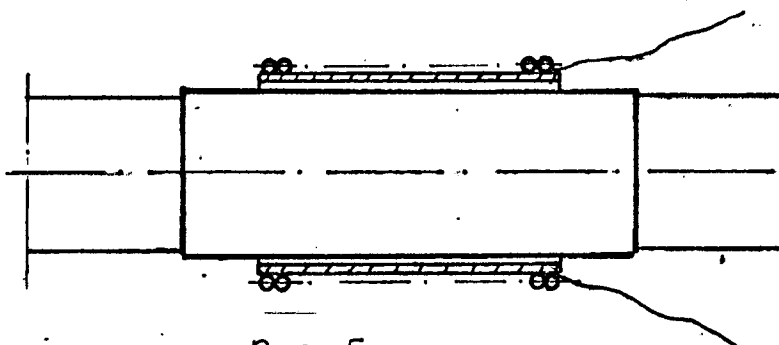


- 1. Łożysko
- 2. Wałek
- 3. Karkas
- 4. Wkręt M4
- 5. Uzwojenie wzbudzające
- 6. Cewka pomiar.
- 6a Cewka pomiar.

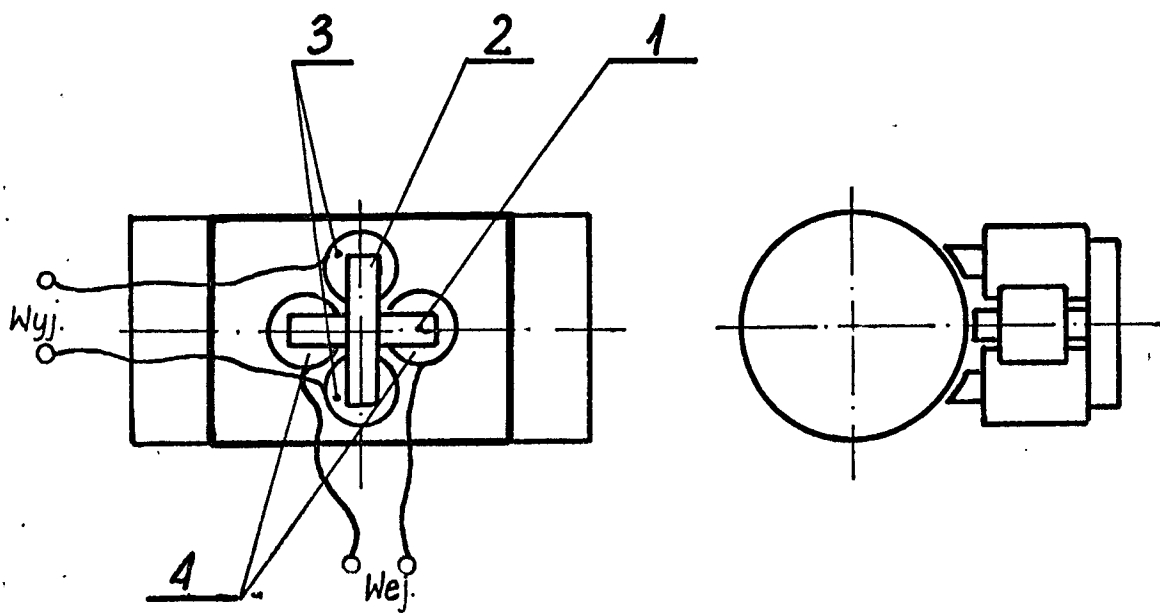
Rys. 3



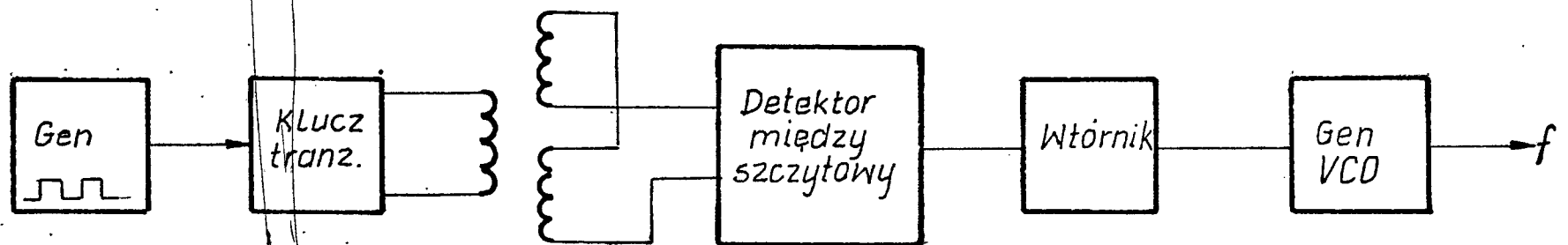
Rys. 4



Rys. 5

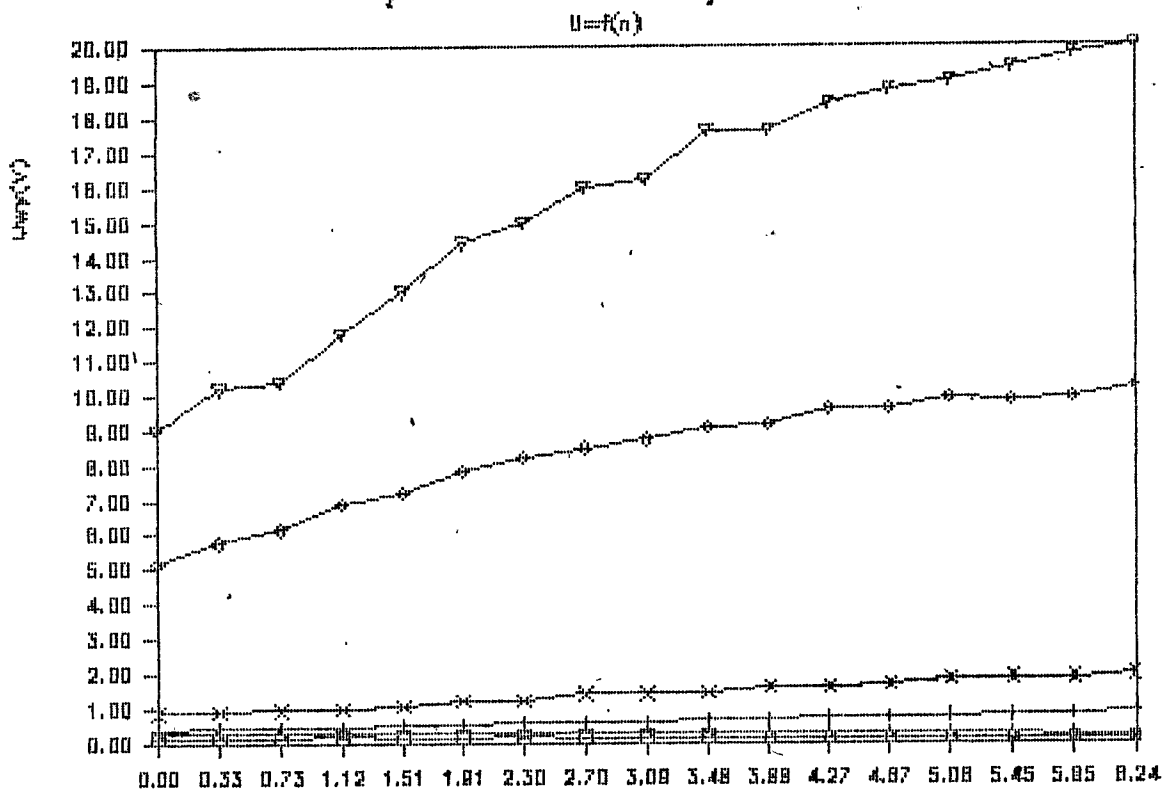


Rys. 6

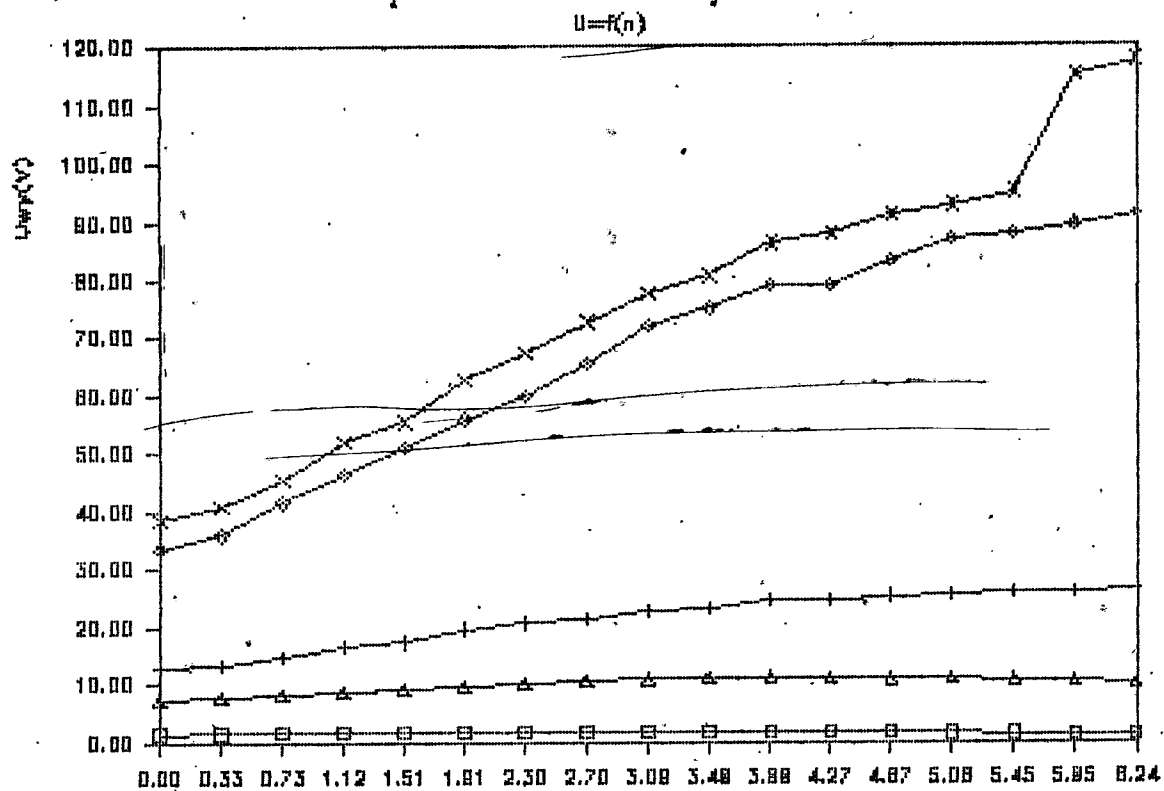


Rys.7

wykres dla taśmy FeSiB

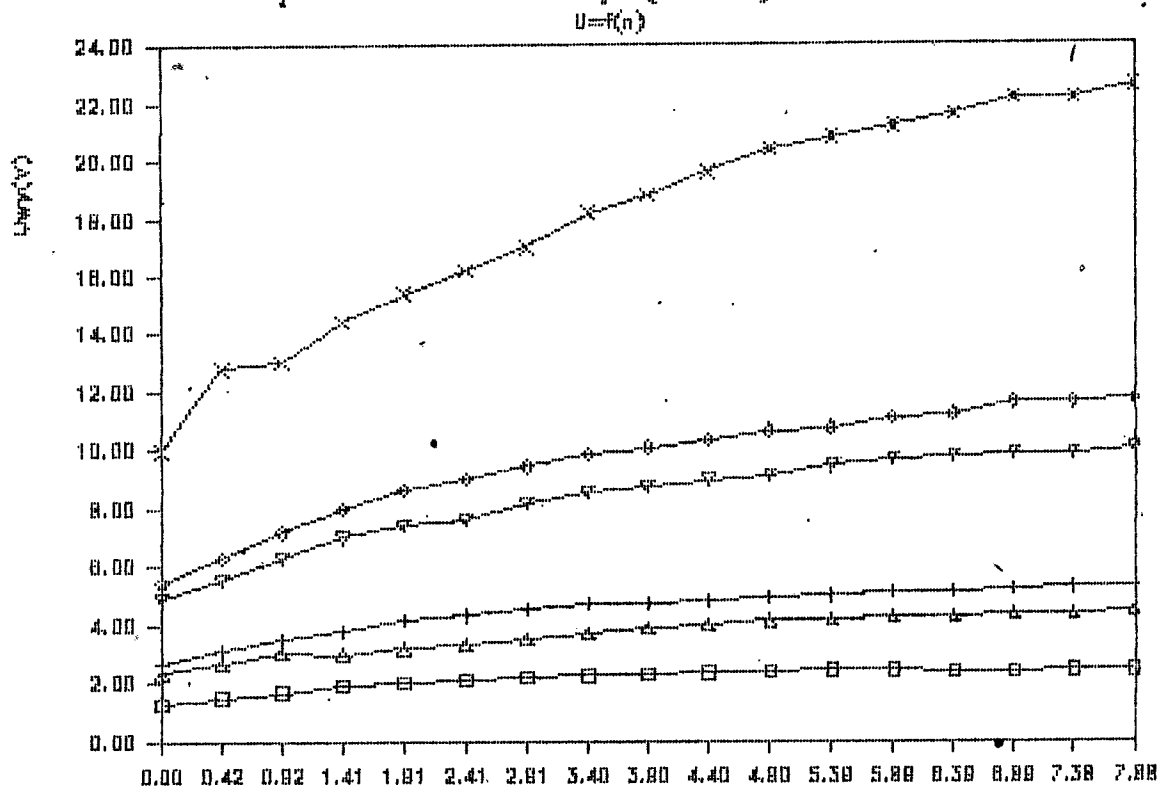


wykres dla taśmy FeSiB



rys.8

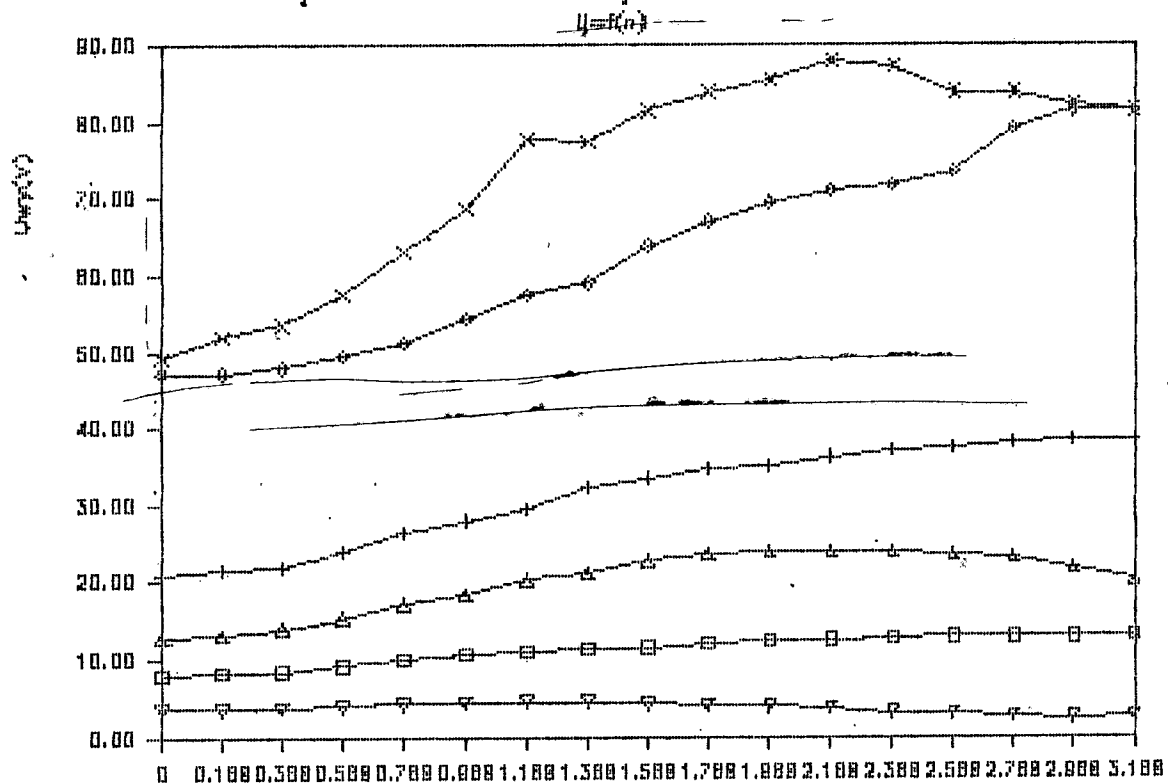
wykres dla łasmy (FeCo)78B13Si9



rys.9

$\diamond f = 500\text{Hz } I = 500\text{mA}$ $\square f = 500\text{Hz } I = 100\text{mA}$ $\triangle f = 1\text{kHz } I = 100\text{mA}$ $\times f = 1\text{kHz } I = 500\text{mA}$
 $+ f = 500\text{Hz } I = 200\text{mA}$ $\nabla f = 1\text{kHz } I = 200\text{mA}$

wykres dla łasmy FeCo79B16Si5

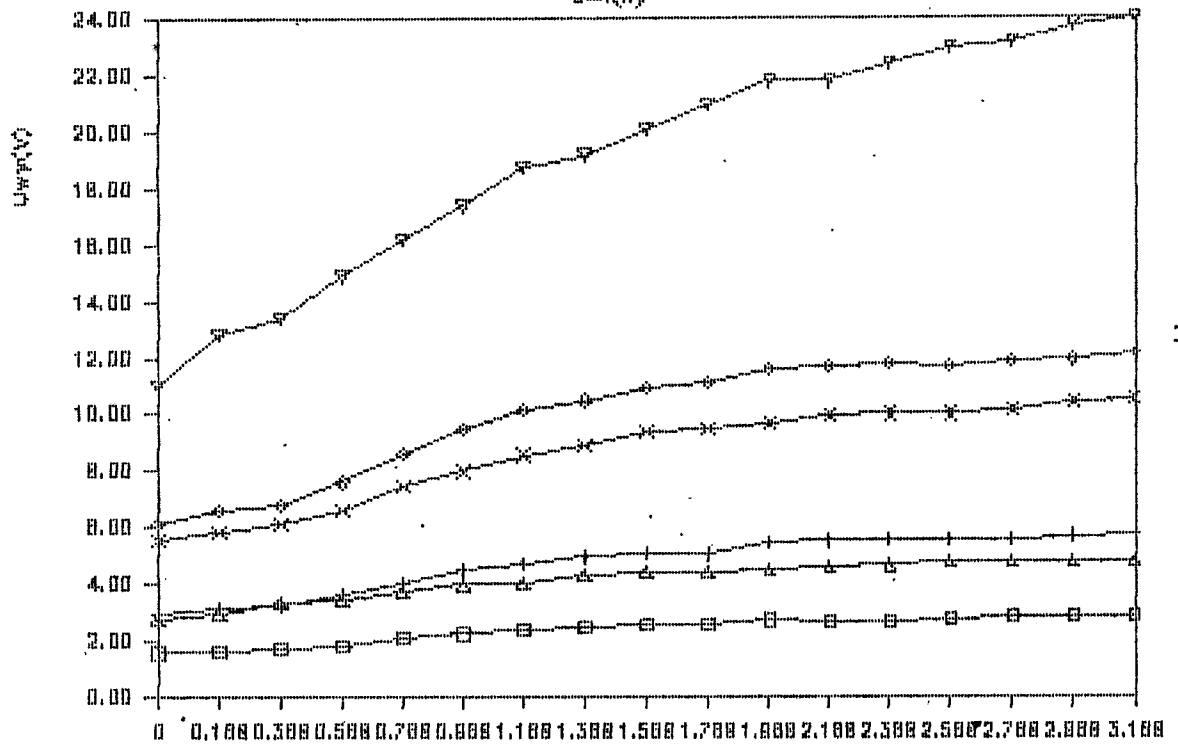


rys.10

$\diamond f = 5\text{kHz } I = 500\text{mA}$ $\square f = 5\text{kHz } I = 100\text{mA}$ $\triangle f = 20.000\text{Hz } I = 100\text{mA}$ $\times f = 20\text{kHz } I = 200\text{mA}$
 $+ f = 5\text{kHz } I = 200\text{mA}$ $\nabla f = 50\text{kHz } I = 50\text{mA}$

wykres dla taśmy FeCo79B16Si5

$U=f(n)$



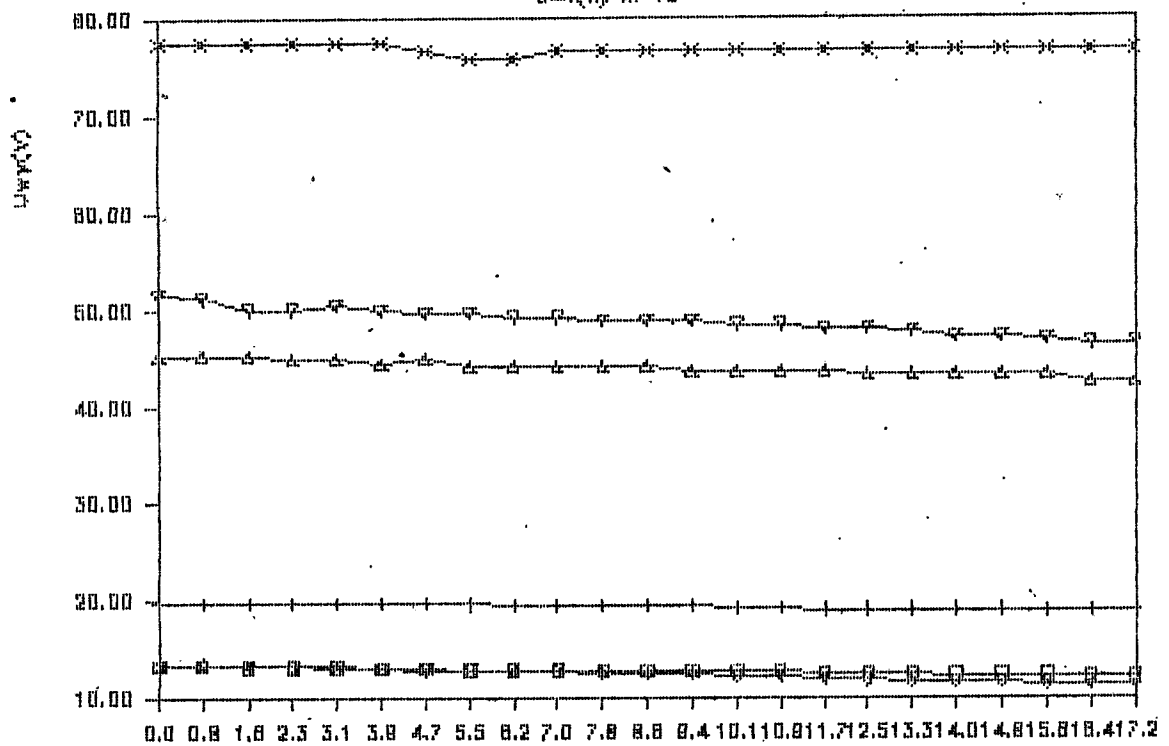
rys.11

◇ $f = 500\text{Hz}, I = 500\text{mA}$
 □ $f = 500\text{Hz}, I = 100\text{mA}$

△ $f = 1\text{kHz}, I = 100\text{mA}$ × $f = 1\text{kHz}, I = 200\text{mA}$
 + $f = 500\text{Hz}, I = 200\text{mA}$ ▽ $f = 1\text{kHz}, I = 500\text{mA}$

wykres dla próbki 53

$U=f(\eta)$ Nr 15

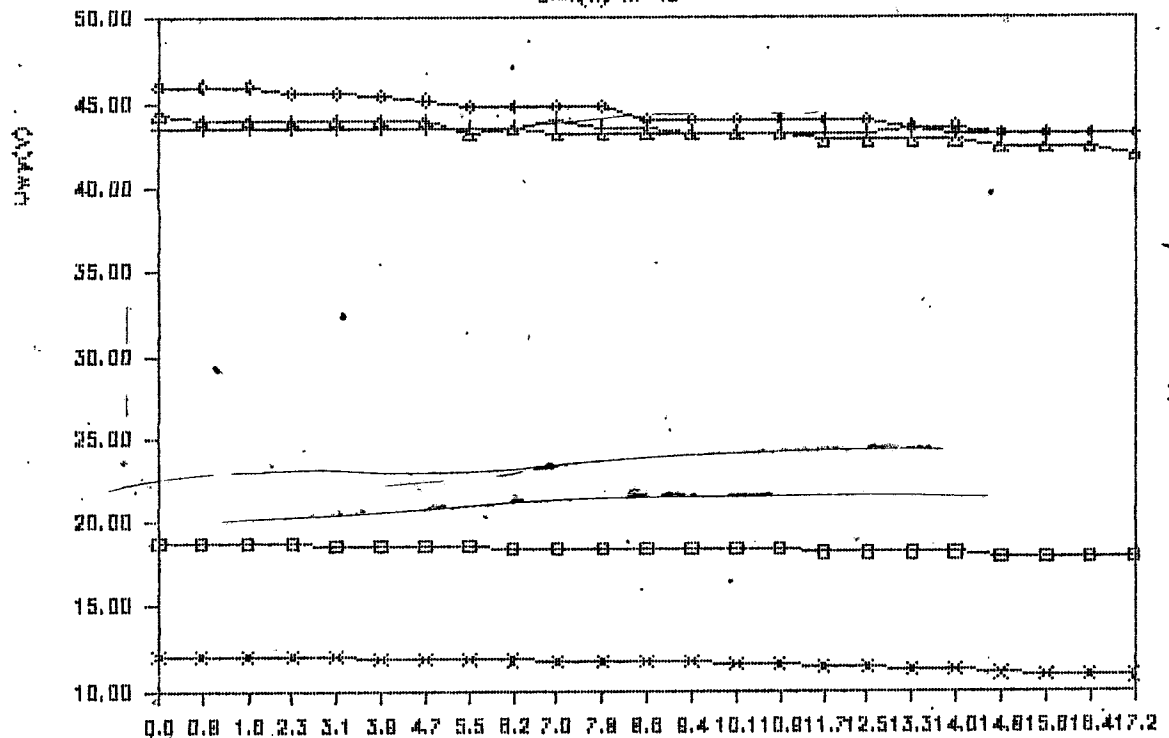


rys.12

$\diamond f = 100\text{Hz}, I = 200\text{mA}$
 $+ f = 1\text{kHz}, I = 100\text{mA}$
 $\triangle f = 1\text{kHz}, I = 200\text{mA}$
 $\nabla f = 500\text{Hz}, I = 300\text{mA}$
 $\times f = 5\text{kHz}, I = 10\text{mA}$

wykres dla próbki 54

$U=f(\eta)$ Nr 45

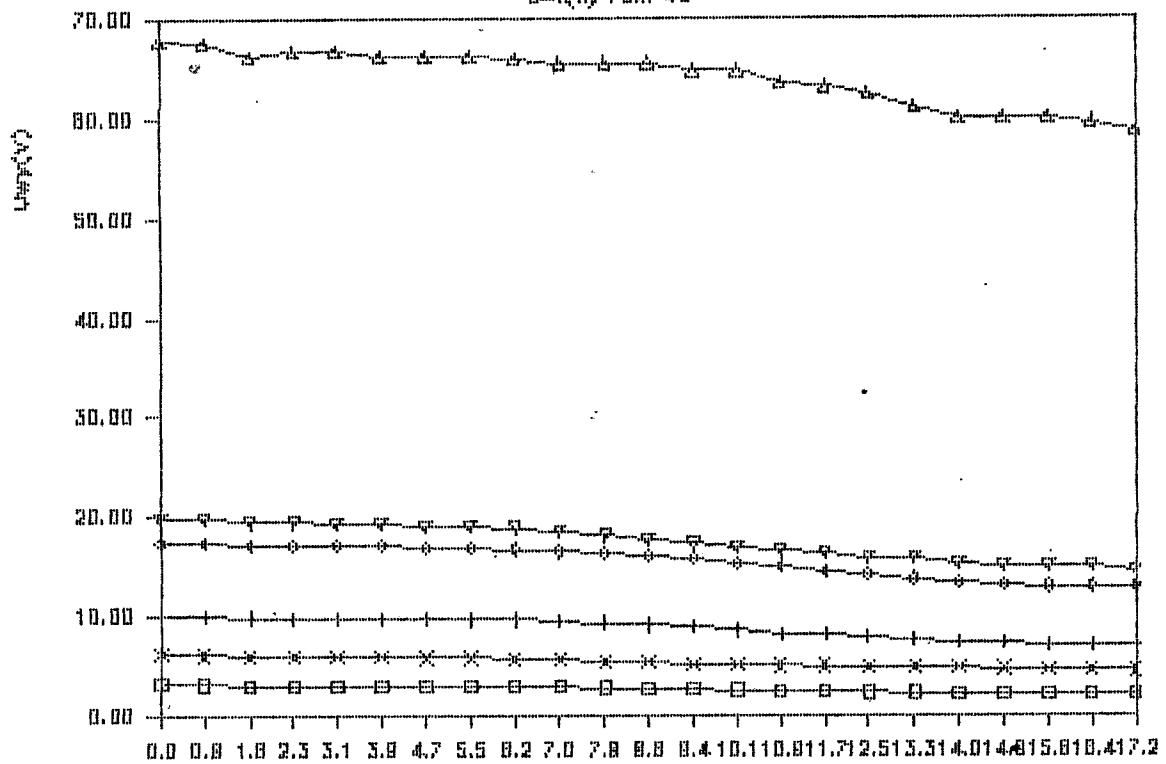


rys.13

$\eta = 100\text{mA}$
 $f = 1\text{kHz}$
 $\diamond f = 500\text{Hz}, I = 100\text{mA}$
 $+ f = 5\text{kHz}, I = 100\text{mA}$
 $\triangle f = 1\text{kHz}, I = 200\text{mA}$

wykres dla próbki 56

$U=R(n)$ FeNi 45

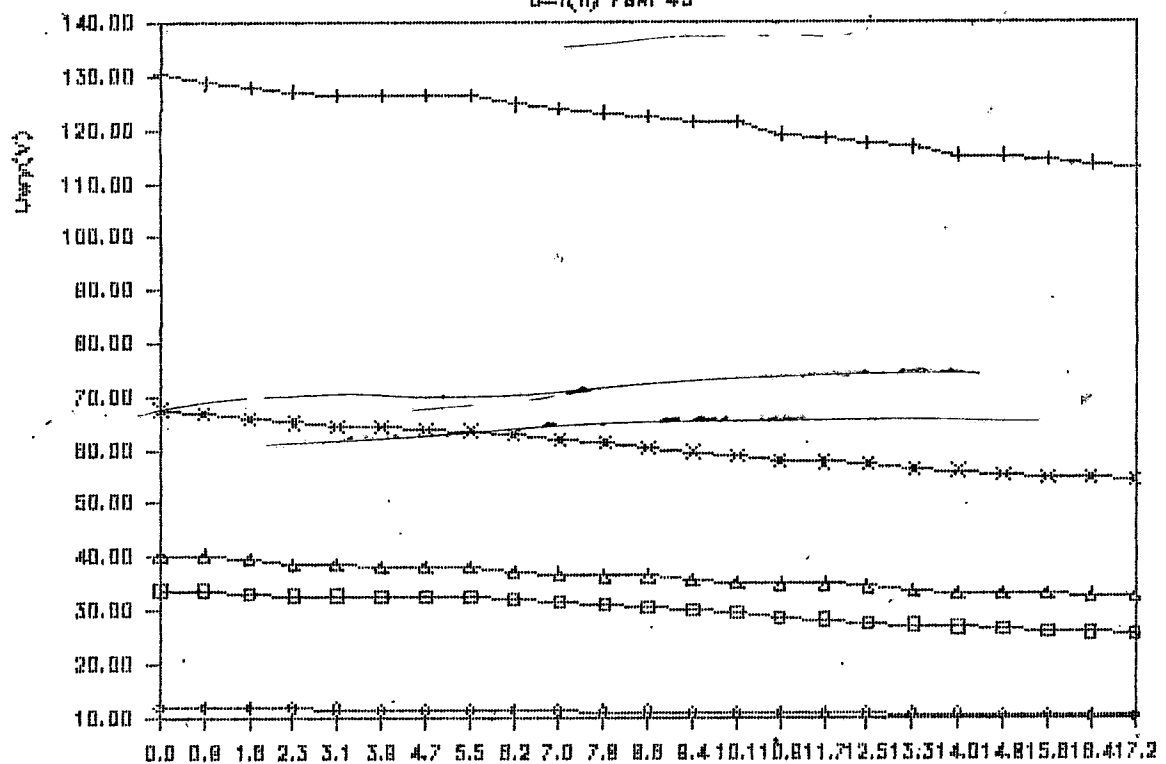


rys.14

$\diamond f = 1 \text{ kHz}, I = 50 \text{ mA}$ $\triangle f = 5 \text{ kHz}, I = 50 \text{ mA}$ $\times f = 100 \text{ Hz}, I = 100 \text{ mA}$
 $\nabla f = 500 \text{ Hz}, I = 100 \text{ mA}$

wykres dla próbki 56

$U=R(n)$ FeNi 45



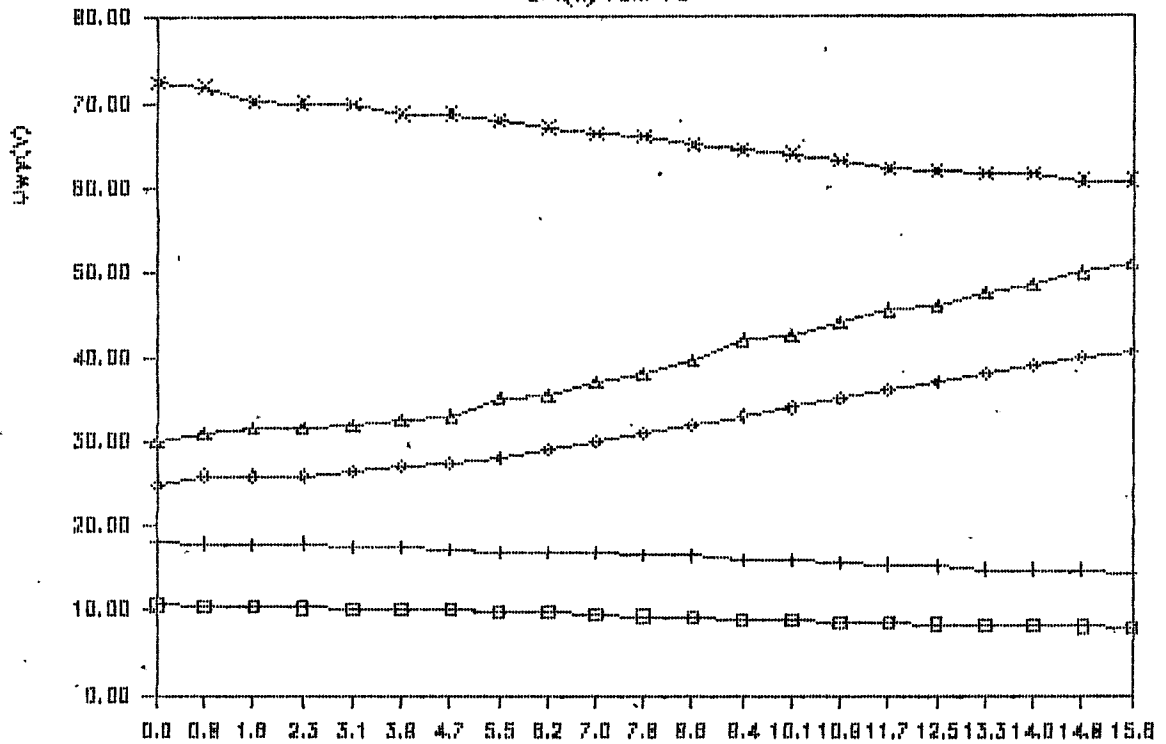
rys.15

$\square I = 100 \text{ mA}, f = 1 \text{ kHz}$ $\diamond f = 100 \text{ Hz}, I = 200 \text{ mA}$ $\triangle f = 500 \text{ Hz}, I = 200 \text{ mA}$
 $+ f = 5 \text{ kHz}, I = 100 \text{ mA}$ $\times f = 1 \text{ kHz}, I = 200 \text{ mA}$

rys.4

wykras dla probki 58

$U=f(n)$ FaMI 15

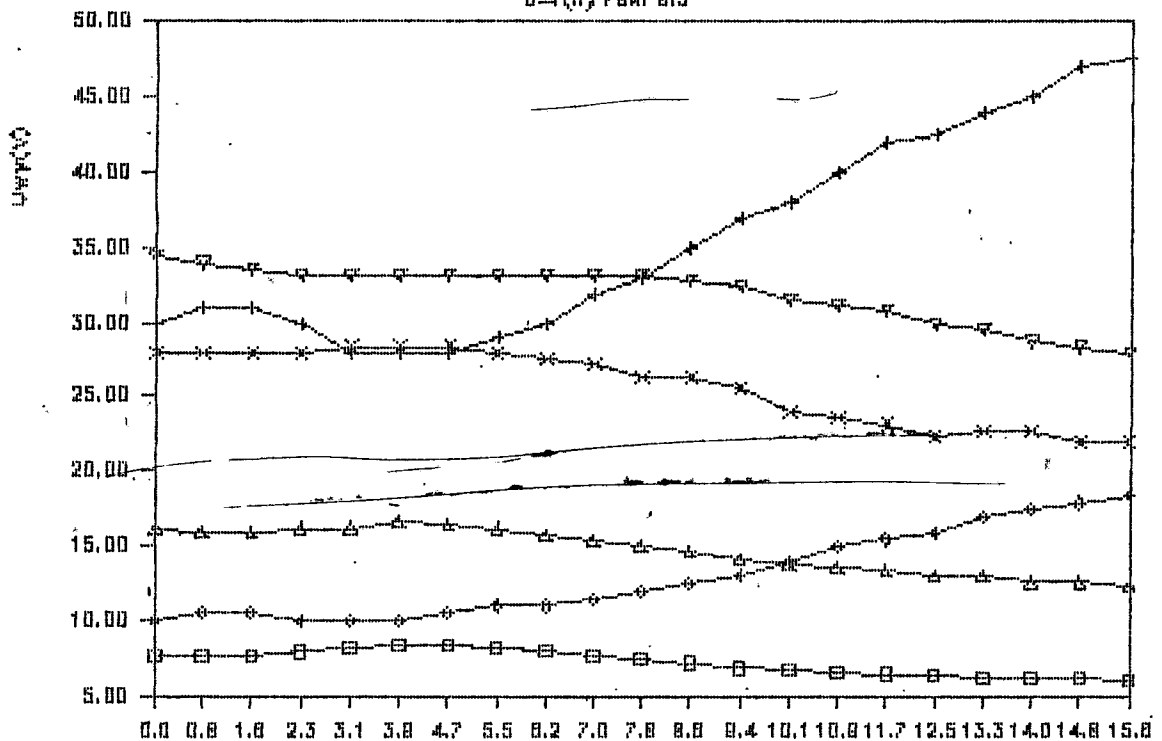


rys.15

□ $I=50mA$ $f=500Hz$ ◇ $f=20kHz, I=25mA$ $n(kG/mm*mm)$ Δ $f=20kHz, I=30mA$
 + $f=1kHz, I=50mA$ × $f=1kHz, I=200mA$

wykras dla probki 60

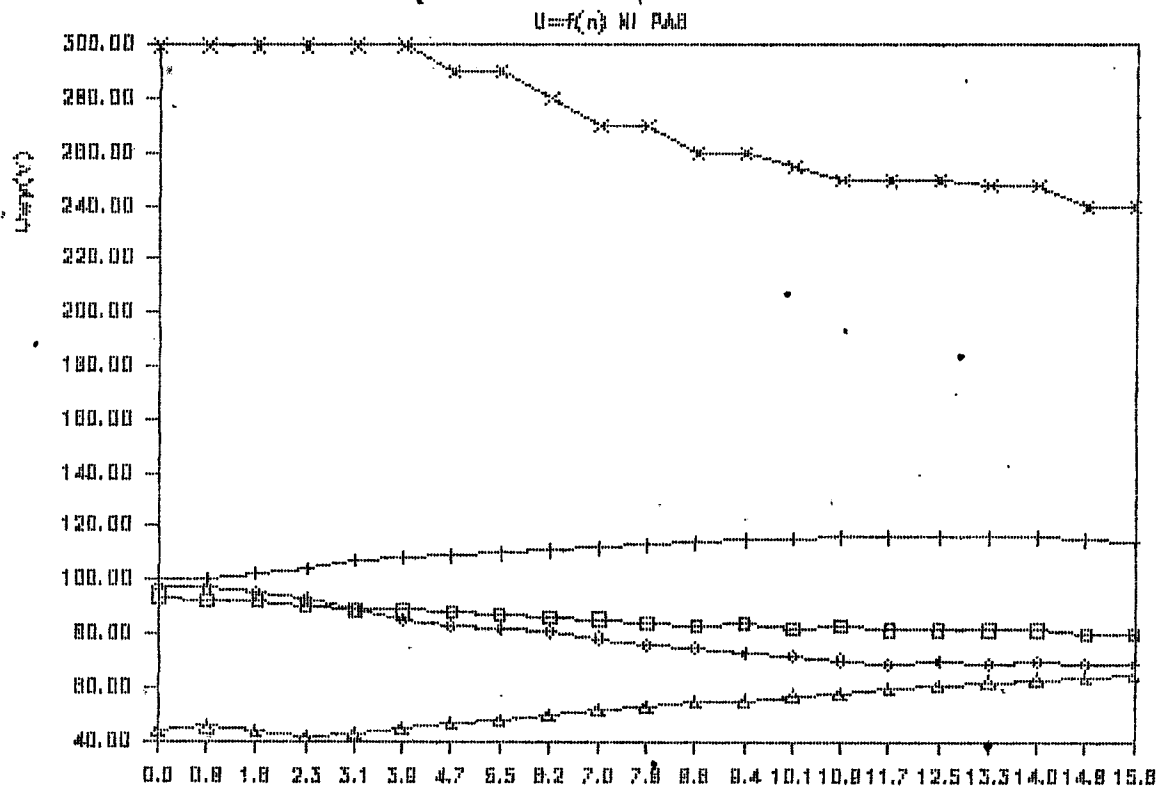
$U=f(n)$ FaMI nt3



rys.16

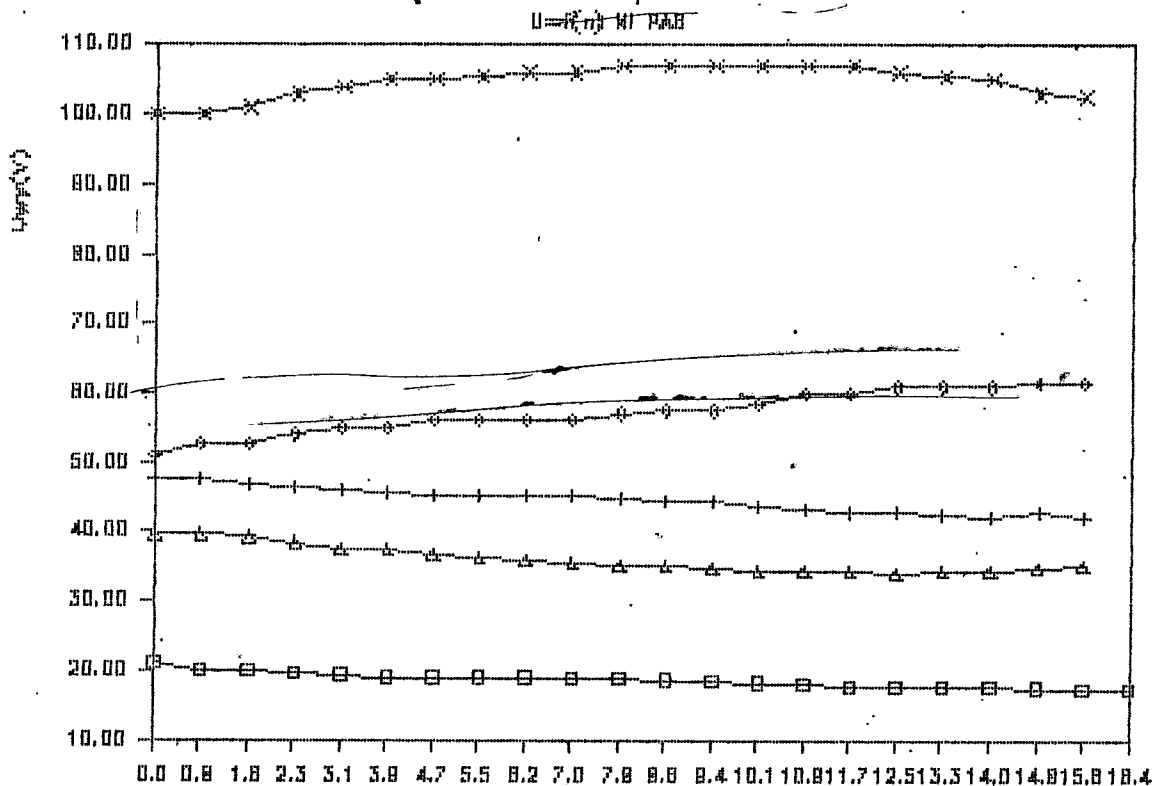
◇ $f=50kHz, I=10mA$ □ $f=500Hz, I=50mA$ $n(kG/mm*mm)$ Δ $f=500Hz, I=100mA$ + $f=20kHz, I=30mA$ ×
 × $f=1kHz, I=100mA$ ▽ $f=500Hz, I=200mA$

wykres dla próbki 62



$\square$ $I=100mA$ $f=50kHz$ $\diamond$ $f=50kHz, I=100mA$ $\times$ $f=5kHz, I=300mA$
 $+ f=50kHz, I=100mA$ $\Delta f=5kHz, I=300mA$

wykres dla próbki 62

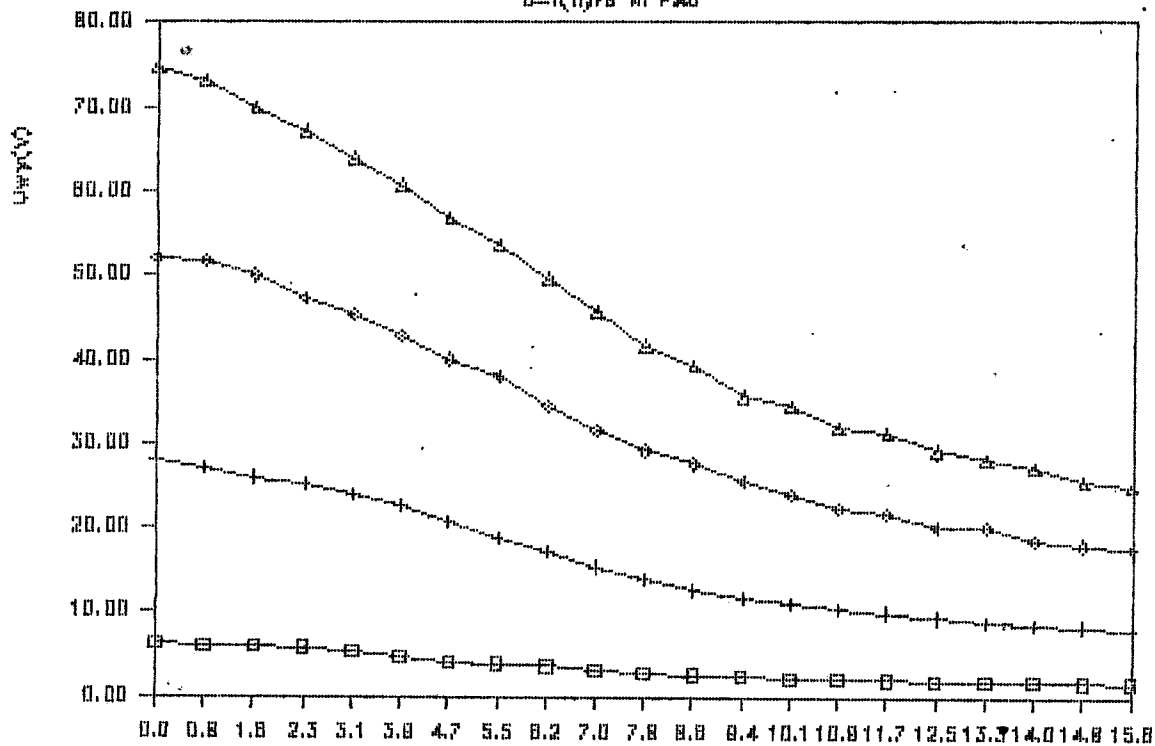


$\square$ $I=50mA$ $f=20kHz$ $\diamond$ $f=50kHz, I=50mA$ $\times$ $f=20kHz, I=100mA$ Δ $f=20kHz, I=100mA$
 $+ f=50kHz, I=50mA$

rys.17

wykres dla próbki 63

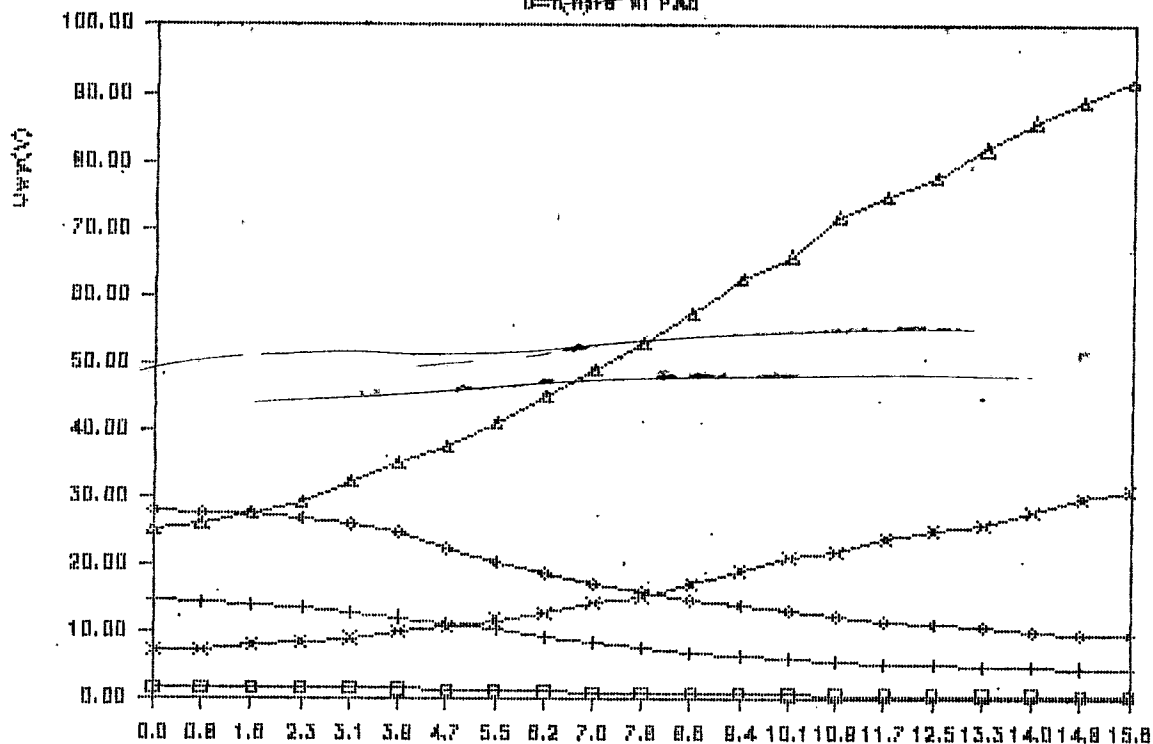
$U=f(\eta)F_0$ HI PAB



+ $f=500 \text{ Hz}, I=200 \text{ mA}$ $\square f=100 \text{ Hz}, I=200 \text{ mA}$ $\circ f=1 \text{ kHz}, I=200 \text{ mA}$ $\Delta f=1 \text{ kHz}, I=300 \text{ mA}$

wykres dla próbki 63

$U=f(\eta)F_0$ HI PAB

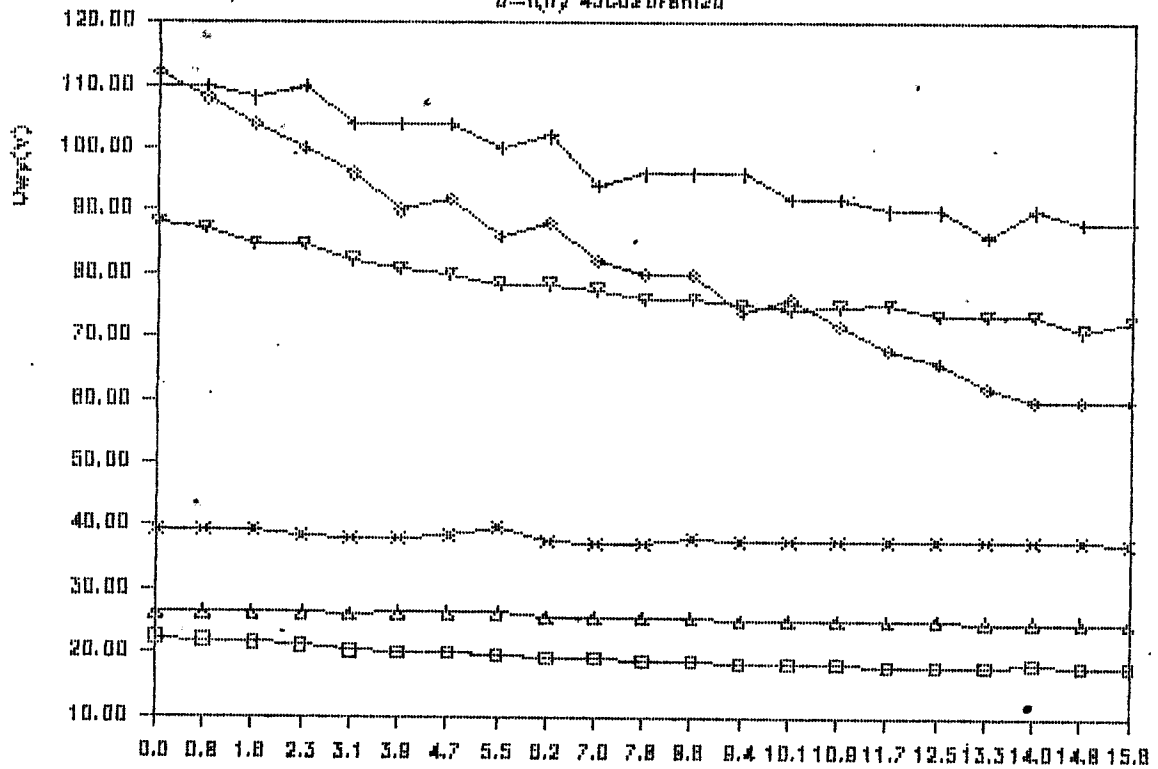


+ $f=500 \text{ Hz}, I=100 \text{ mA}$ $\square f=100 \text{ Hz}, I=50 \text{ mA}$ $\circ f=1 \text{ kHz}, I=100 \text{ mA}$ $\times f=50 \text{ kHz}, I=2 \text{ mA}$ $\Delta f=20 \text{ kHz}, I=25 \text{ mA}$

rys.18

wykres dla próbki 92

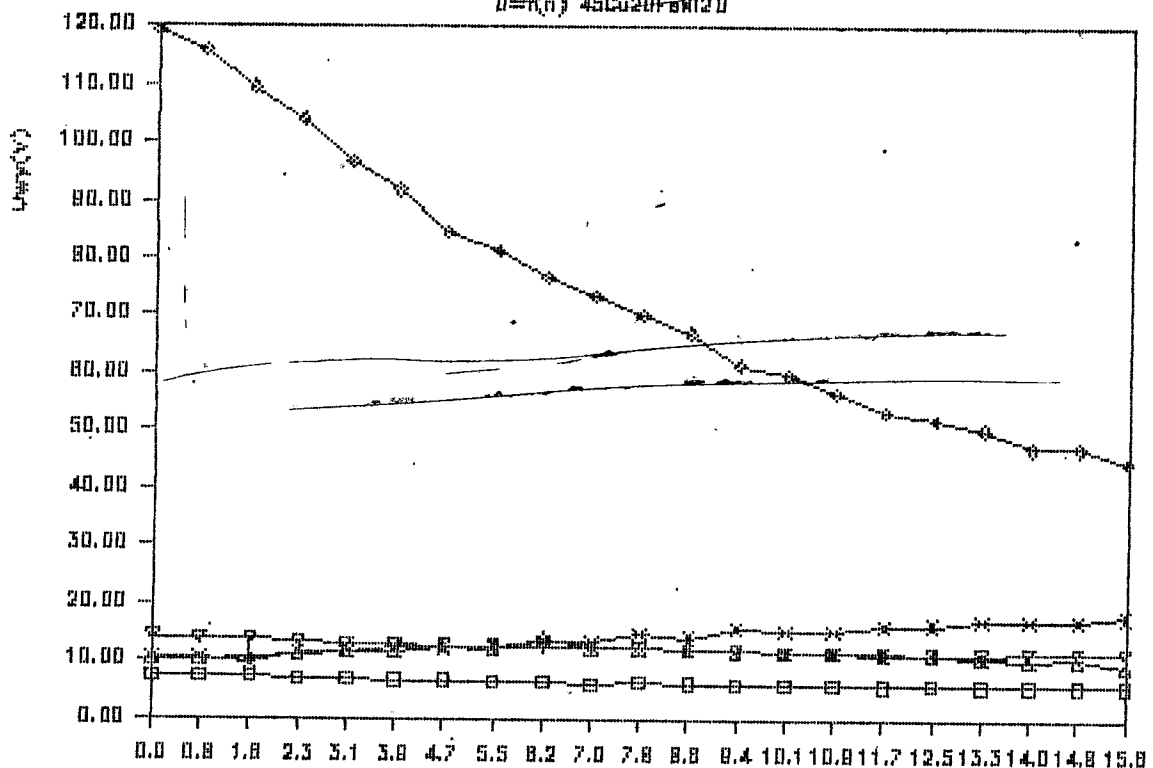
$U=f(n)$ 45Cu20FeNi20



$\diamond f = 8000 \text{ Hz}, l = 100 \text{ mA}$
 $\Delta f = 1 \text{ kHz}, l = 100 \text{ mA}$
 $\nabla f = 3 \text{ kHz}, l = 200 \text{ mA}$
 $\times f = 1 \text{ kHz}, l = 200 \text{ mA}$

wykres dla próbki 92

$U=f(n)$ 45Cu20FeNi20



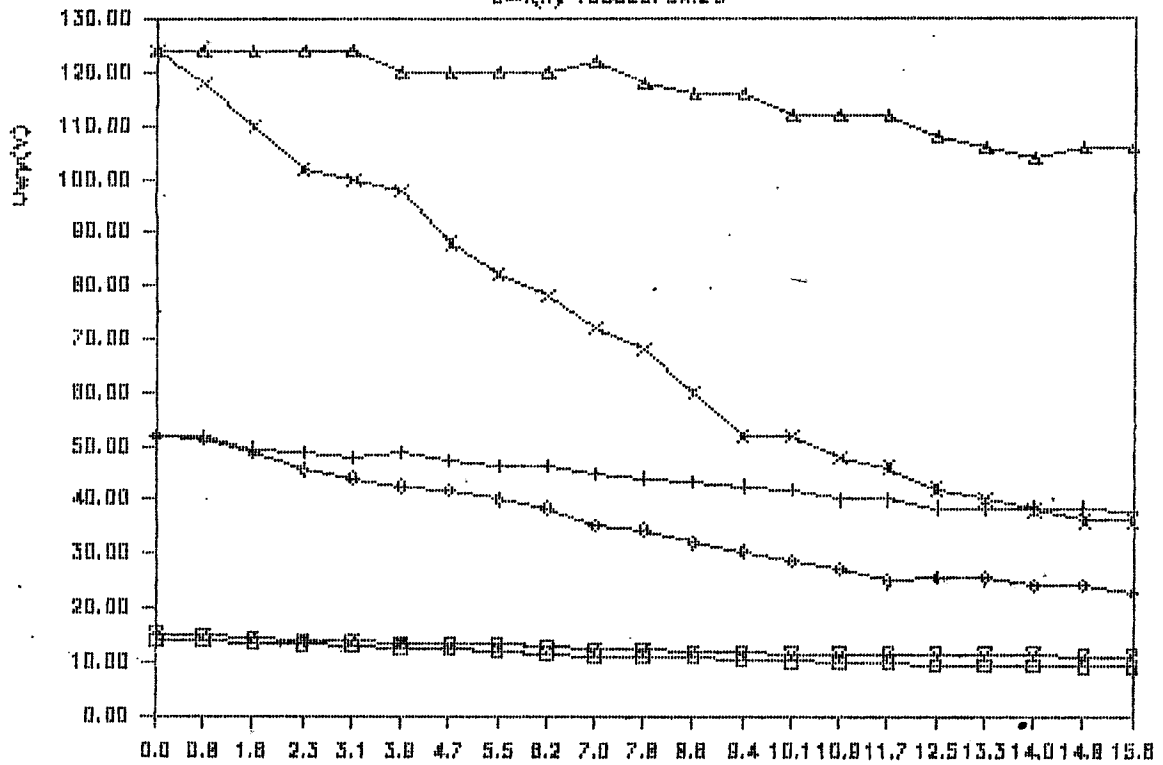
rys.19

$\nabla f = 500 \text{ Hz}, l = 50 \text{ mA}$
 $\Delta f = 150 \text{ kHz}, l = 5 \text{ mA}$
 $\times f = 150 \text{ kHz}, l = 5 \text{ mA}$

$\diamond f = 20 \text{ kHz}, l = 40 \text{ mA}$
 $+ f = 20 \text{ kHz}, l = 40 \text{ mA}$
 $\nabla f = 500 \text{ Hz}, l = 100 \text{ mA}$

wykres dla próbki 93

$U=f(n)$ 15Cu20FeNi20

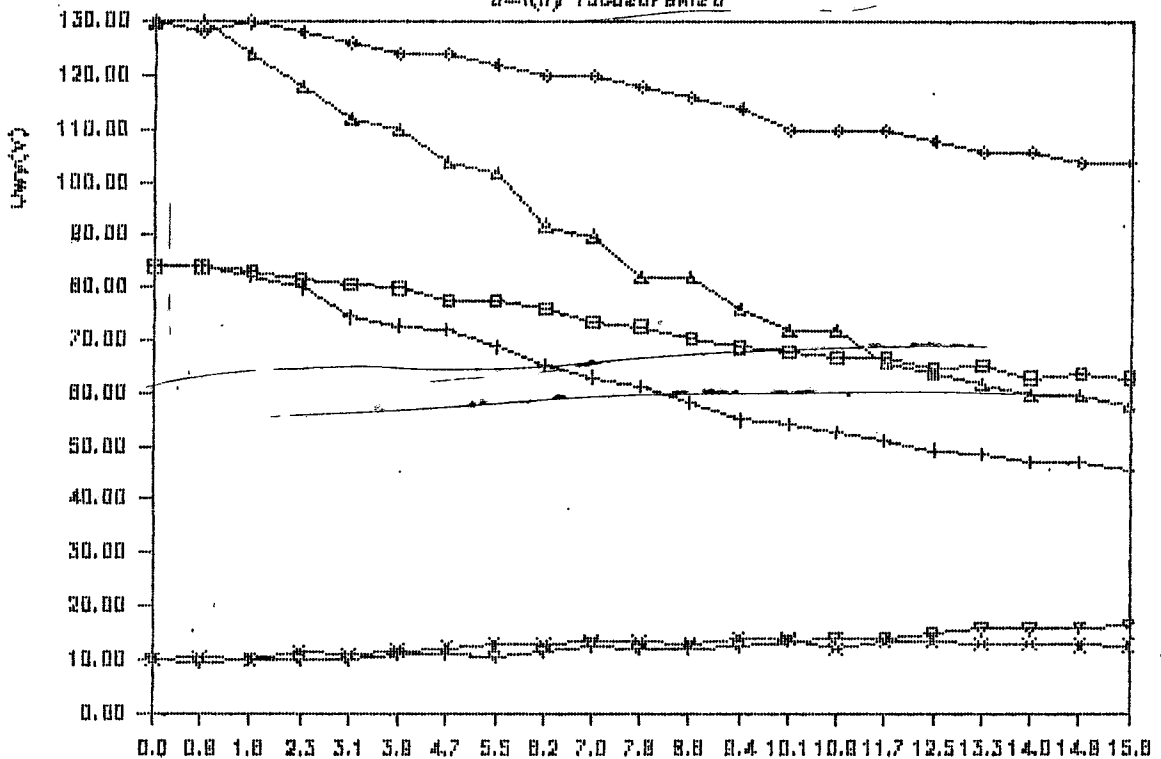


$\diamond f = 5000 \text{ Hz}, I = 50 \text{ mA}$ $\Delta f = 1 \text{ kHz}, I = 50 \text{ mA}$ $\times f = 20 \text{ kHz}, I = 30 \text{ mA}$
 $+ f = 5 \text{ kHz}, I = 50 \text{ mA}$ $\Delta f = 20 \text{ kHz}, I = 30 \text{ mA}$

$\times f = 20 \text{ kHz}, I = 30 \text{ mA}$

wykres dla próbki 93

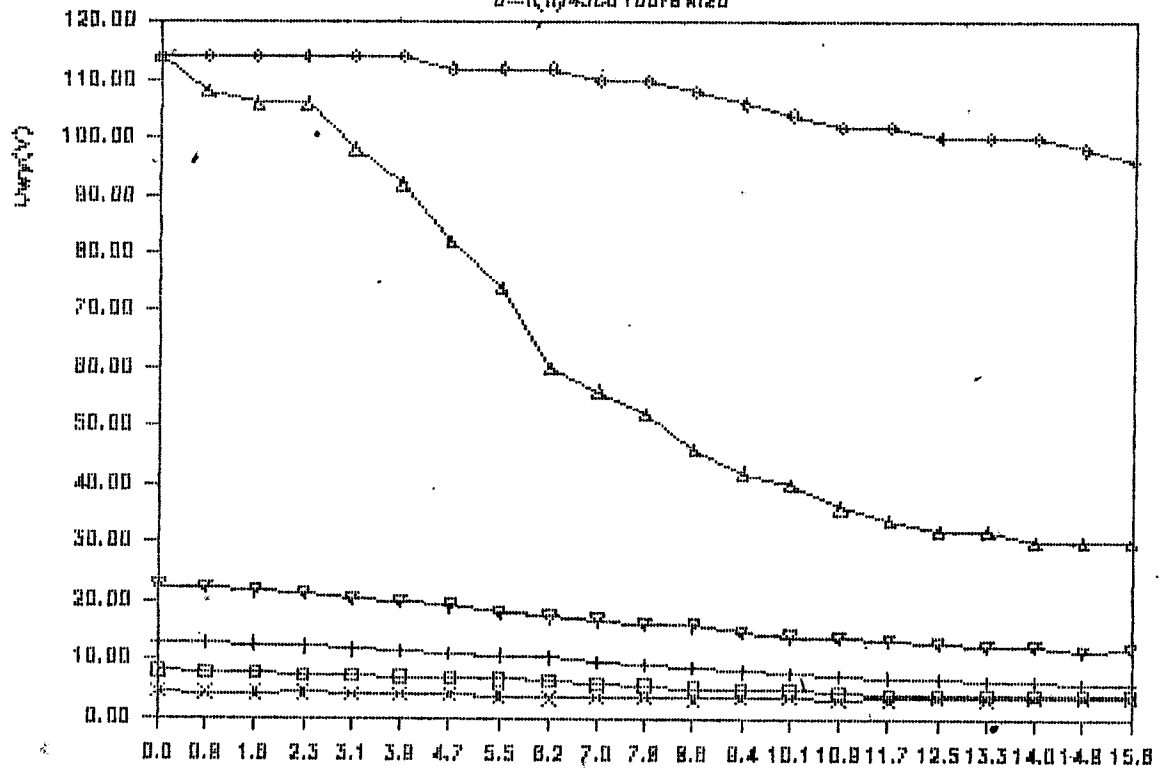
$U=f(n)$ 15Cu20FeNi20



$\diamond f = 10 \text{ kHz}, I = 80 \text{ mA}$ $+ f = 5 \text{ kHz}, I = 100 \text{ mA}$ $\Delta f = 10 \text{ kHz}, I = 80 \text{ mA}$ $\nabla f = 150 \text{ kHz}, I = 5 \text{ mA}$ $\times f = 150 \text{ kHz}, I = 5 \text{ mA}$
 $\square f = 5 \text{ kHz}, I = 100 \text{ mA}$

wykres dla próbki 94

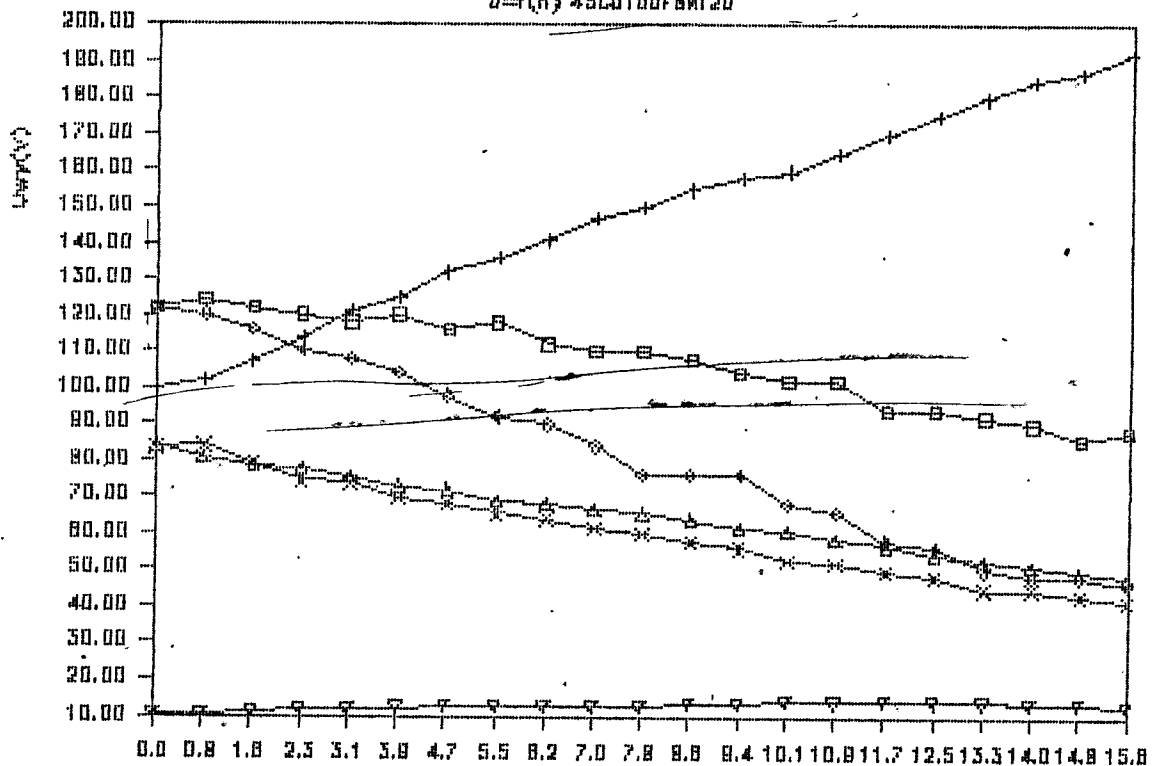
$U=f(\eta)$ 45Cu100FeW120



$\diamond f = 20\text{kHz}, l = 30\text{mA}$ $\triangle f = 100\text{Hz}, l = 50\text{mA}$ $\nabla f = 20\text{kHz}, l = 30\text{mA}$ $\times f = 100\text{Hz}, l = 100\text{mA}$ $\square f = 600\text{Hz}, l = 50\text{mA}$ $+$ $f = 100\text{Hz}, l = 100\text{mA}$

wykres dla próbki 94

$U=f(\eta)$ 45Cu100FeW120

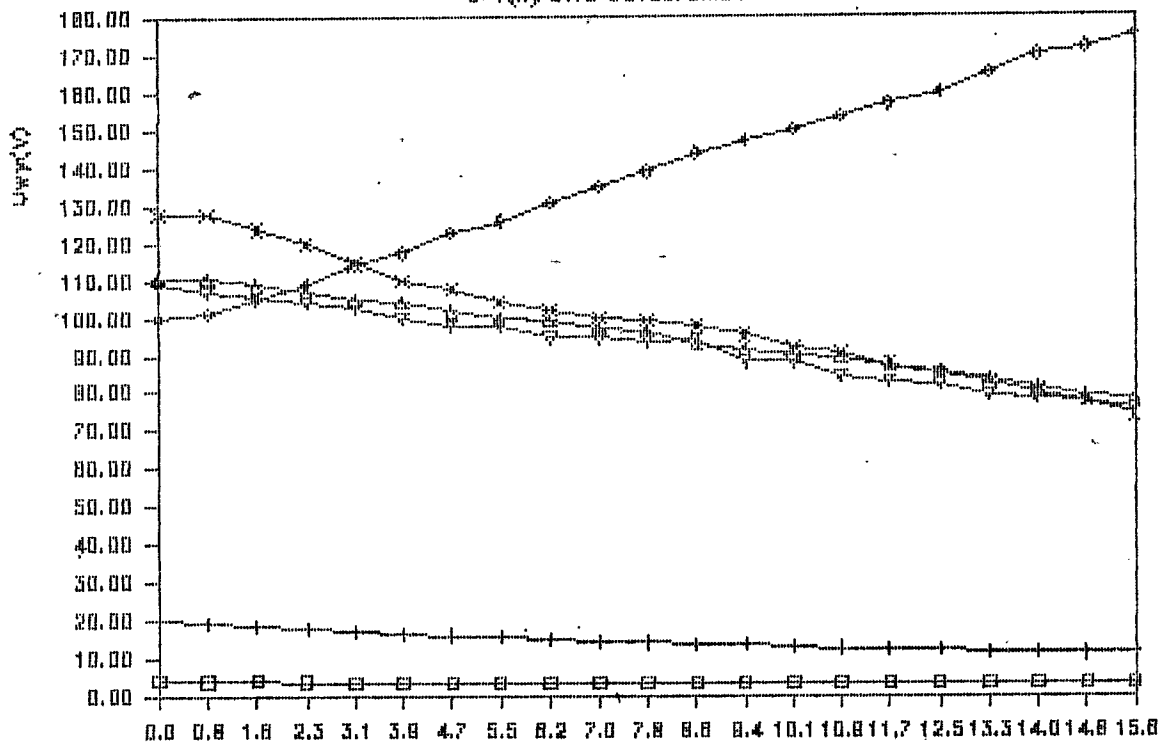


$\diamond f = 8\text{kHz}, l = 100\text{mA}$ $\square f = 8\text{kHz}, l = 100\text{mA}$ $\triangle f = 5\text{kHz}, l = 200\text{mA}$ $\nabla f = 150\text{kHz}, l = 5\text{mA}$ $\times f = 36\text{Hz}, l = 200\text{mA}$

rys.21

wykres dla próbki 95

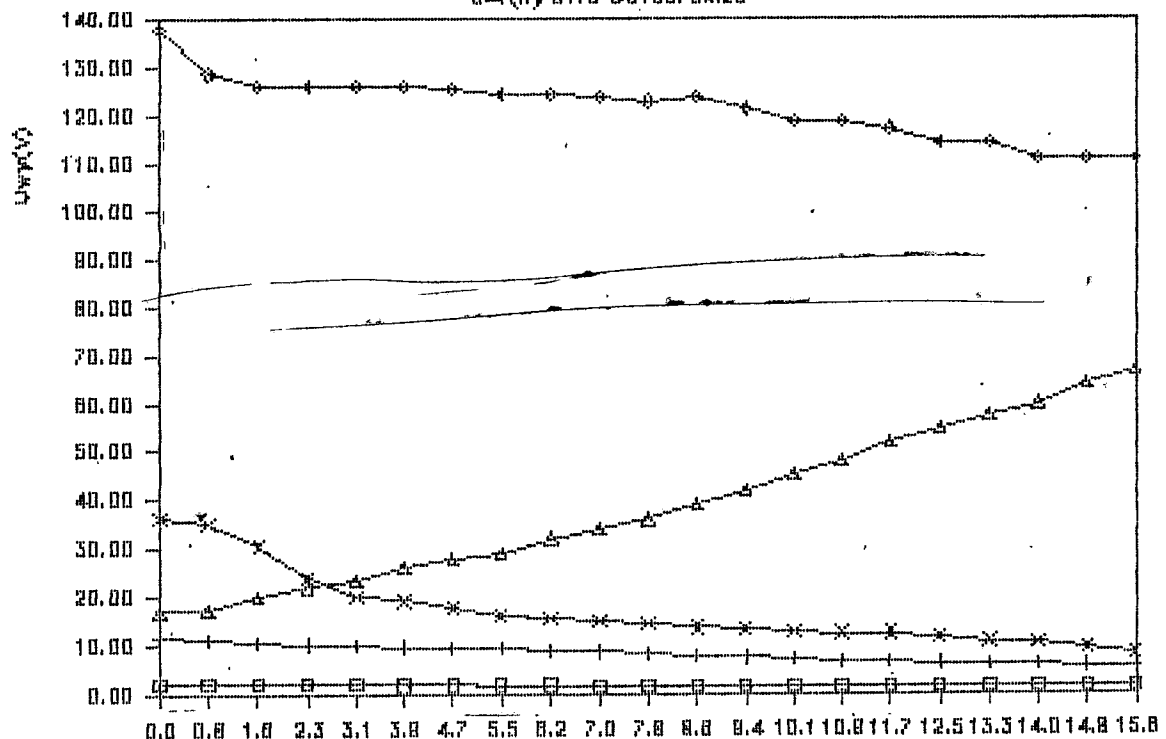
$U=f(n)$ S115 Cu100FeNi20



$\diamond$ $f = 8 \text{ kHz}$ $I = 100 \text{ mA}$ $+ f = 1 \text{ kHz}$ $I = 100 \text{ mA}$ Δ $n (\text{kg/mm}^2 \cdot \text{mm})$ $f = 5250 \text{ Hz}$ $I = 200 \text{ mA}$ ∇ $f = 52 \text{ kHz}$ $I = 200 \text{ mA}$
 $\square$ $f = 1 \text{ kHz}$ $I = 50 \text{ mA}$ $\times$ $f = 9 \text{ kHz}$ $I = 100 \text{ mA}$

wykres dla próbki 95

$U=f(n)$ S115 Cu100FeNi20

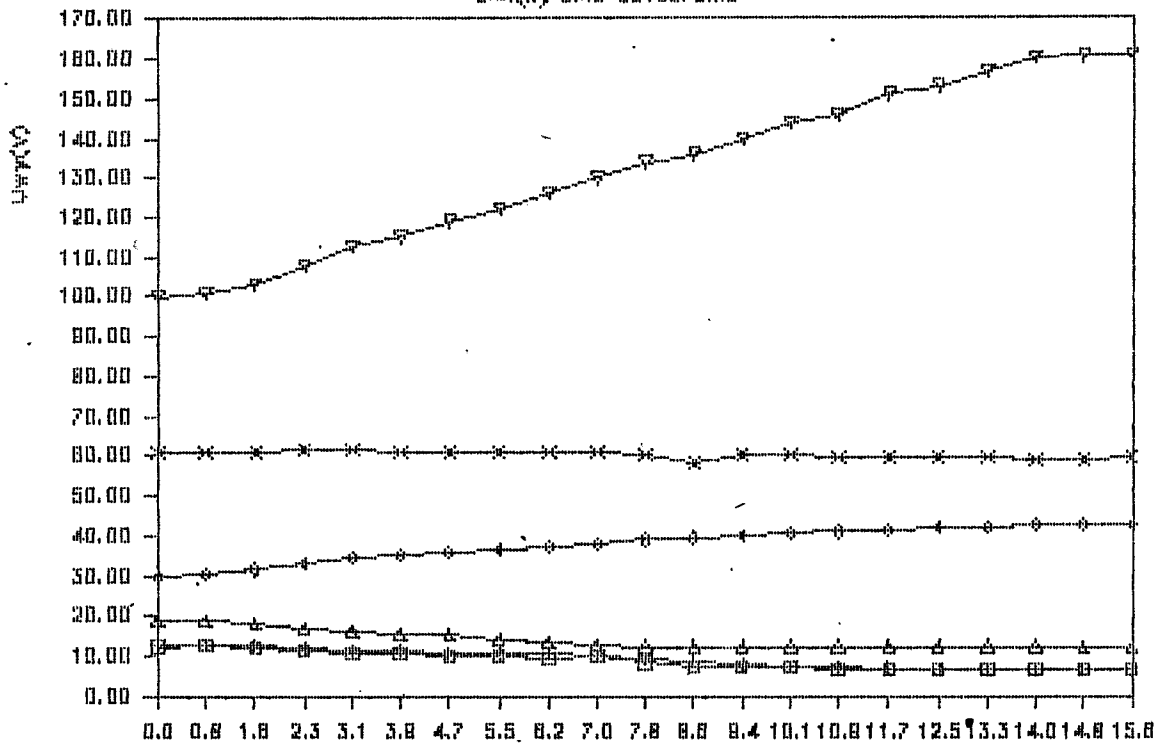


$\square$ $f = 100 \text{ Hz}$ $I = 50 \text{ mA}$ $+ f = 50 \text{ mA}$ $f = 300 \text{ Hz}$ $\diamond$ $f = 20 \text{ kHz}$ $I = 7 \text{ mA}$ Δ $f = 20 \text{ kHz}$ $I = 17 \text{ mA}$ $\times$ $f = 20 \text{ kHz}$ $I = 10 \text{ mA}$

rys.22

wykres dla próbki 96

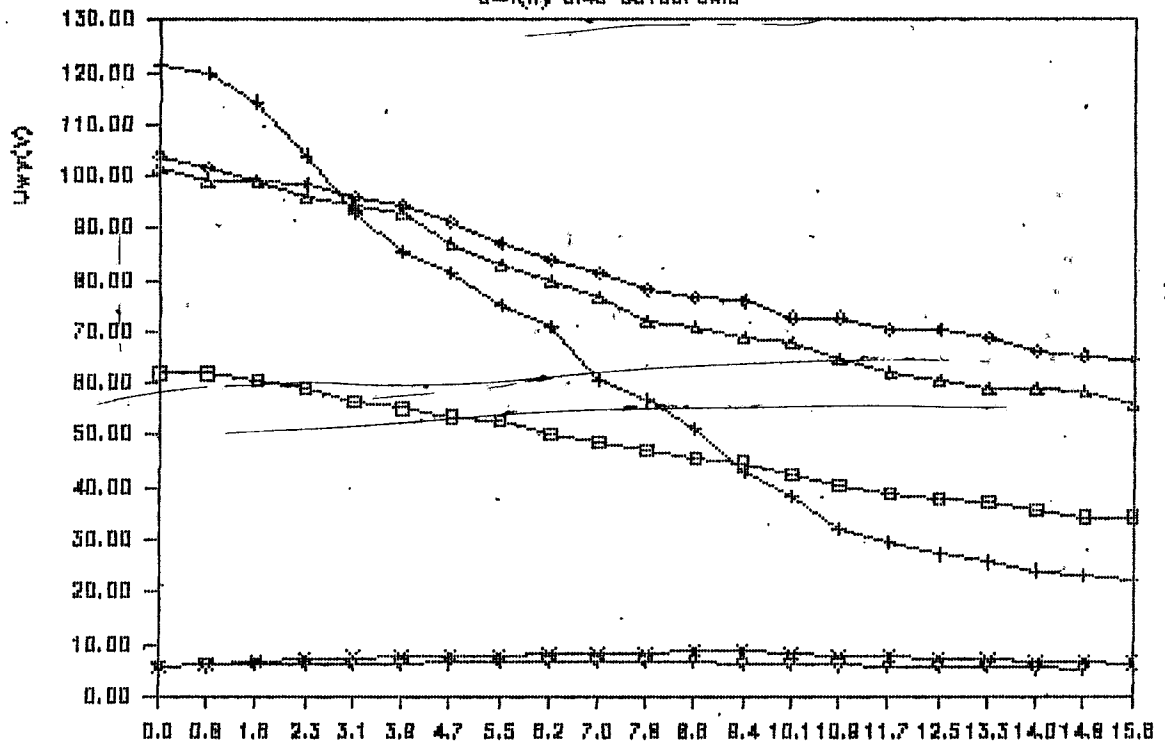
$U=f(n)$ S145 Cu100FeNiB



$\diamond f=20kHz I=30mA$ $+ f=20kHz I=30mA$ $\Delta f=1000Hz I=100mA$ $\nabla f=13kHz I=100mA$ $\times f=13kHz I=100mA$
 $\square f=10kHz I=60mA$

wykres dla próbki 96

$U=f(n)$ S145 Cu100FeNiB



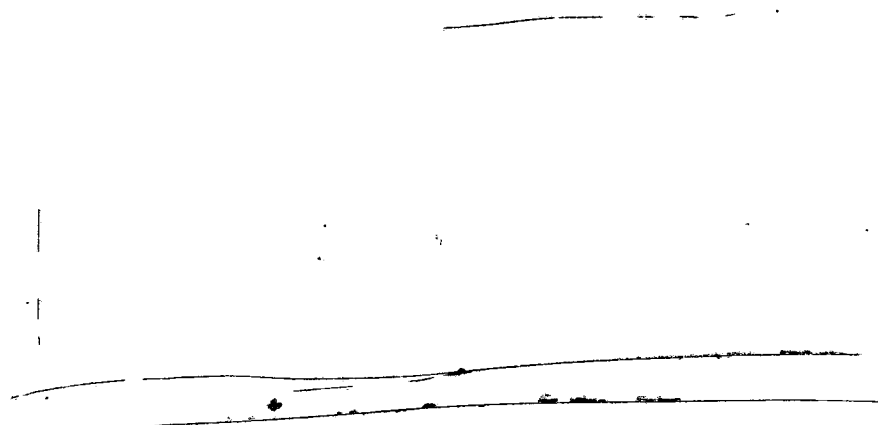
rys.23

$\square f=20kHz I=100mA$ $\diamond f=8.5kHz I=200mA$ $+ f=100Hz I=30mA$ $\Delta f=8.5kHz I=200mA$ $\nabla f=15kHz I=5mA$
 $\times f=150kHz I=5mA$

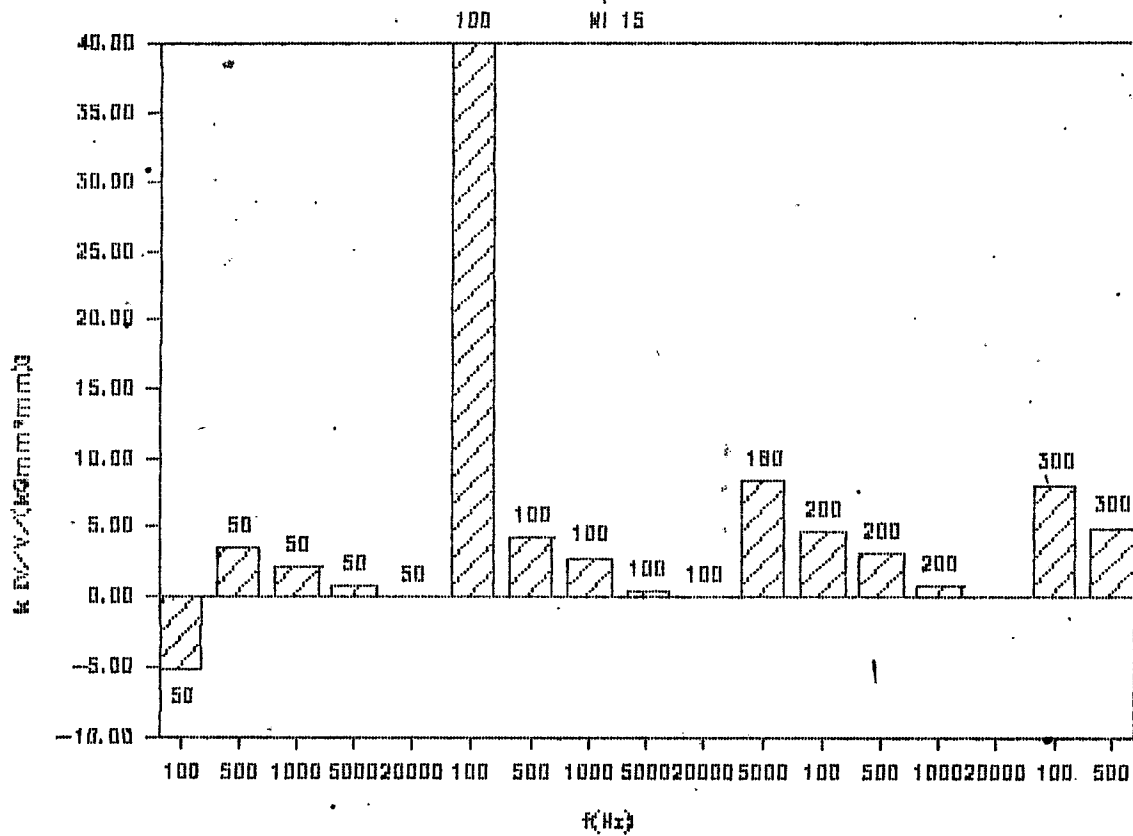
Objaśnienia do rysunków nr 24- 36.

Przedstawione wykresy słupkowe obrazują zmiany czułości próbek * obliczone według wzoru str 4 dla określonego materiału rdzenia, przy ustalonym natężeniu i częstotliwości prądu płynącego przez cewkę wzbudzającą. Liczba nad słupkiem oznacza natężenie prądu w mA, a pod słupkiem na osi X częstotliwość prądu w Hz. Na osi Y oznaczono wartości czułości.

Wartości ujemne czułości oznaczają czułość określoną według wzoru ze str 4, lecz napięcia zastąpiono zmianami natężenia prądu. Liczba bezpośrednio pod słupkiem oznacza natężenie prądu dla naprężeń równych zero.

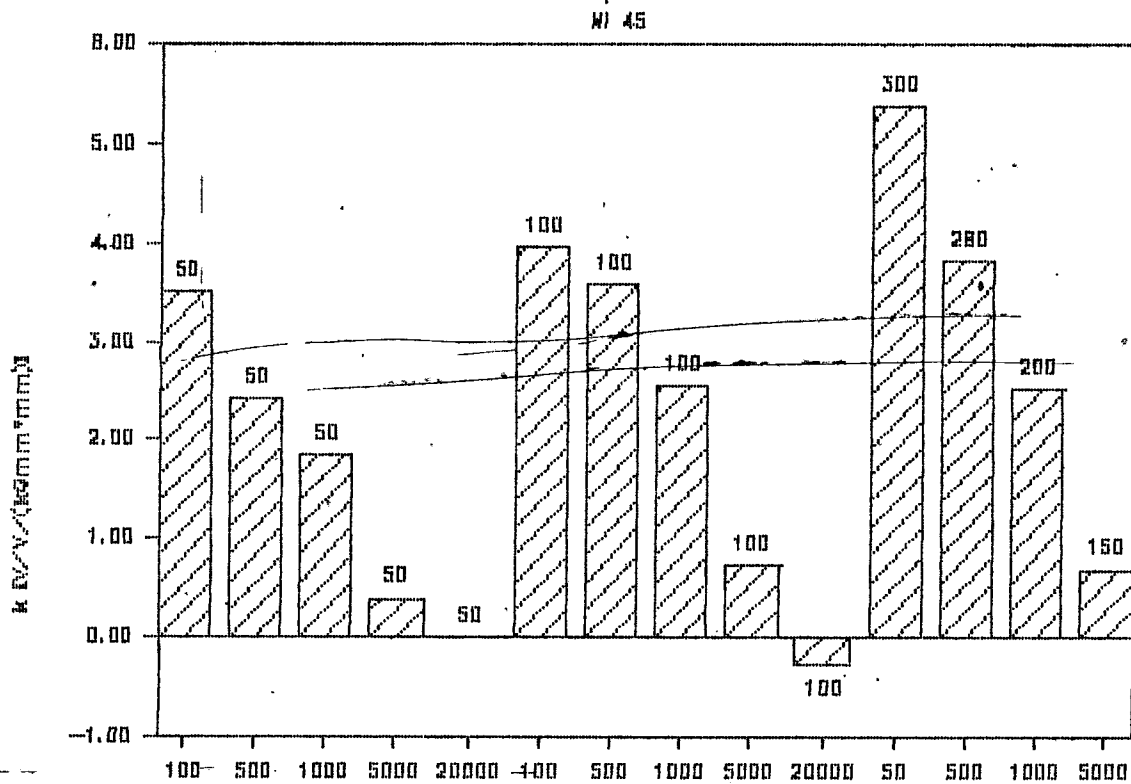


Czulosc probki 53



rys.24

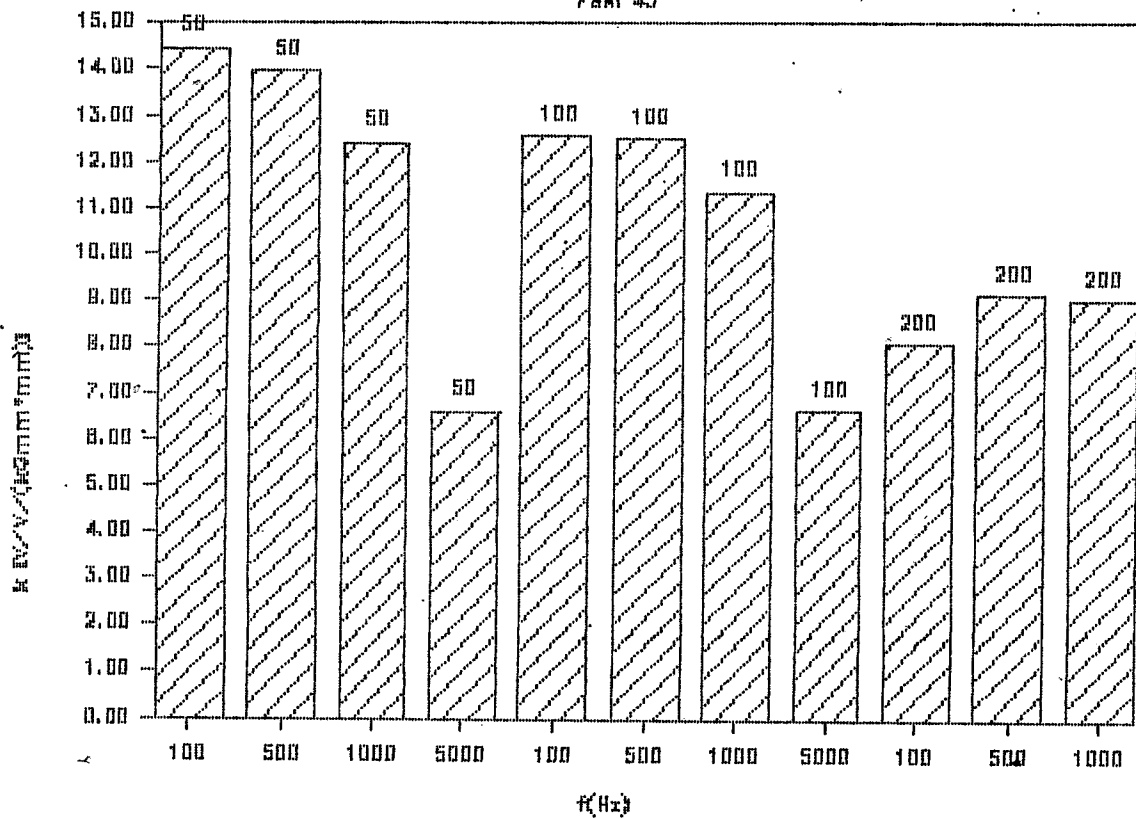
Czulosc probki 54



rys.25

Czułosc probki 56

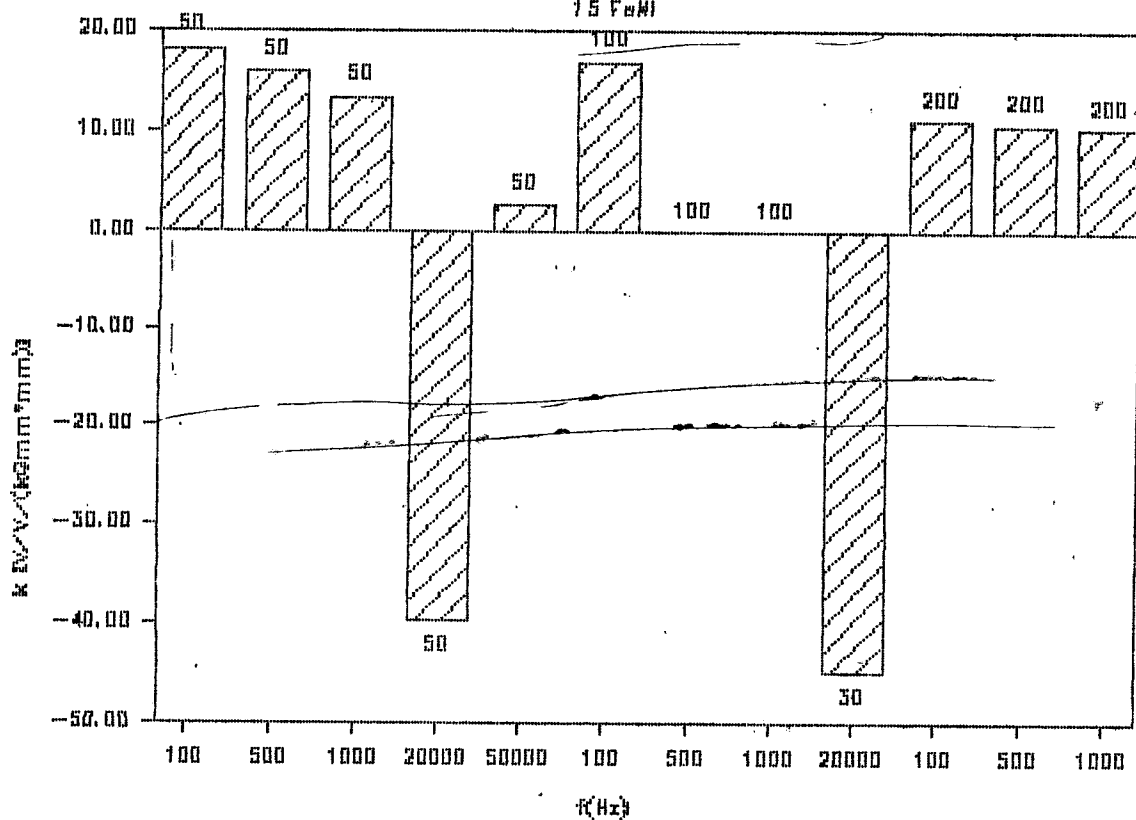
FeNi 45



rys.26

Czułosc probki 58

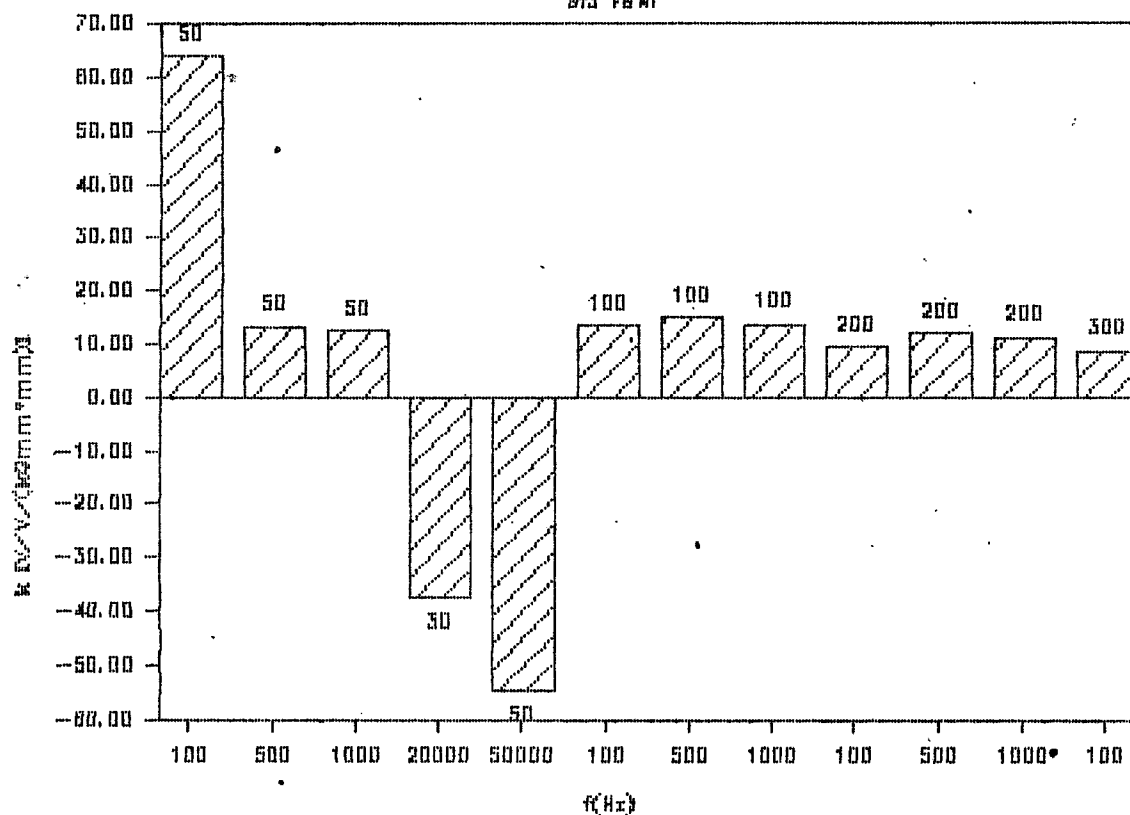
15 FeNi



rys.27

Czulosc probki 60

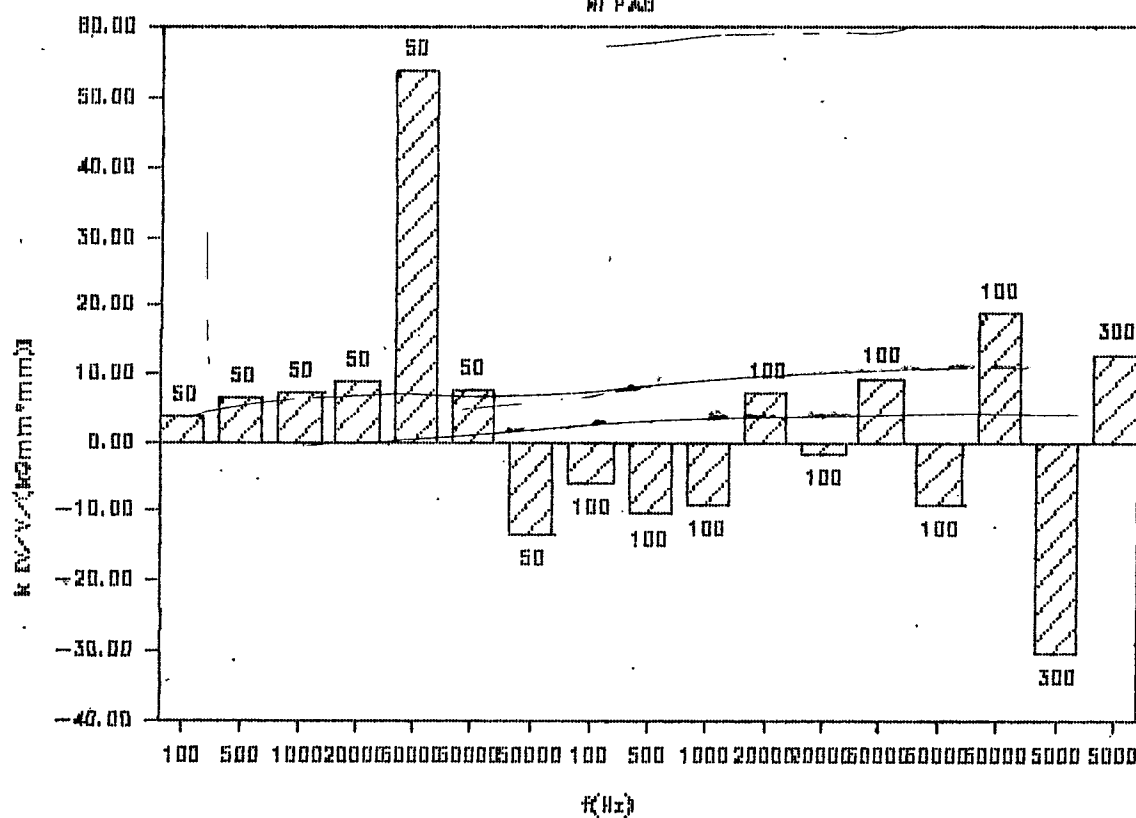
at3 Fe Ni



rys.28

Czulosc probki 62

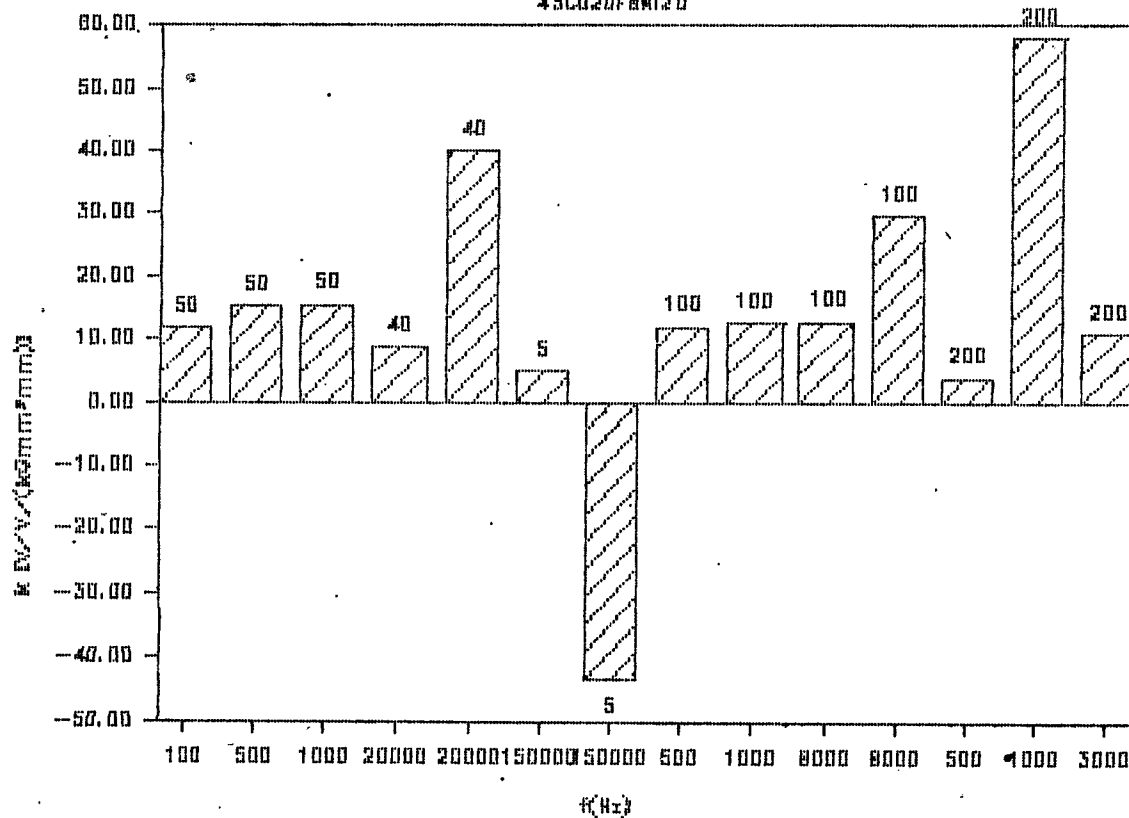
NI PAŁ



rys.29

Czulosc probki 92

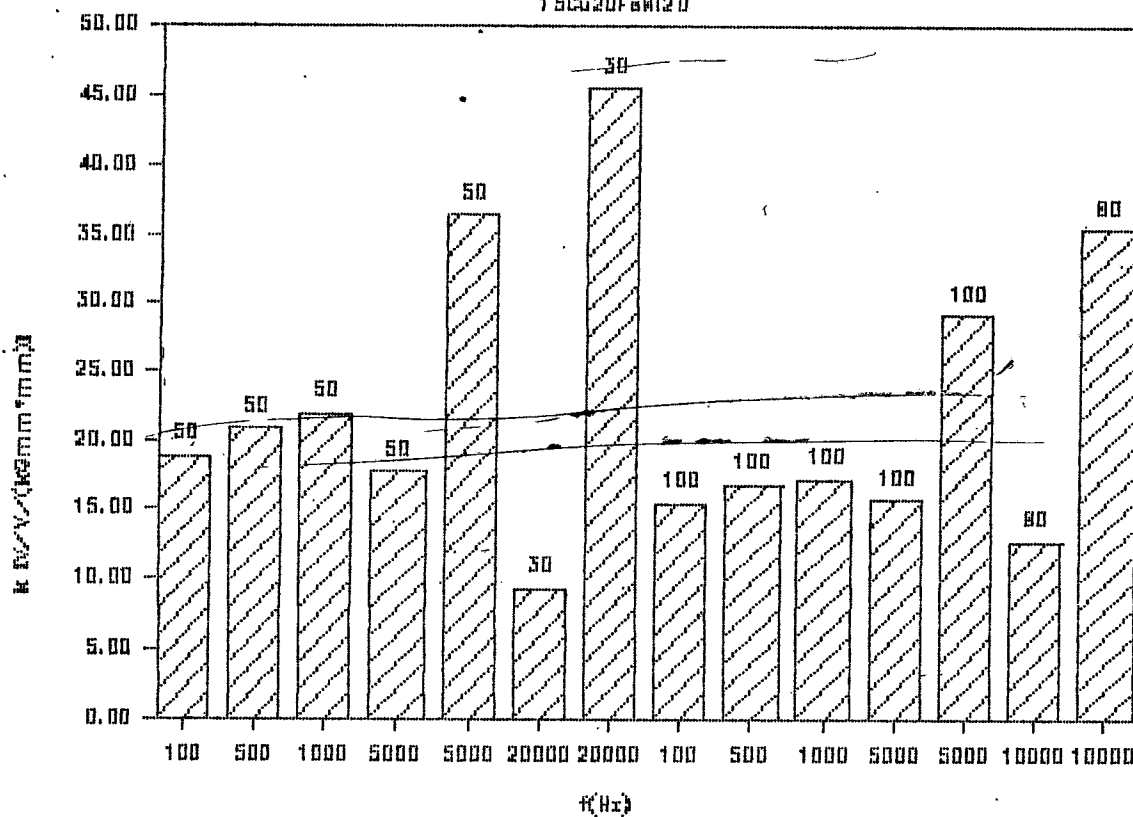
45Cu20FeW12D



rys.31

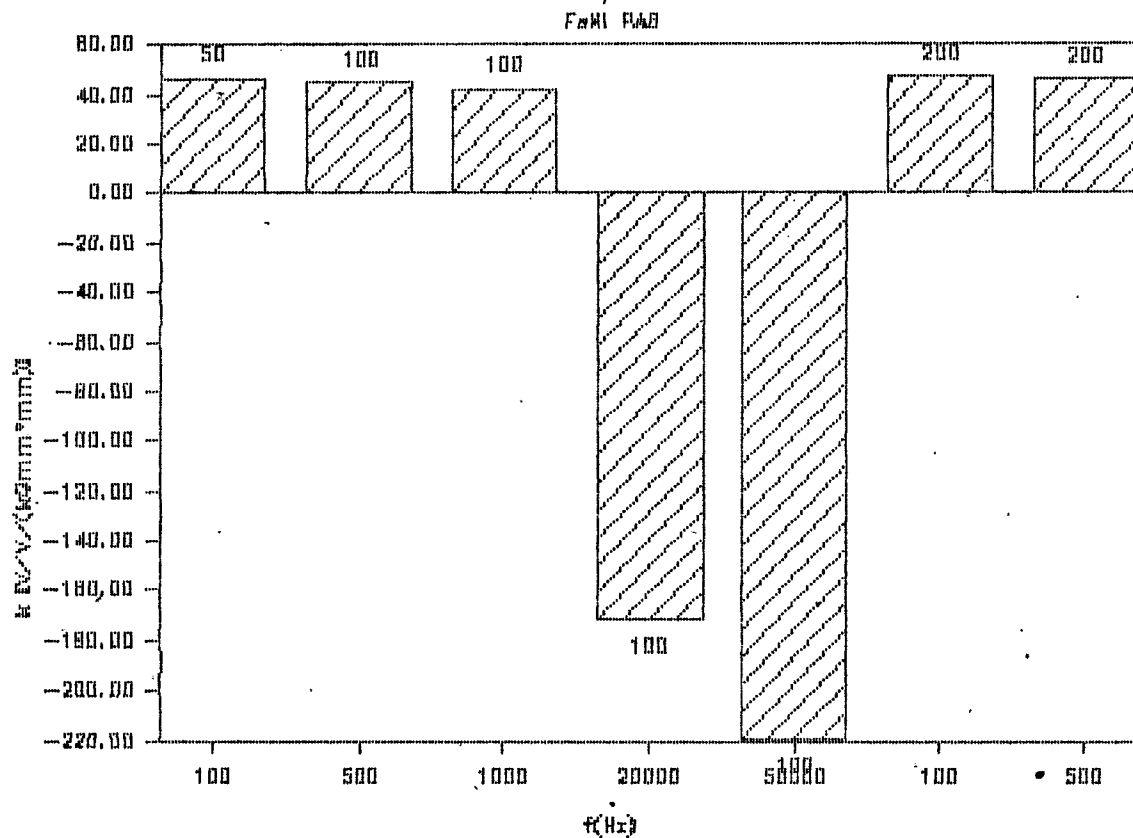
Czulosc probki 93

15Cu20FeW12D



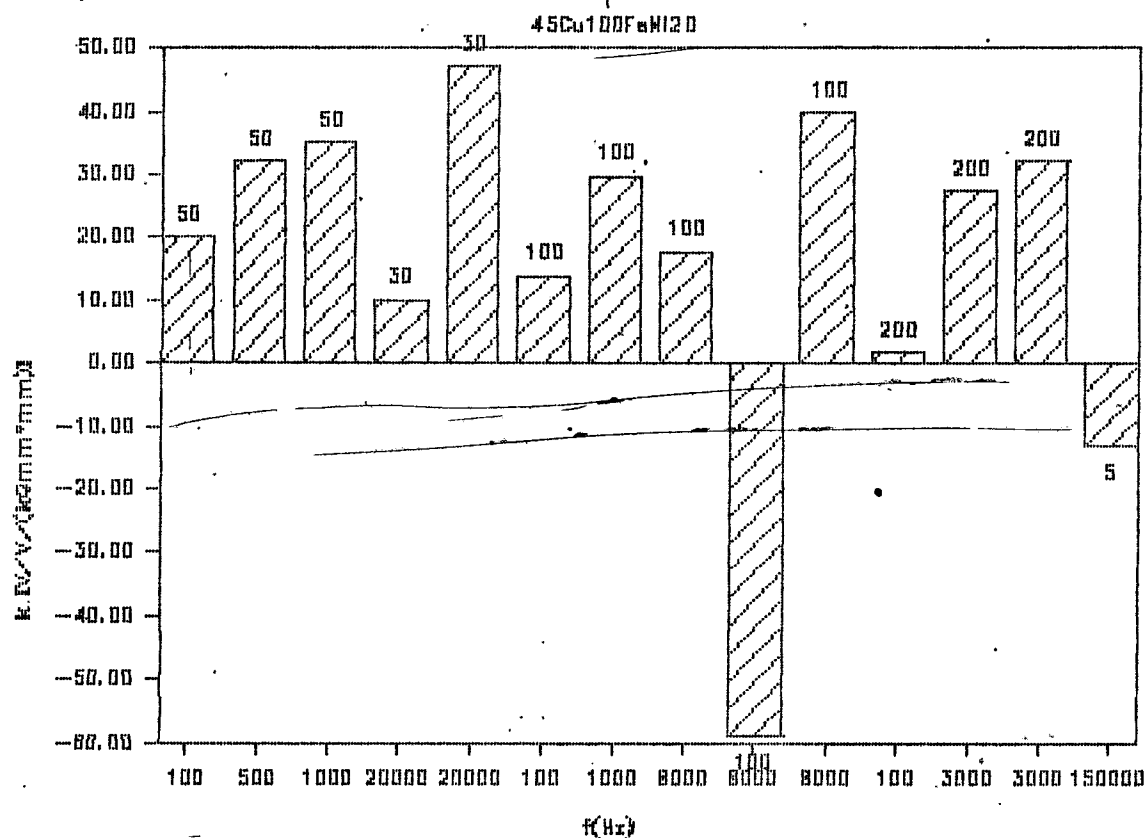
rys.32

Czułosc probki 63



rys.33

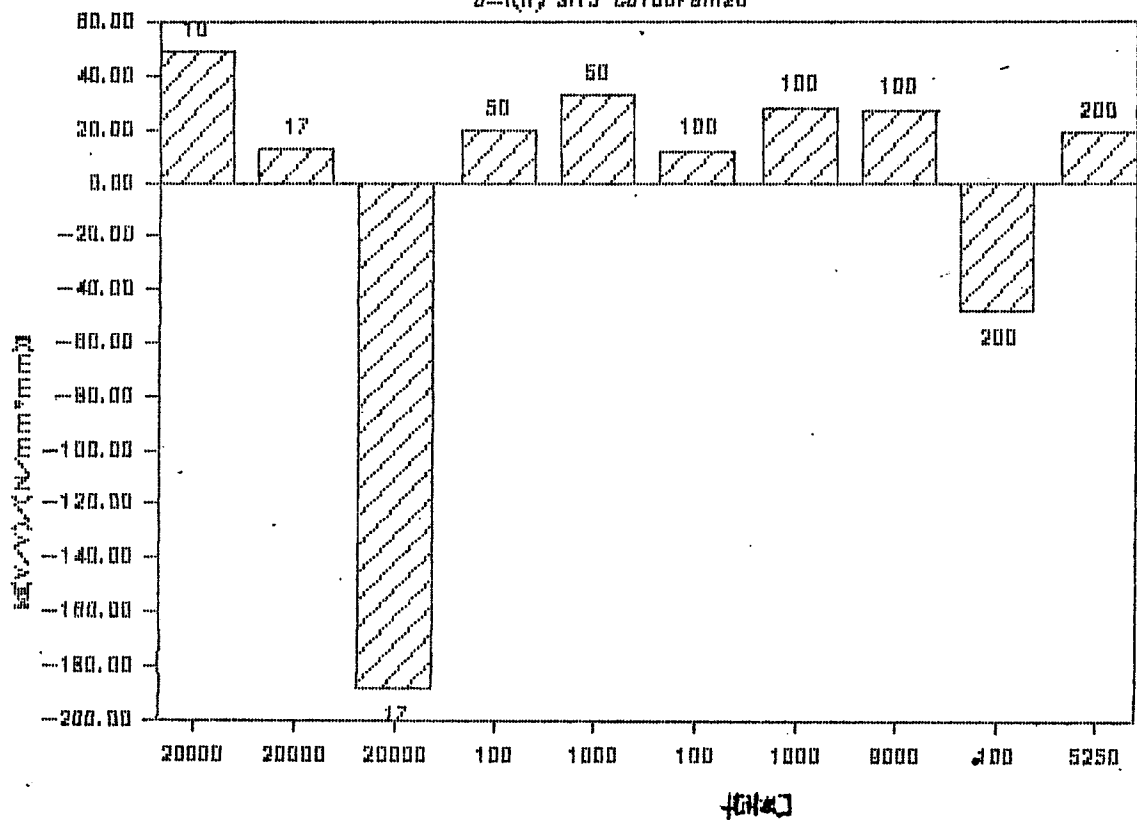
Czułosc probki 94



rys.34

Czulosc probki 95

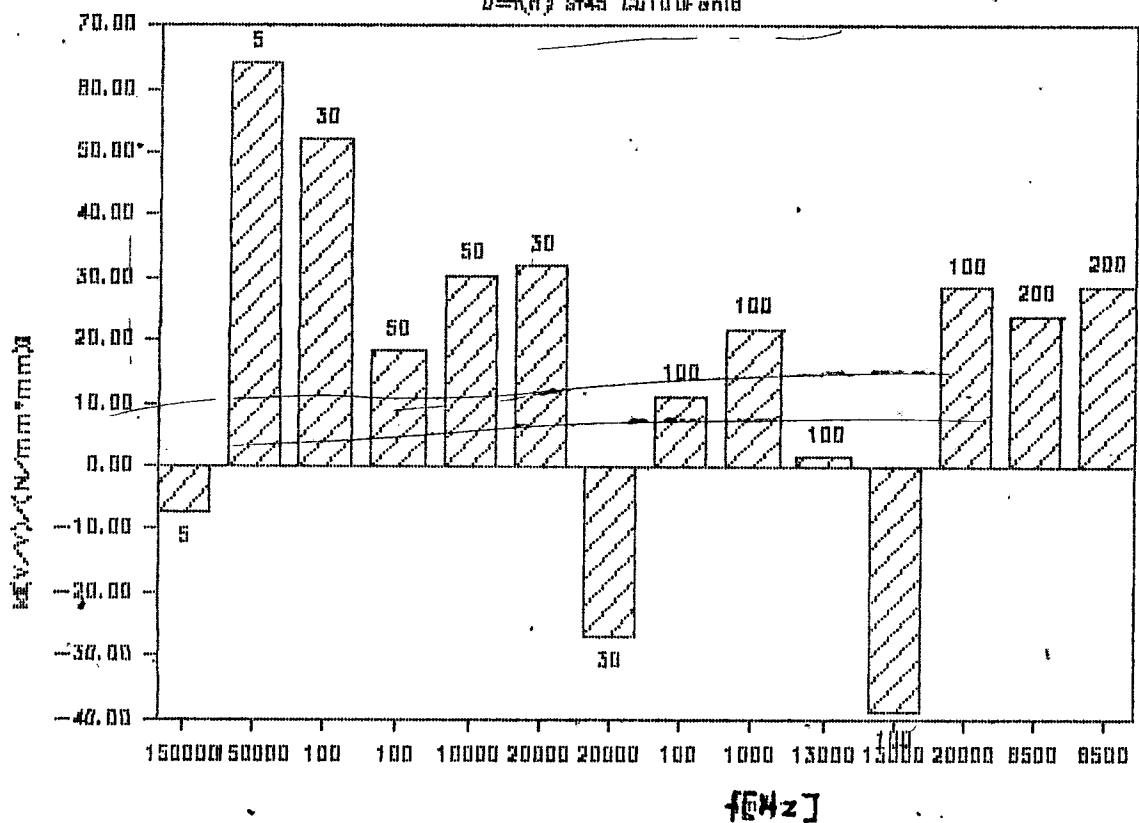
$U=f(n)$ SM5 Cu100Fen120



rys.35

Czulosc probki 96

$U=f(n)$ SM5 Cu100Fen18

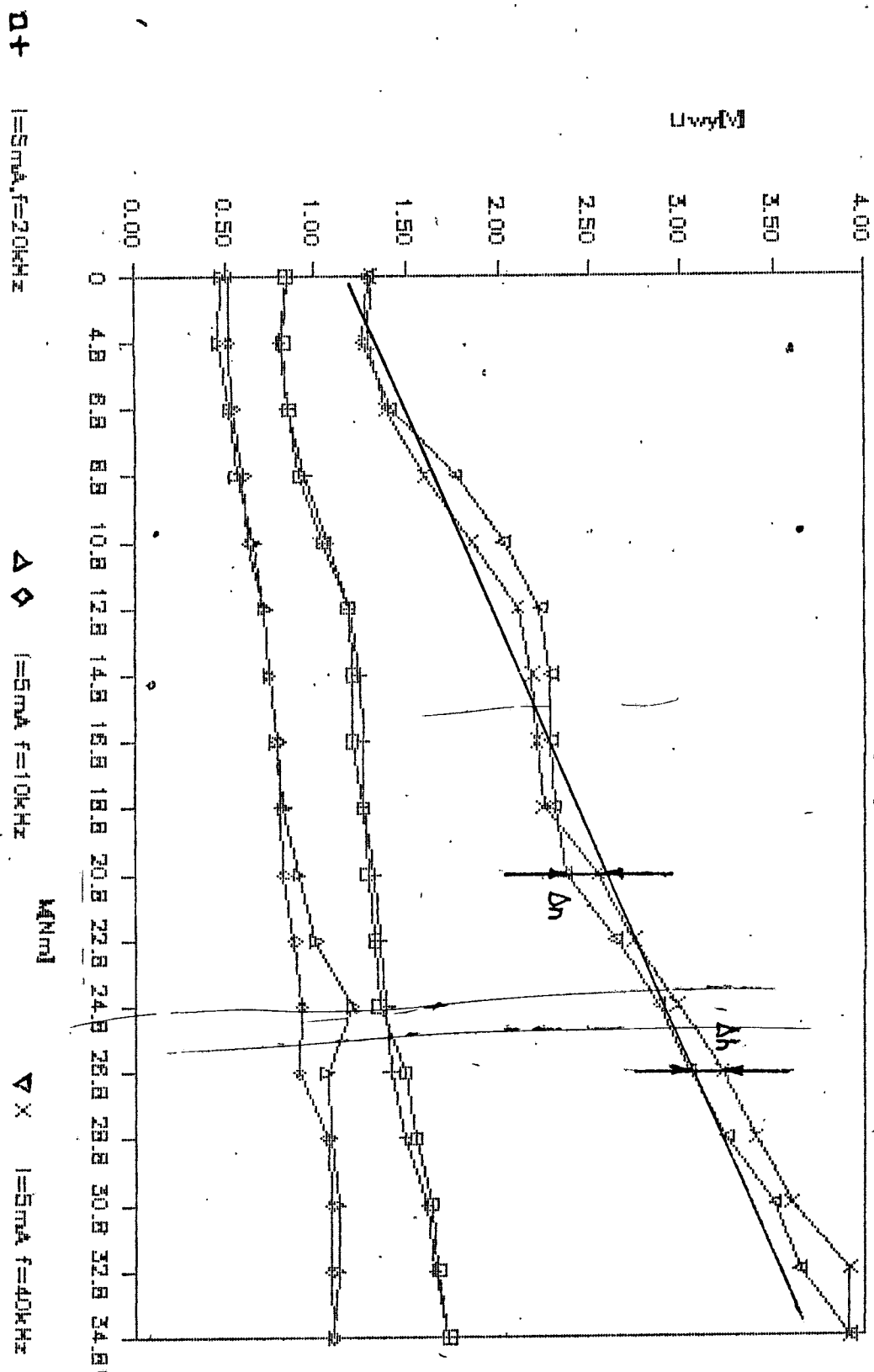


rys.36

Czułnik krzyżowy

$U=f(Mm)$

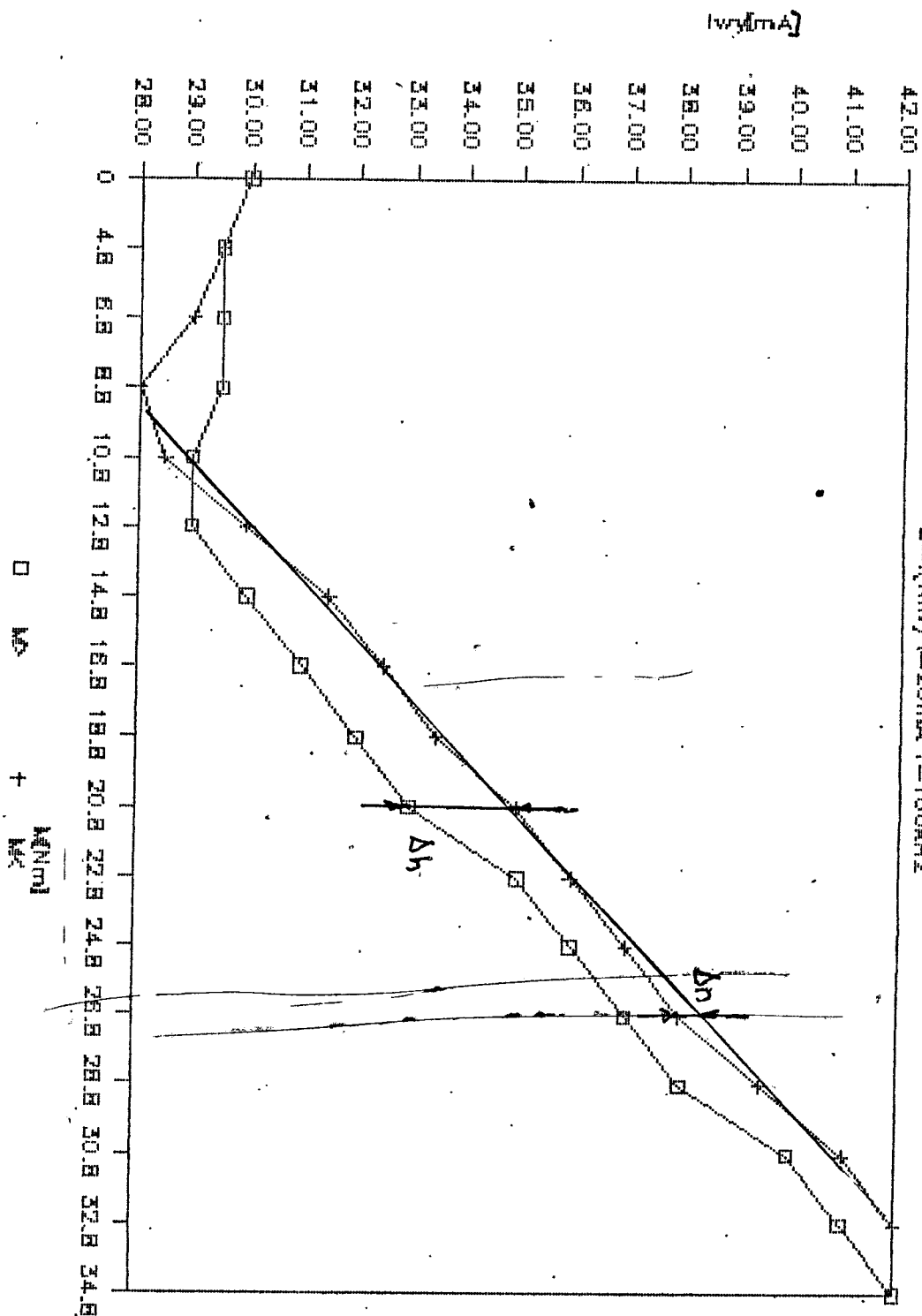
rys. 37



Czuinik z jedna cewka

$U=f(Nm)$ $I=20mA$ $f=100kHz$

rys.38

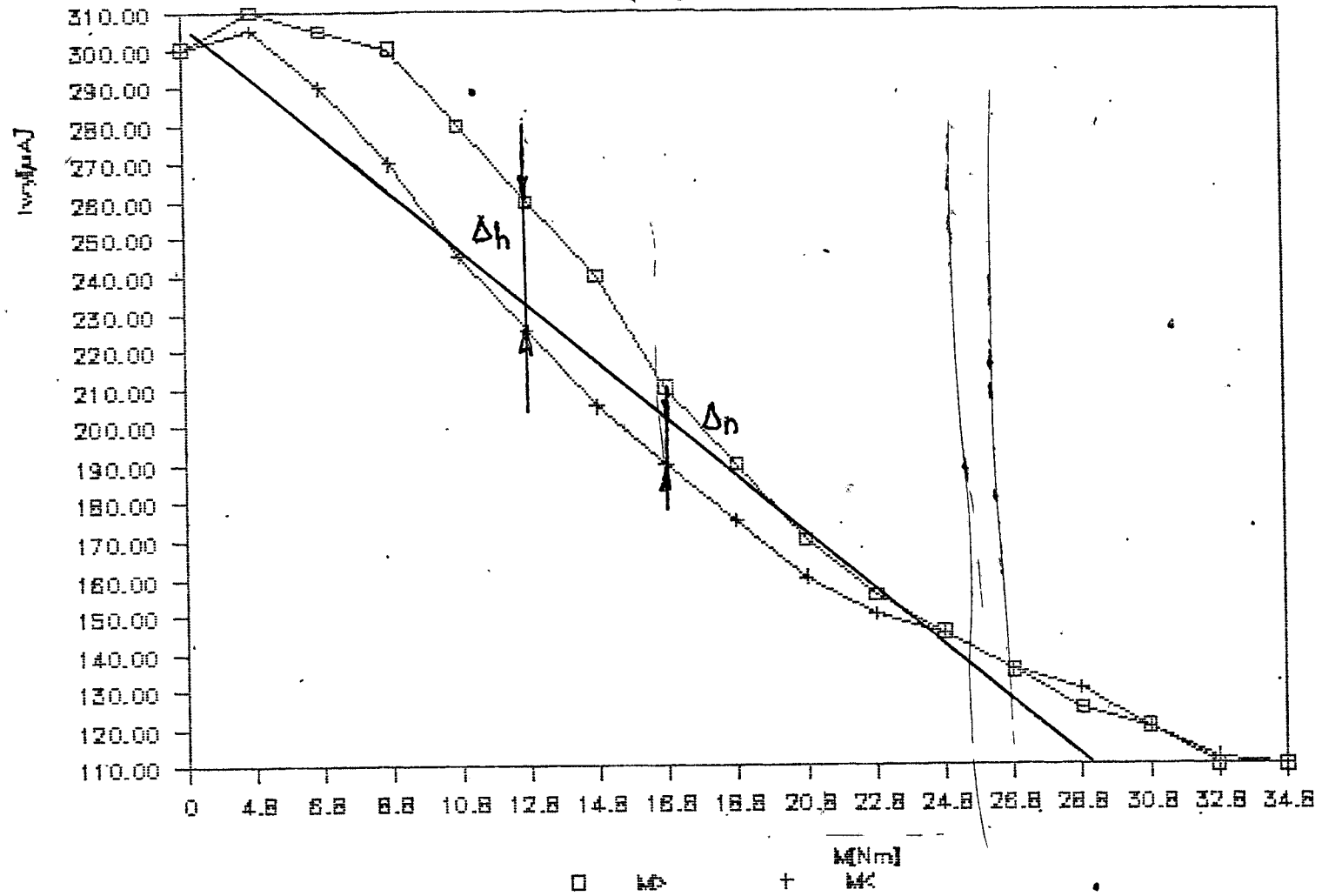


Czujnik z 2 warstwami

$U=f(Nm) \quad I=20mA$

rys. 39

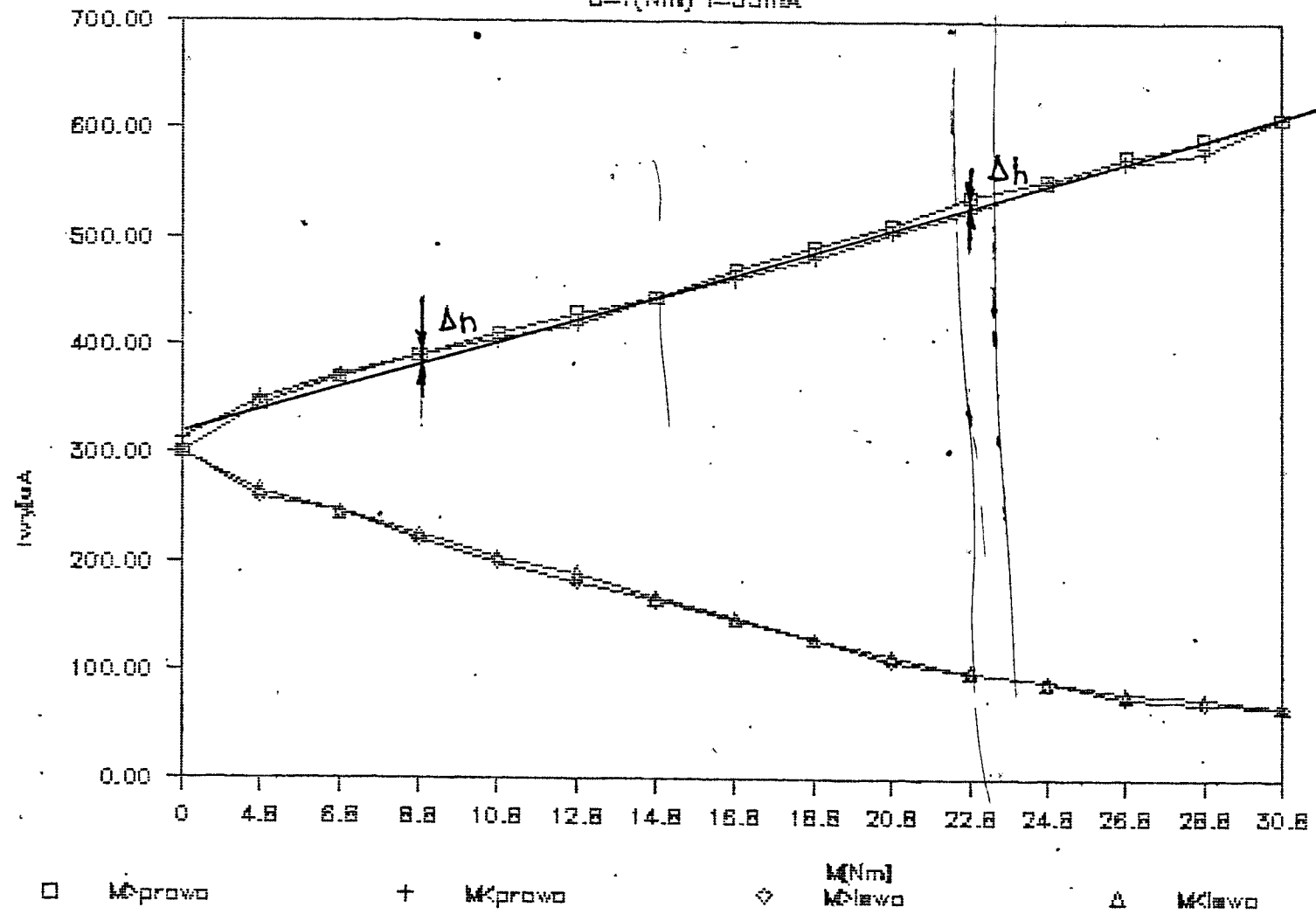
39



Czujnik paskowy nr 113

$U=f(Nm)$ $I=35mA$

rys. 40

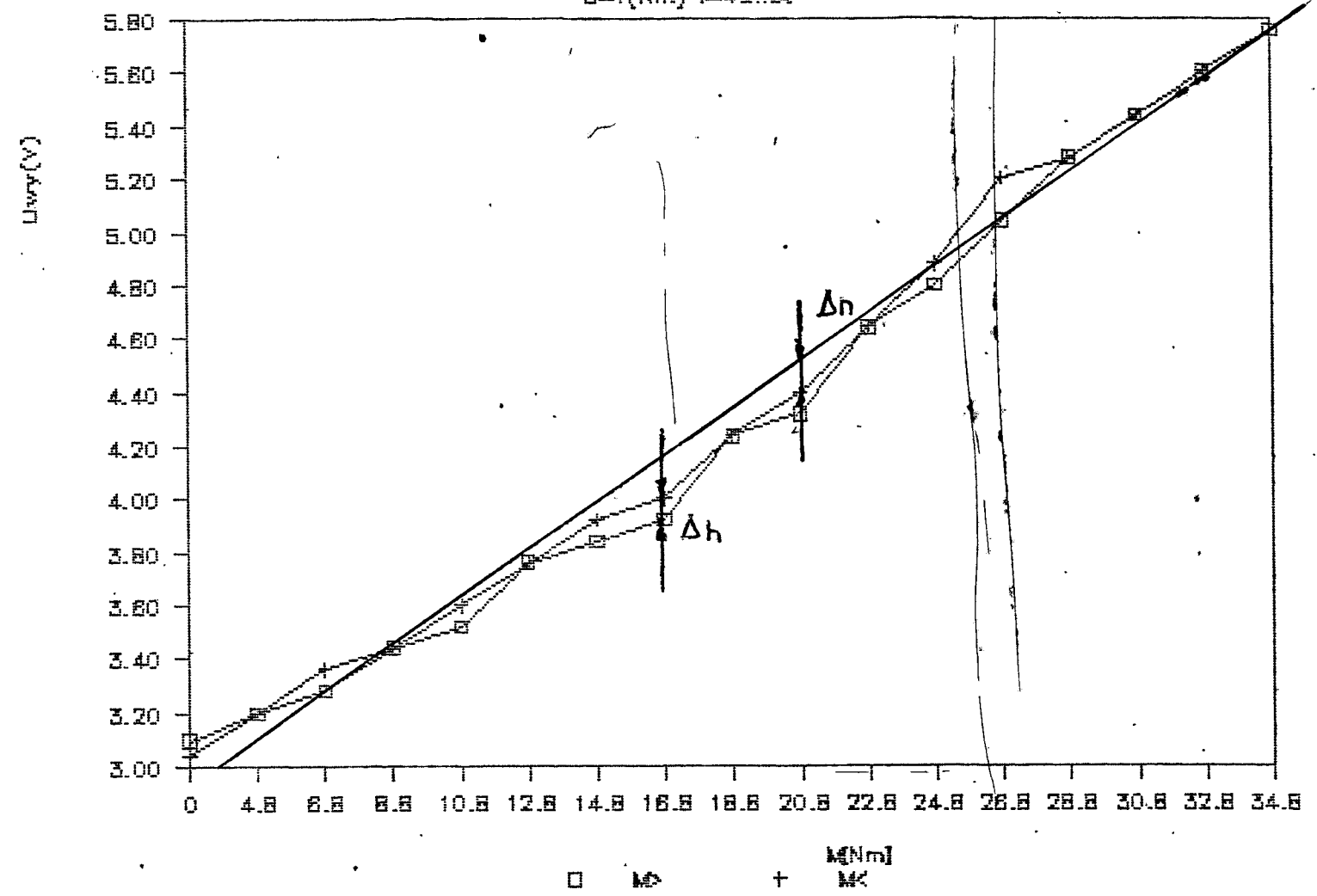


41

Czujnik paskowy nr 112

rys. 41

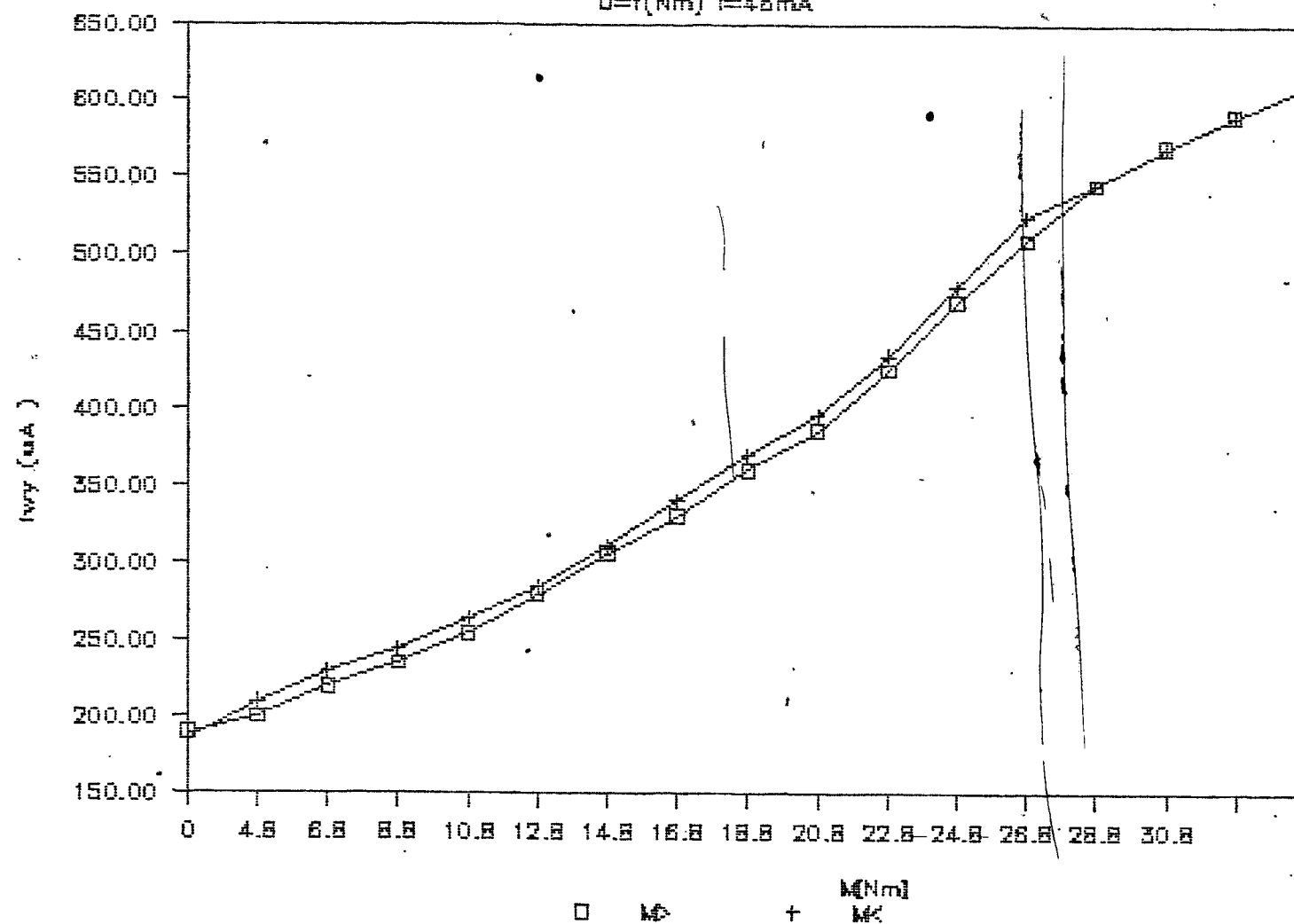
$$U = f(Nm) \quad I = 48mA$$



Czujnik paskowy nr 112

$U=f(Nm)$ $I=48mA$

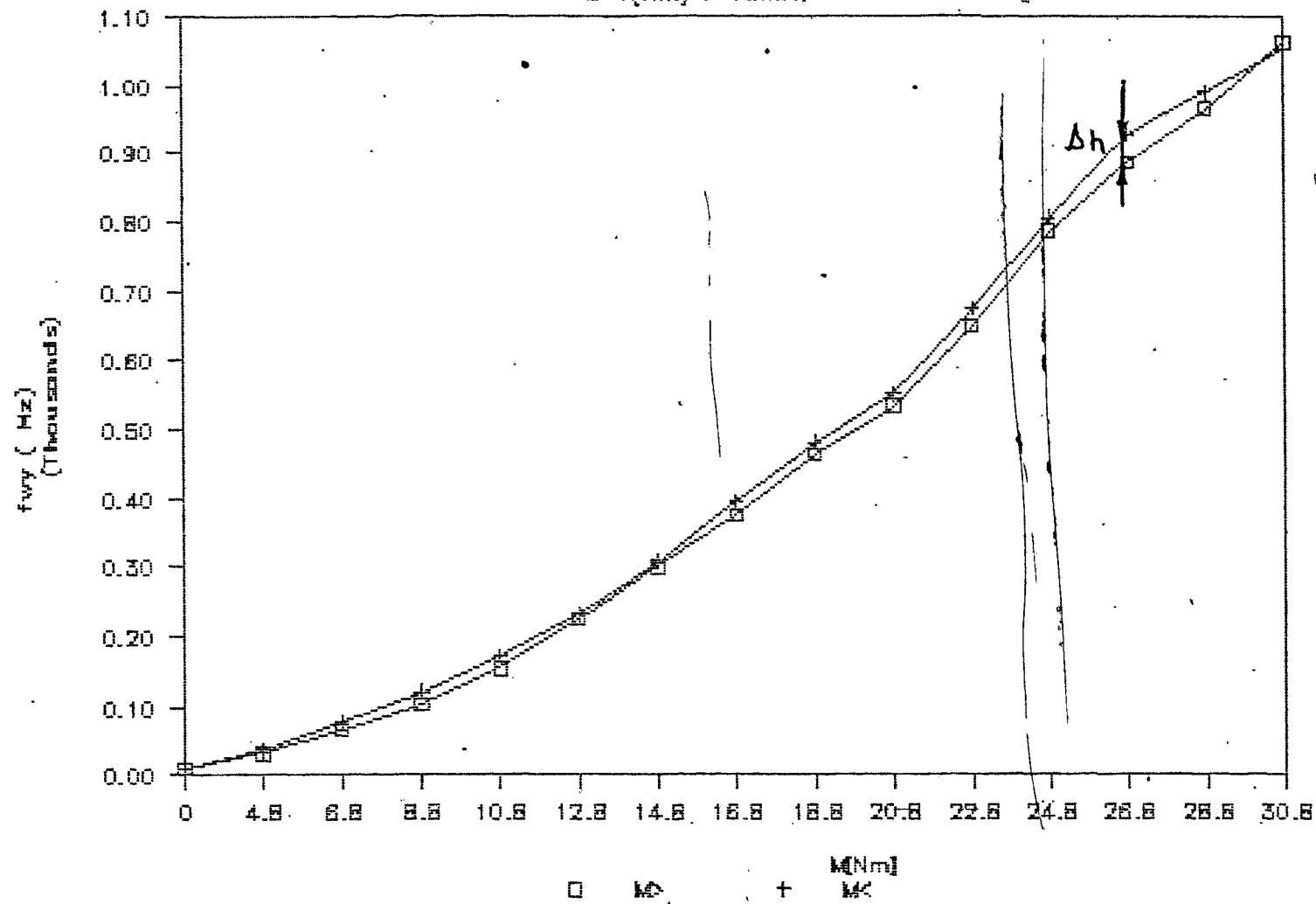
rys. 42



Czujnik paskowy nr 112

$U=f(Nm) \quad I=48mA$

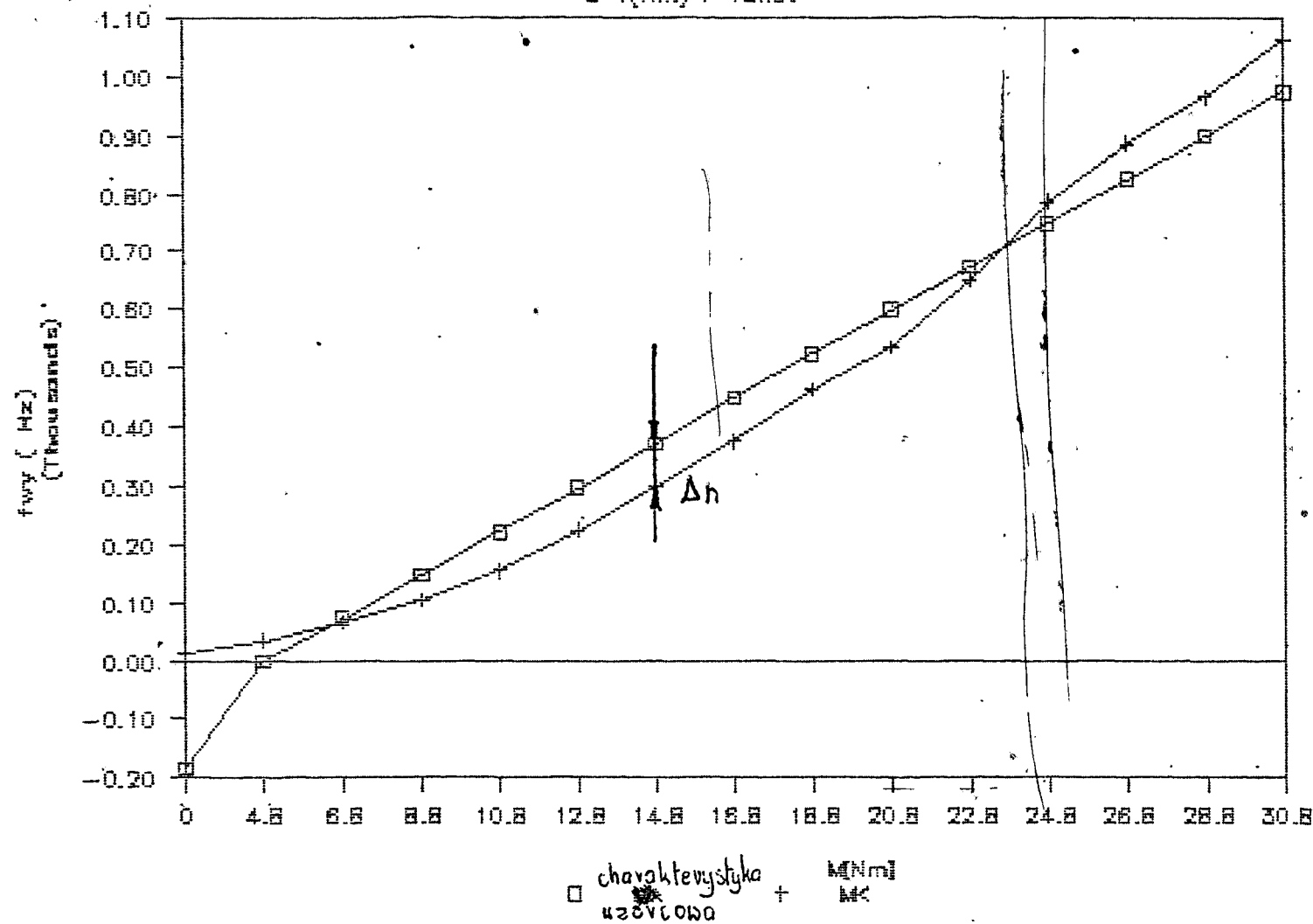
rys. 43



Czujnik paskowy nr 112

$U=f(Nm) \quad I=48mA$

rys. 44

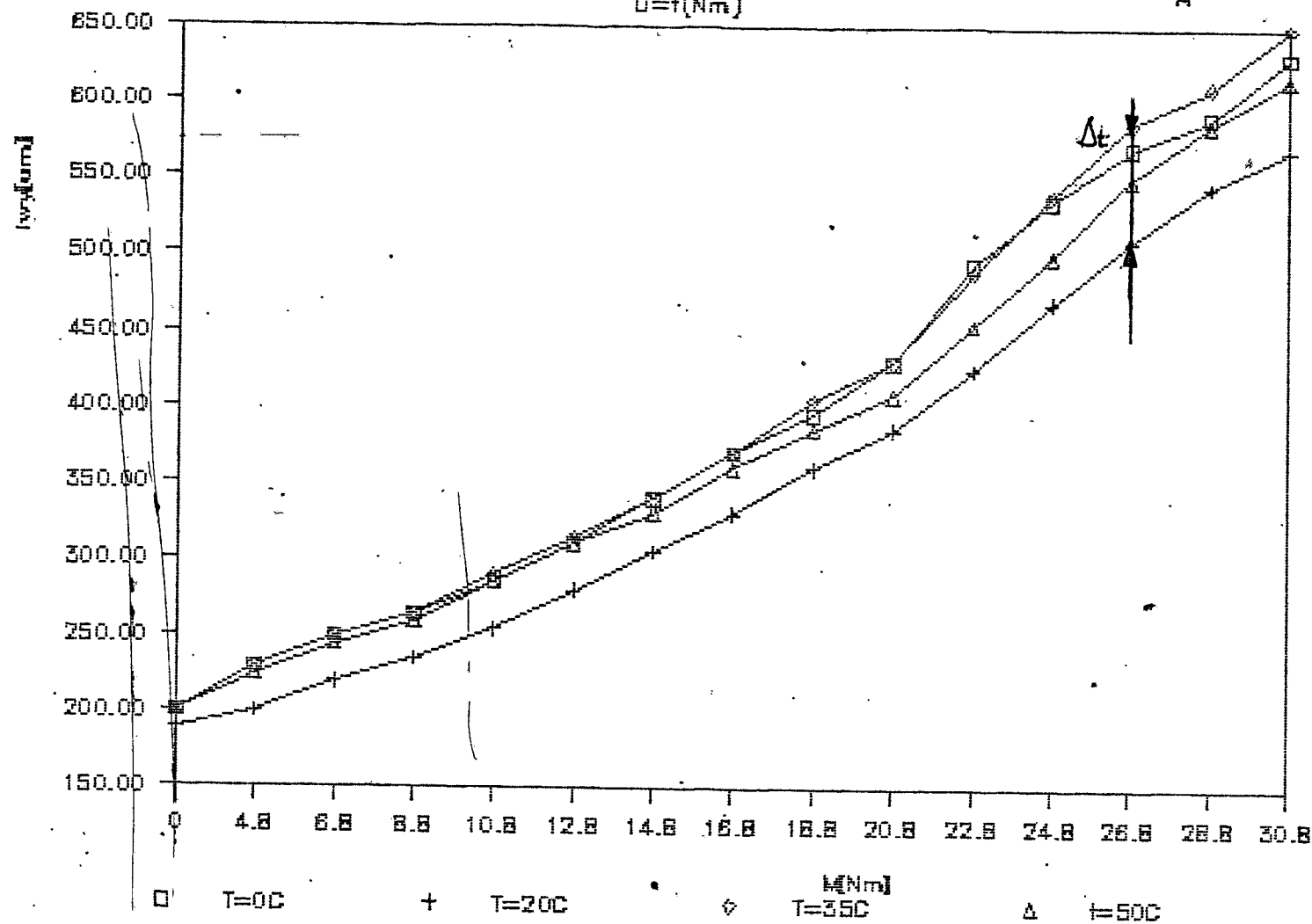


44

Czujnik paskowy nr112

$$U=f(Nm)$$

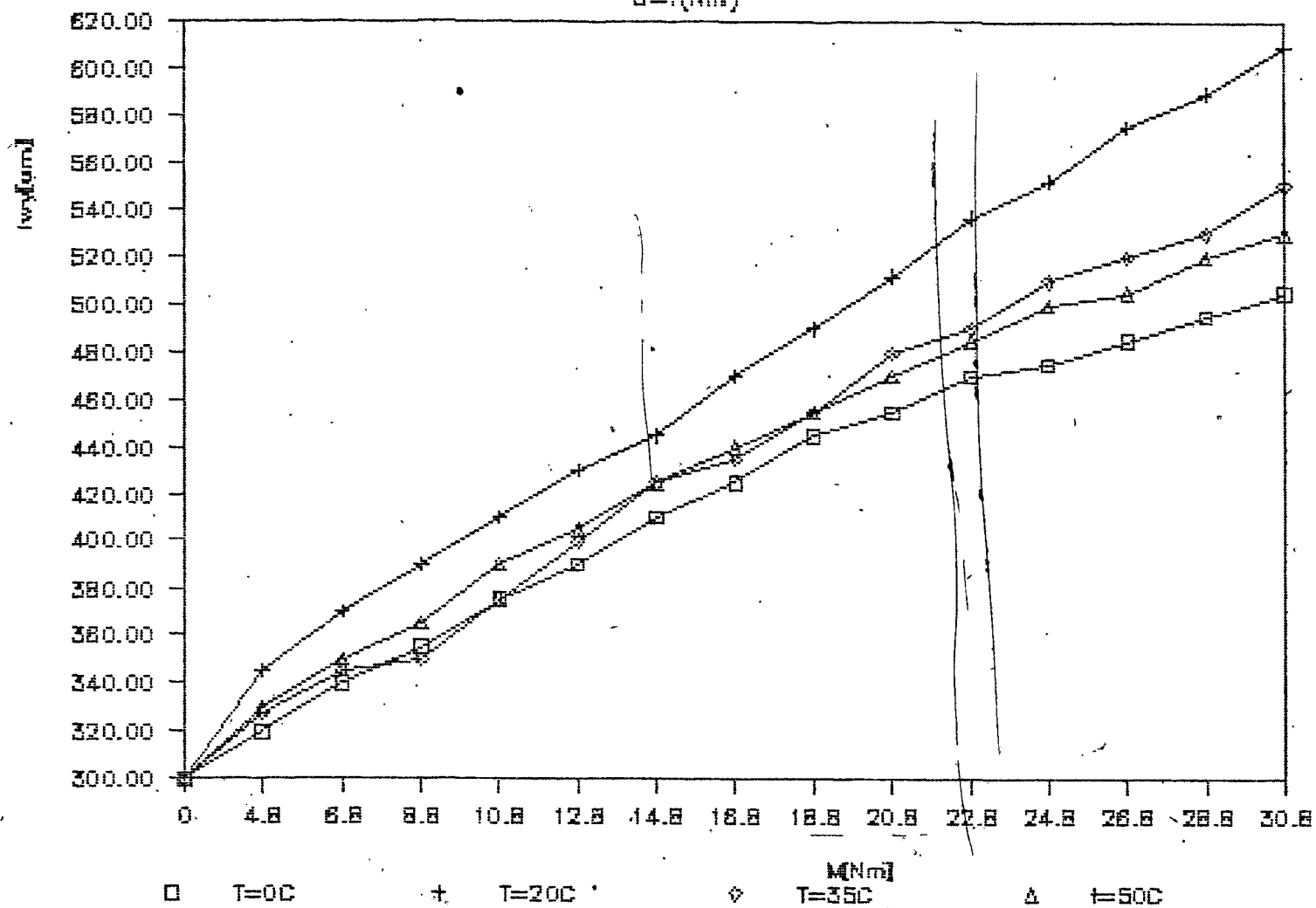
rys.45



Czujnik paskowy nr113

$$U=f(Nm)$$

rys.46



Czujnik z jedna warstwa

rys. 47

44

