

**PRACE
Instytutu
Maszyn
Matematycznych
PAN**

Praca B4 (17)

**RDZENIE O PROSTOKĄTNEJ PĘTLI HISTEREZY
ZWIJANIE Z CIENKIEJ TAŚMY PERMALOJU
MOLIBDENOWEGO 79 NM GRUBOŚCI 0,003 mm**

**Władysław CIASTOŃ
Zbigniew SZCZĘŚNY**

P. 2225/63/64

P R A C E

Instytutu Maszyn Matematycznych

Polskiej Akademii Nauk

T. II

Praca B 4/17/

RDZENIE O PROSTOKĄTNEJ PĘTLI HISTEREZY
ZWIJANE Z CIENKIEJ TAŚMY PERMALOJU
MOLIBDENOWEGO 79NM GRUBOŚCI 0,003 mm

Władysław CIASTOŃ
Zbigniew SZCZĘŚNY

Warszawa 1963

Copyright © 1963 - by Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa
Wszelkie prawa zastrzeżone



K o m i t e t R e d a k c y j n y

Leon ŁUKASZEWICZ /redaktor/, Antoni MAZURKIEWICZ,
Tomasz PIETRZYKOWSKI /z-ca redaktora/, Dorota PRAWDZIC,
Zdzisław WRZESZCZ
Redaktor działowy: Andrzej KOJEMSKI.
Sekretarz redakcji: Maria LESZEŹANKA.

Adres redakcji: Warszawa, Koszykowa 79, tel. 8-37-29

RDZENIE O PROSTOKĄTNEJ PĘTLI HISTEREZY
ZWIJANE Z CIENKIEJ TAŚMY PERMALOJU
MOLIBDENOWEGO 79NM GRUBOŚCI 0,003 mm

Władysław CIASTOŃ
Zbigniew SZCZĘŚNY

Pracę złożono 15.01.1963 r.

W artykule podano podstawowe charakterystyki dynamiczne rdzeni zwijanych z taśmy permaloju molibdenowego 79NM grubości 0,003 mm. Zestawiono również zmiany napięcia sygnału, zakłócenia oraz czasu przełączania rdzeni dla różnych warunków wytwarzania. Wyniki tej pracy obejmują także badanie zmian niektórych właściwości impulsowych rdzeni w zakresie temperatur od -45°C do 95°C .

1. Wprowadzenie

W czasie ostatniej wojny nastąpił szybki rozwój prac w kierunku otrzymywania cienkich taśm ze stopów magnetycznych o dużej przenikalności. Rozwój ten był podyktowany głównie koniecznością zastosowania tego rodzaju materiałów w rdzeniach transformatorów szerokopasmowych. Wymagania dotyczące wysokiej przenikalności spełniały magnetycznie miękkie metaliczne materiały lite. Były to w dużej części stopy żelaza z niklem - permaloje. Przeniesienie przez transformatory szerokiego pasma częstotliwości uwarunkowane było znacznym zmniejszeniem w rdzeniach strat z prądów wirowych. Skutecznym środkiem do osiągnięcia tego okazało się zastosowanie w rdzeniach taśm o zmniejszonych grubościach. Na przy-

kład taśmy grubości 0,1 ÷ 0,2 mm znalazły zastosowanie w rdzeniach składanych lub zwijanych dla transformatorów dużej mocy, taśmy 0,025 ÷ 0,075 mm w radarowych transformatorach impulsowych. Taśmę o wymienionych grubościach otrzymano metodą walcowania na zimno.

Stopy żelaza z niklem o zawartości powyżej 70% Ni, walcowane na zimno z 95%-ym zgniotem w postaci taśm, charakteryzują się prostokątną pętlą histerezy. Kształt taki otrzymuje pętla w związku z występowaniem w tych materiałach anizotropii naprężeń i kształtu. Z obniżeniem grubości taśm wymienionych stopów wzrasta natężenie koercji i prostokątność pętli histerezy. Wzrost natężenia koercji materiału obserwowano po usunięciu wpływu innych czynników, np. przy dużej czystości gazu ochronnego - wodoru podczas wyżarzania. Stwierdzenie to posłużyło do uzasadnienia przez Littmanna [1] występowania wzrostu natężenia koercji zmianami w wielkościach i kształcie domen materiału magnetycznego. Wzrost prostokątności pętli histerezy przy obniżaniu grubości taśmy związany był również ze współmiernością grubości taśmy z wymiarami pojedynczych domen.

Prostokątność pętli histerezy taśm permalojowych o grubości od 0,003 do 0,025 mm wykorzystano w miniaturowych rdzeniach magnetycznych. Rdzenie te znalazły zastosowanie w układach elektronowych maszyn cyfrowych i podobnych układach funkcjonalnych. W układach gdzie straty są krytyczne, rdzenie z taśm grubości 0,003 mm mogą pracować do częstotliwości 0,25 MHz, a w szeregowych wzmacniaczach magnetycznych układów elektronowych maszyn cyfrowych mogą być zastosowane dla częstotliwości powyżej 1 MHz.

Otrzymanie wyższej prostokątności i obniżenie natężenia koercji taśmy z permaloju molibdenowego, walcowanej na zimno, związane jest z obróbką cieplną w czystym i suchym wodorze. Littmann i Ward [2] stwierdzili, że istnieje optymalna temperatura wyżarzania, pod wpływem której rdzenie osiągają mały czas przełączania.

Właściwości rdzeni metalicznych z cienkich taśm, podobnie jak rdzeni z innych materiałów, np. ferrytu, mierzone są statycznie i dynamicznie. Rdzenie w pomiarach dynamicznych przełączane są całkowicie lub częściowo z jednego kierunku magnetyzacji do przeciwnego. Przeprowadzona i uzupełniona przez szereg autorów [3],

[4], [5], [6] analiza przebiegów odpowiedzi rdzenia przy zmianach magnetyzacji została oparta na domenowej teorii przemagnesowania. Przyjęto, że przy procesach przemagnesowania dla niewielkich pól dominuje ruch ścian Blocha, przy większych polach - niejednolite i jednolite rotacje wektorów magnetyzacji. Charakterystyczne dla procesu przemagnesowania w tego rodzaju materiałach jest to, że iloczyn pola określonego różnicą $H_m - H_0$ i czasu przełączania τ_{II} przy całkowitym przemagnesowaniu jest stałą materiałową, zwaną współczynnikiem przełączania S_w .

$$S_w = \tau_{II} / H_m - H_0; \quad /1/$$

H_0 jest krytycznym natężeniem pola, powyżej którego następują nieodwracalne procesy magnesowania, H_m - wartością przyłożonego pola.

Zależnością /1/ przyjęto posługiwać się w doświadczeniach dla zakresu, w którym pole H_m jest niewiele większe od H_0 .

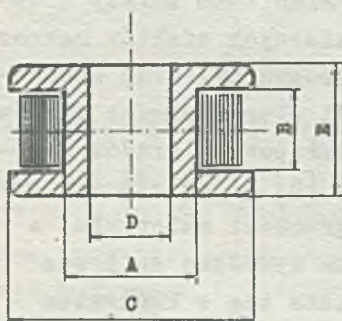
Wartość S_w dla rdzeni zwijanych z cienkich taśm zależy w decydującym stopniu od występowania dwu niezależnych efektów makroskopowych prądów wirowych, określających składową S_w° , oraz składowej S_w^{\times} , określonej występowaniem relaksacji elementarnych spinów elektronów i oddziaływaniem lokalnych mikroskopowych prądów wirowych. Wyniki prac szeregu autorów [5], [7], [9] pozwalają stwierdzić, że składowa S_w^{\times} jest niezależna od grubości materiału, a zmiany S_w dla taśm grubości 0,003÷0,006 mm wywołane są przez zmianę w składowej S_w° , której wartość zmienia się z kwadratem grubości taśmy. Stwierdzono również, że straty w skutek powstawania prądów wirowych dla taśm z permalaju molibdenowego grubości 0,003 mm są zmniejszone do około 5% wartości strat na opóźnienia magnetyczne. Dlatego też dalsze zmniejszanie grubości taśmy miałyby mało istotny wpływ na wielkość współczynnika przełączania S_w .

Wykonane rdzenie miały być zastosowane w układach wzmacniaczy magnetycznych - ferraktorów. O wzmocnieniu tych układów decyduje głównie wielkość indukcji nasycenia B_s materiału użytego w rdzeniu, przy danej wartości natężenie pola przełączającego H_m . Równie ważne w tych zastosowaniach są prostokątność pętli histerezy i stosunek powierzchni przekroju materiału magnetycznego do powierzchni przekroju uzwojeń nawiniętych na rdzeniu. Przeprowadzo-

ne przez Bonna [8] badania szeregu materiałów metalicznych i ferrytowych pozwoliły stwierdzić, że największe wzmocnienie ferraktorów /również w zakresie częstotliwości powyżej 1 MHz/ może być osiągnięte dla rdzeni z taśmy permaloju molibdenowego grubości 0,003 mm. Celem pracy było otrzymanie tego rodzaju rdzeni.

2. Wyniki doświadczenia

Rdzenie wykonano z permaloju molibdenowego produkcji radzieckiej oznaczonego cechą 79NM, którego odpowiednikiem jest produkowany w kraju stop magnetycznie miękki P78M. W przybliżeniu stop składał się z 79% niklu, 4% molibdenu i 17% żelaza. Zgodnie z danymi wytwórcy, podstawowe właściwości stopu były następujące: dla pola H_m równego 0,25 Oe indukcja maksymalna B_m wynosiła 6450 Gs,



Rys. 1. Budowa rdzenia zwijanego

natężenie koercji H_c było równe 0,09 Oe, a B_r/B_m wynosiło 0,91.

Pociętą na paski o określonej szerokości taśmę izolowano kataforetycznie tlenkiem magnezu i zwijano na szpulkowych stalowych karkasach. Dzięki kataforetycznemu izolowaniu uzyskano dla wyko-

Tablica 1

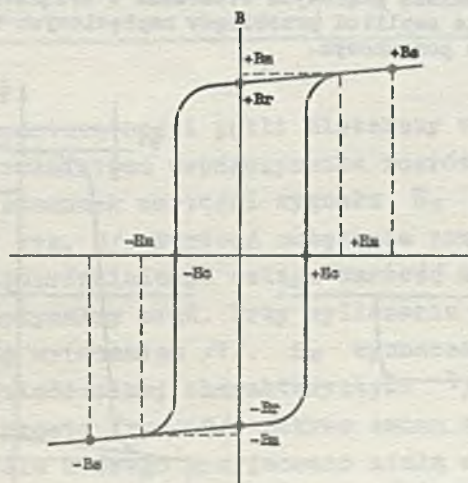
Wymiary rdzeni

Wymiary /mm/					Grubość taśmy /mm/	Ilość zwojów	l_m śr /cm /	S_m /cm ² /	Współczynnik wypełnienia
A	B	C	D	E					
2,7	1,2	3,5	2,4	1,8	0,003	32	0,9	$9,6 \cdot 10^{-3}$	25%

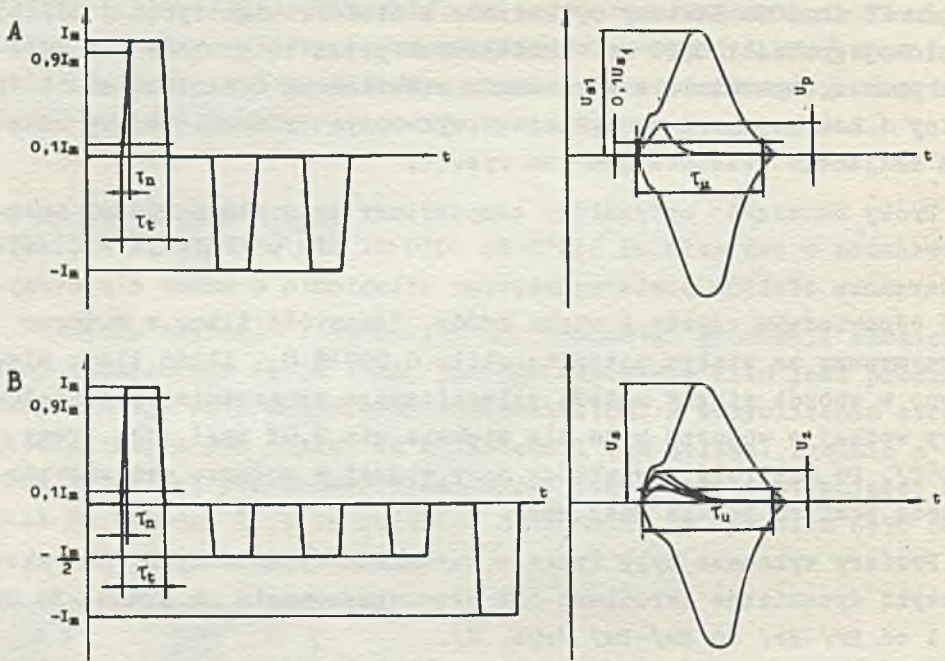
nanych rdzeni współczynnik wypełnienia materiałem magnetycznym rzędu 25 do 30%. Karkasy wytłaczano z nieferromagnetycznej blachy stalowej grubości 0,08 mm. Zmniejszono przez to grubość ich ścianek prawie dwukrotnie w porównaniu z karkasami ceramicznymi. W tabelicy 1 zestawiono dane wymiarowe wykonanych rdzeni. Budowę rdzenia zwijanego przedstawiono na rys. 1.

Próby ustalenia optymalnej temperatury wyżarzania rdzeni przeprowadzono w zakresie od 550°C do 1050°C. Dla uniknięcia w czasie wyżarzania efektów powierzchniowego utleniania starano się otrzymać odpowiednio czysty i suchy wodór. Zawartość tlenu w wodorze utrzymywano na stałym poziomie około 0,0001% O₂. Ilość tlenu mierzono w sposób ciągły metodą galwanicznego oznaczania. Pozostałość pary wodnej w wodorze była nie większa niż 0,03 mg/l /pkt. rosy -50°C/. Do kontroli zawartości pary wodnej w wodorze zastosowano metodę pomiaru punktu rosy gazu.

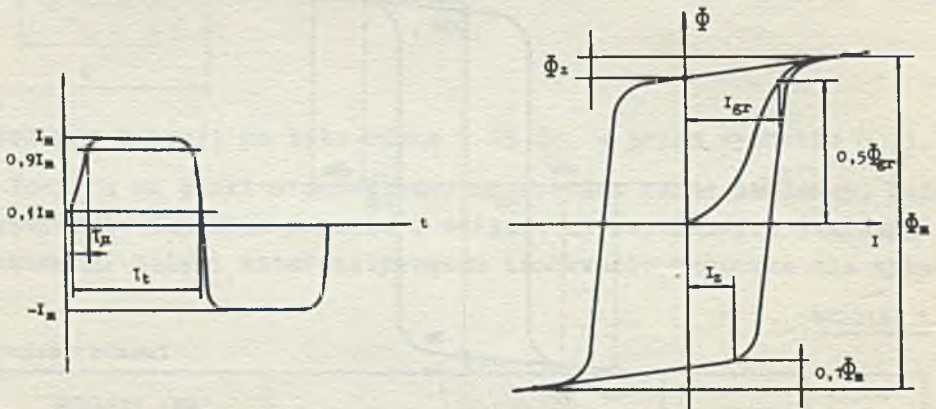
Pomiary wykonane były tylko w warunkach dynamicznych. Charakterystyki dynamiczne określano dla przemagnesowania od stanu -B_m do B_m i od B_r/-B_r/ do B_m/-B_m/ /rys. 2/.



Rys. 2. Przebieg pętli histerazy dla rdzenia zwijanego z cienkiej taśmy permalaju molibdenowego



Rys. 3. Ciągi impulsów prądowych stosowane w urządzeniu GROM II oraz określenie amplitud przebiegów napięciowych wyindukowanych w uswojeniu pomiarowym.



Rys. 4. Ciągi impulsów prądowych stosowane w urządzeniu SEZAM I oraz określenie amplitud przebiegów napięciowych wyindukowanych w uswojeniu pomiarowym. Zależność strumienia granicznego Φ_{gr} od Φ_m i Φ_z jest następująca: $\Phi_{gr} = \Phi_m - 2\Phi_z$

Ciągi impulsów prądowych, przy działaniu których mierzono właściwości impulsowe rdzeni, takie jak napięcie sygnału, zakłócenia oraz czas przełączania, przedstawiono na rys. 3, 4.

Pomiary wykonywano na dwóch urządzeniach impulsowych, GROM II i SEZAM I, skonstruowanych w IMM PAN. Urządzenia te przeznaczone są głównie do selekcji i pomiarów rdzeni ferrytowych. Należy podkreślić, że pomiary metodą SEZAM są stosowane do określania przydatności rdzeni w układach ferraktorowych. W tablicy 2 przedstawiono podstawowe charakterystyki impulsów prądowych wymienionych urządzeń.

Tablica 2

Charakterystyki impulsów prądowych ciągów pomiarowych, stosowanych w urządzeniach GROM II i SEZAM I

Urządzenia	GROM II	SEZAM I
Maksymalna amplituda impulsów prądowych	$I_m = 2A$	$I_m = 0,6A$ $I_{pol} = 0,4A$
Kształt impulsów τ_n τ_t	0,5 μ sek 5 μ sek	0,6 μ sek 5 μ sek
Częstotliwość powtarzania ciągu	10 kc/s	—

Stopień prostokątności pętli histerezy wykonanych rdzeni oceniano za pośrednictwem współczynnika rozróżnialności R_u , definiowanego jako stosunek wartości sygnału \bar{U}_s do napięcia zakłócenia \bar{U}_{z_1} /ciąg B, rys. 3/. Wartość natężenia prądu przyłączającego I_m , dla którego rozróżnialność osiąga wartość maksymalną R_{umax} , określono jako optymalny prąd. Przy wyliczaniu współczynnika S_w posługiwano się wyrażeniem /1/. S_w wyznaczano jako odwrotność nachylenia doświadczalnej charakterystyki $1/\tau_\mu = F/H_m$ /aproxymowanej linią prostą /rys. 8/. Zakres zmian wielkości pola wzbudzającego H_m , dla którego przyjmowano stałą wartość S_w był następujący: $0,35 Oe < H_m < 1 Oe$. Stałą materiałową H_0 wyznaczano z przecięcia prostej $1/\tau_\mu = F/H_m$ z osią odciętych. Obliczono, że dla wykonanych rdzeni wartość H_0 wynosi 0,15 Oe, a współczynnik przełączania S_w około 0,7 Oe μ sek.

Obróbkę cieplną rdzeni przeprowadzono w zakresie temperatur od 550°C do 1050°C. Studzenie wsadu odbywało się z szybkością około 200°C/godz. W tabelicy 3 zestawiono wyniki pomiarów właściwości impulsowych rdzeni wyżarzanych w temperaturach 850°C, 950°C, 1050°C w czasie 1 godziny. Wyniki otrzymane dla rdzeni wyżarzanych w temperaturze 550°C i 750°C w porównaniu z wynikami dla wyższych temperatur wyżarzania wskazują na wzrost prądu I_{mopt} w miarę obniżania temperatury obróbki cieplnej.

Tabelica 3

Właściwości impulsowe rdzeni dla różnych temperatur wyżarzania

Temperatura wyżarzania °C	I_{mopt} mA	U_B mV	U_Z mV	$R\mu_{max}$	τ_μ µsek
850	380	70	10	7,0	2,2
950	280	50	10	5,0	2,8
1050	200	35	13	2,6	3,2

Pomiary wykonano na urządzeniu GROM II ciągiem B impulsów prądowych.

Wyboru odpowiedniej temperatury wyżarzania rdzeni dokonano na podstawie wyników otrzymanych z pomiarów wykonanych na urządzeniu SEZAM I. Określono, że najbardziej przydatne do zastosowań w układach ferraktorowych mogłyby być rdzenie o średnich wartościach parametrów podanych w tabelicy 4. Właściwości te uzyskano przez wyżarzanie rdzeni w czystym suchym wodorze w temperaturze 950°C w czasie 1 godziny.

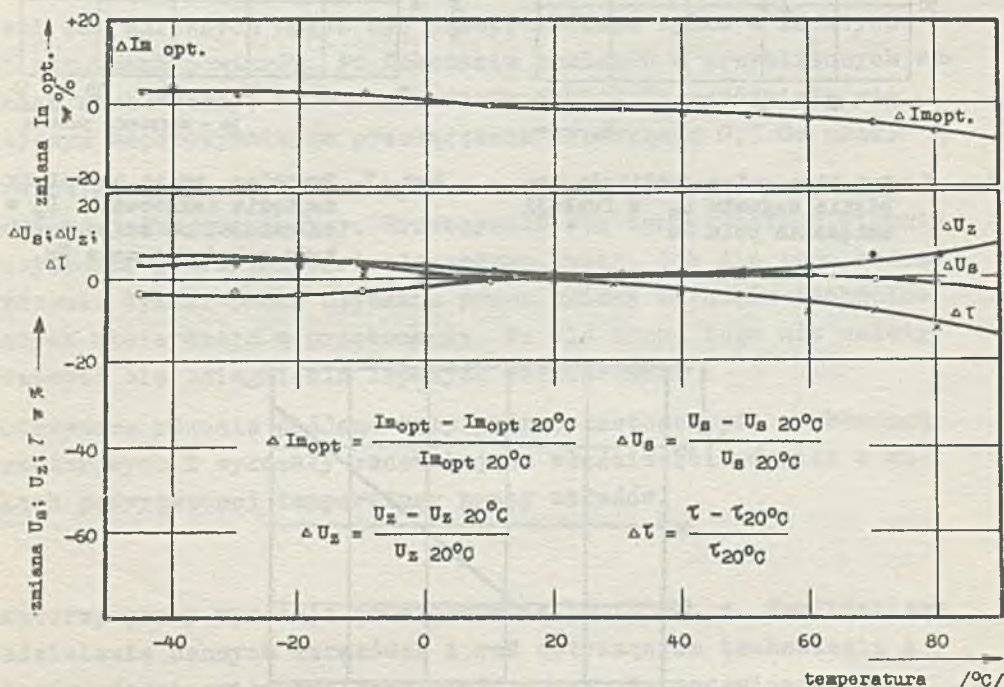
Tabelica 4

Właściwości impulsowe rdzeni dla optymalnych warunków wyżarzania

$H_m = 0,6 Oe$				I_{gr} /mA/	I_z /mA/
Φ_m /Mx/	B_m /Gs/	Φ_z /Mx/	B_r/B_m		
12,5	6500	0,6	0,9	265	90

W wyniku przeprowadzonych prób wyżarzania w wodorze o punkcie rosy -45°C /a nie jak przyjęto poprzednio -55°C / stwierdzono wzrost wartości prądu optymalnego o 15% oraz prawie trzykrotny wzrost zakłócenia U_z .

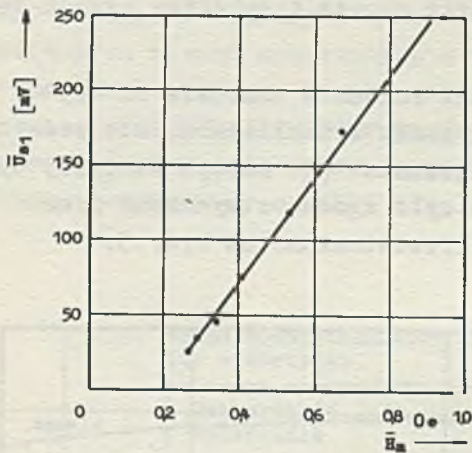
Badania temperaturowe właściwości rdzeni w zakresie od -45°C do 95°C wykazały zmianę wartości sygnału i zakłócenia, nie przekraczającą 10%; jedynie czas przełączania τ maleje bardziej wyraźnie dla wyższych temperatur, co było zgodne z wynikami prac Menyuka [9]. Przebiegi tych zmian przedstawiono na rys. 5.



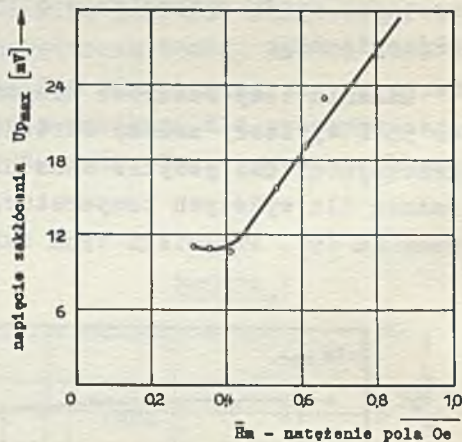
Rys. 5. Przebieg zmian U_s ; U_z ; τ i $I_{m \text{ opt}}$ w funkcji temperatury w zakresie od -45°C do $+95^{\circ}\text{C}$; taśma permalajowa 79NM

Stosunkowo dużą odporność rdzeni metalicznych na niewielkie zmiany temperatury otoczenia tłumaczy się wysokim punktem Curie tych materiałów, wynoszącym dla permalaju molibdenowego około 420°C . Właściwość ta uwzględniana jest przy zastosowaniu rdzeni do

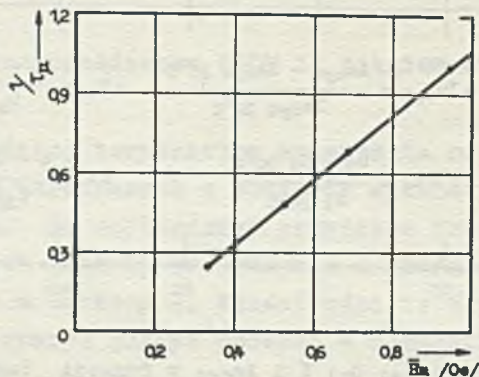
pracy w zakresie częstotliwości powyżej 1 MHz.



Rys. 6. Przebieg zmian amplitudy napięcia sygnału \bar{U}_{s1} w funkcji natężenia pola H_m



Rys. 7. Przebieg zmian amplitudy napięcia zakłócenia U_p w zależności od zmian amplitudy natężenia pola H_m .



Rys. 8. Charakterystyka przełączania rdzenia $1/\epsilon_{II} = P/H_m$.

Do badania właściwości impulsowych rdzeni metalicznych o prostokątnej pętli histerezy wykonywano pomiary przy działaniu ciąglem A impulsów prądowych /rys. 3/. Otrzymane wyniki pomiarów od-

tworzone wykreślnie dają podstawowe charakterystyki, które ogólnie można wyrazić następującymi zależnościami funkcyjnymi $\overline{U}_B = F/\overline{Hm}$, $\overline{U}_{pmax} = F/\overline{Hm}$, $1/\tau_{11} = F/\overline{Hm}$. Wykreślnie przedstawienie tych zależności podano na rys. 6, 7, 8.

3. Podsumowanie

Porównanie właściwości otrzymanych rdzeni z właściwościami rdzeni zagranicznych mogło być przeprowadzone tylko w identycznych warunkach pomiarów. Po dokonaniu pomiarów w przybliżonych warunkach stwierdzono, że rdzenie firmy BURROUGHS wyróżniają się mniejszym współczynnikiem przełączania wynoszącym 0,5 Oe usek.

Wszystkie próby wykonane były z taśmy, z jednego wytopu i pochodzą od jednego wytwórcy. Przyczyniło się to w znacznym stopniu do uzyskania powtarzalności stosunkowo dużej, jak dla tego rodzaju rdzeni. Wyniki badań uzyskane przez zmianę warunków technologicznych utwierdzają w przekonaniu, że dla stopu tego nie należy spodziewać się osiągnięcia lepszych właściwości.

Otrzymane rdzenie poddane były próbom zastosowania w układach ferraktorowych i wykazały zadowalające właściwości również w warunkach podwyższonej temperatury pracy układów.

Autorzy pracy wyrażają podziękowanie prof. dr. A. Smolińskiemu za udzielenie cennych wskazówek i rad dotyczących technologii i pomiarów rdzeni zwijanych oraz prof. dr. L. Łukaszewiczowi za wskazówki dotyczące konstrukcji i własności rdzeni, przeznaczonych do układów maszyn cyfrowych.

Autorzy składają również podziękowanie H. Wolffowi za bardzo staranne wykonanie próbek i innych czynności technologicznych, związanych z tematem pracy.

Literatura

1. LITTMANN M.F.: Ultrathin Magnetic Alloy Tapes with Rectangular Hysteresis Loops, Electrical Engineering, September 1952.
2. LITTMANN M.F., WARD C.E.: Progress in Ultrathin Mo-Permalloy Tapes with Square Hysteresis Loops, J. Appl. Phys., April 1959.
3. CHEN T.C., PAPOULIS A.: Terminal Properties of Magnetic Cores., Proc. Inst. Radio Eng., 1958:46, 5, 839.
4. GÓRAL A.: a. Some Certain Dynamical Relationship for Rectangular Hysteresis Loop Metallic Tape Cores, Biul. PAN, Ser. Nauk.-Techn. 1960:6.
b. Partial Switching of Rectangular Hysteresis Loop Ferrites, Biul. PAN, Ser. Nauk.-Techn. 1961:1.
5. MENYUK N., GOODENOUGH J.B.: Magnetic Materials for Digital Computer Components. I. A Theory of Flux Reversal in Polycrystalline Ferromagnetics, J. Appl. Phys., January 1955.
6. GYORGI E.M.: Flux Reversal in Soft Ferromagnetics, J. Appl. Phys., 1960:31, 110 S.
7. BROWN B.R., BUCK D.A., MENYUK N.: A comparison of Metals and Ferrites for High Speed Pulse Operation, Trans. Am. Inst. Elec. Engrs., January 1955.
8. BONN T.H.: Magnetic Computer Has High Speed, Electronics, August 1957.
9. MENYUK N.: Magnetic Materials for Digital Computer Components. II. Magnetic Characteristics of Ultrathin Molybdenum-Permalloy Cores., Journ. Appl. Phys., June 1955.

CORES WITH RECTANGULAR HISTERESIS LOOP COILED OUT OF THIN MOLIBDEN PERMALLOY TAPE 79NM, 0,003 mm

Summary

Cores with rectangular hysteresis loop coiled out of this permalloy tape were made, investigated and the results are given in the present paper.

Cores were made of 0,003 mm molybden permalloy tape 79 NM/79% Ni, 4% Mo, 17% Fe with the following magnetic properties: $B_m = 6450$ Gs, $H_o = 0,09$ Oe, $B_r/B_m = 0,91$ /for $H_m = 0,25$ Oe/.

Bobbins of dimensions $d_2 = 3,6$ mm, $d_w = 2,4$ mm, $h = 1,8$ mm, applied in

the last version, were made of nonferromagnetic 0,08 mm steel plate and embossed.

When cores were already assembled, the tape insulated with magnesium oxide by means of the cataphoretic method, and the stacking factor with magnetic material reached 30%, conditions of core thermic processing were determined.

Thermic processing was performed during 1 hour at the temperature from 550°C to 1050°C in hydrogen with a constant content of oxygen /about 0,0001%/, and in the dew point -50°C .

The optimum temperature of annealing cores for ferractor sets was 950°C . Dynamic properties of such cores, measured in the conditions described, are the following:

switching factor $S_w = 0,7 \cdot 10^{-6}$ Oe.sec. rectangularity $Br/B_m = 0,9$
switching - field threshold $H_0 = 0,15$ Oe

Voltage changes of output $/U_g/$ and noise signals $/U_z/$ are also presented, as well as the switching time $/t_{II}/$ changes for core annealing under different conditions; basic dynamic characteristics, as for instance: $U_g = F/H_m/$, $1/t_{II} = F/H_m/$ and the results of investigations of some core pulse properties at the range of -45°C to 95°C are also given.

The work led to produce cores that may be applied in digital computer sets /ferractors/, especially when a great stability of the element temperature is required.

The last vertex, was made of nonferrous metal, 0,08 mm steel plate and an-
dental.
The cones were slowly annealed, the tape insulated with maximum
range of means of the atmospheric method, and the reaction factor with
specific material tested. The results of these specific procedures are
summarized in the following table: Table 1.

The procedure was performed during 1 hour at the temperature 250°C
and in the range 100°C to 250°C. The results are summarized in Table 1.

The dynamic properties of such cones, measured in the conditions described,
are the following:

Reaction factor $R = 0,7$, 100% decrease, reaction factor $R = 0,9$
with cone - 100% decrease, $R = 0,7$ of cone.

Dynamic changes of output W_{out} and cone output W_{in} are also pre-
sented, as well as the reaction factor R changes for cones reacting in-
ter different conditions; these dynamic characteristics, as for last cones
 $R = 0,7$, 100% decrease, and the results of investigations of some cone per-
formance in the range of 100°C to 250°C are also given.

The work has to proceed cones that may be applied in different conditions
with (temperature), especially when a great stability of the dynamic tempera-
ture is required.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej

P 2225/63/64

B 4 (17)