

Krzysztof PAJĄK

NIJEDNORODNOŚĆ PERMEANCJI MAGNETOWODÓW TOROIDALNYCH  
- METODY DOŚWIADCZALNEGO BADANIA I MINIMALIZACJA

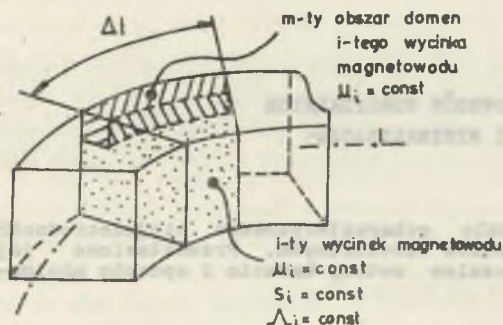
**Streszczenie.** W artykule scharakteryzowano niejednorodność wzdłużną permeancji magnetowodów toroidalnych. Przedstawiono jej liczbowe miary oraz doświadczalne metody badania i sposoby minimalizacji.

1. Wstęp

Ważną cechą magnetowodów toroidalnych ze względu na ich zastosowanie w magnetycznych komparatorach prądu jest nie tylko względna średnia zespolona przenikalność magnetyczna, ale również niejednorodność tej właściwości wzdłuż magnetowodu [1], [2], [3], [5].

Magnetowody wykonuje się ze stopów żelazoniklowych o możliwie największym module względnej średniej przenikalności magnetycznej. Cienką taśmą permalojową (w kraju dostępny jest permalój P80) o znormalizowanej grubości od 0,2 do 0,1 (rzadko 0,05) milimetra zwiija się w toroid o wymaganych średnicach: zewnętrznej  $d_z$  i wewnętrznej  $d_w$ . Szerokość taśmy jest tak dobierana, by przekrój poprzeczny  $S$  toroidu był kwadratem. W celu stworzenia izolacji elektrycznej dla prądów wirowych powierzchnię taśmy pokrywa się tlenkami. Tak wykonany toroid poddawany jest dalszej obróbce obejmującej m.in. wyżarzanie w atmosferze gazu obojętnego w polu magnetycznym, odpowiednio szybkie studzenie itd. Technologia wykonania magnetowodu jest więc czynnikiem decydującym o jego jakości. Z bardzo dobrego pod względem właściwości magnetycznych permalaju można otrzymać przeciętny magnetowód, gdy proces jego formowania jest nieodpowiedni. Tym samym nie musi być miarodajna dla danego magnetowodu wartość modułu względnej przenikalności magnetycznej materiału, a taka podawana jest w danych katalogowych o ferromagnetykach. Wartość tę należy zatem dla konkretnego magnetowodu wyznaczać pomiarowo. W magnetowodzie należy też wyróżnić przenikalności miejscowe  $\mu_m$  określone dla obszarów domen i przekrojowe  $\mu_1$  wycinków  $\Delta l$  obwodu magnetowodu. Przenikalność przekrojowa jest średnią przenikalności miejscowych w obrębie wycinka  $\Delta l$  zależnych od struktury materiału (rys. 1). Stąd wartość względnej przenikalności przekrojowej  $\mu_1$  zmienia się wzdłuż magnetowodu, a zmienność ta wyraża niejednorodność właściwości magnetycznych magnetowodu wzdłuż jego obwodu [3]. Niejednorodność

ta najczęściej określana jest jako niejednorodność wzdłużna permeancji magnetowodu. Wyróżnia się też niejednorodność osiową permeancji (tj. w kierunku prostopadłym do płaszczyzny magnetowodu), która powodowana jest



Rys. 1. Ilustracja względnej przenikalności magnetycznej miejscowej i przekrojowej i-tego wycinka magnetowodu toroidalnego

$$\frac{1}{\Lambda} = \int_0^l \frac{dl}{\mu_0 \mu(l) S(l)} \quad (1)$$

gdzie:  $\mu(l)$  i  $S(l)$  obrazują zmienność modułu względnej przenikalności magnetycznej i powierzchni przekroju poprzecznego wzdłuż drogi magnetycznej  $l$ . Do celów praktycznych przyjmuje się podział obwodu  $l$  magnetowodu na  $n$  wycinków  $\Delta l$  takich, że odpowiadające im wartości  $\mu_1$  i  $S_1$  (rys. 1) uznać można za stałe. Permeancja i-tego wycinka jest wówczas równa:

$$\Lambda_1 = \frac{\mu_0 \mu_1 S_1}{\Delta l} \quad (2)$$

a zależność (1) przyjmuje postać:

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{\Delta l}{\mu_0} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\mu_i S_i} \quad (3)$$

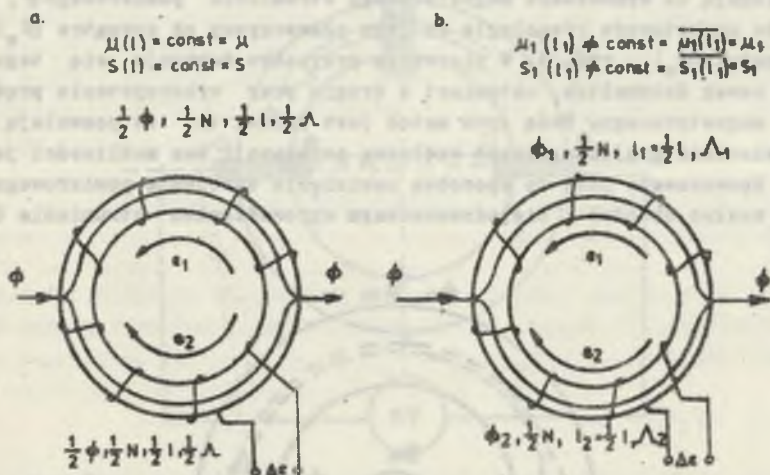
Zatem niejednorodność wzdłużna permeancji magnetowodu toroidalnego jest równoważna zmienności iloczynu względnej przenikalności magnetycznej  $\mu_i$  i pola przekroju poprzecznego  $S_i$  odpowiadających kolejnym  $i$ -tym wycinkom obwodu magnetowodu.

Rozpatrzmy teraz na przykładzie magnetowodu detekcyjnego magnetycznego komparatora prądu efekty istnienia niejednorodności wzdłużnej permeancji tego magnetowodu. Typowymi strumieniami przenikającymi magnetowód kompa-

różnymi przenikalnościami miejscowymi w płaszczyźnie przekroju poprzecznego magnetowodu. Ze względu jednak na mniejsze jej znaczenie praktyczne oraz brak sprawdzonych metod jej badania będzie pominięta.

Istotne znaczenie dla komparatorów magnetycznych ma niejednorodność wzdłużna permeancji magnetowodu [2], [5], [7]. Aby można ją było jednoznacznie określić, należy wyjść z zależności opisującej całkowitą permeancję  $\Lambda$  magnetowodu:

ratora w stanie komparacji są strumienie rozproszeń i zakłócające, które wnikają równoległe do płaszczyzny magnetowodu. Wówczas wskutek istnienia niejednorodności permeancji w uswojeniu detekcyjnym komparatora indukowane jest napięcie będące dodatkowym napięciem błędem komparatora [7]. Na rys. 2 zilustrowano w uproszczony sposób rozptył strumienia zakłócającego  $\Phi$ , który wnika do magnetowodu magnetycznie jednorodnego (a) i do magnetowodu o niejednorodnej permeancji wzdłuż obwodu (b). Zestawione w tablicy 1 zależności odpowiadają rysunkom 2a i 2b i mogą być podstawą określenia metod pomiaru niejednorodności wzdłużnej permeancji magnetowodów toroidalnych, a także sposobów minimalizacji efektów istnienia tej niejednorodności, jak i jej samej.



Rys. 2. Rozptył strumienia wnikającego do magnetowodu nie wykazującego niejednorodności wzdłużnej permeancji (a) i z niejednorodnością wzdłużną permeancji (b)

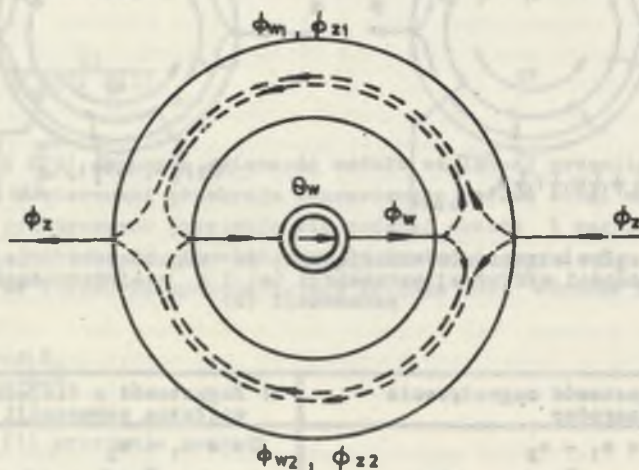
Tablica 1

a) Magnetowód magnetycznie jednorodny	b) Magnetowód z niejednorodnością wzdłużną permeancji
(4a) $\Delta e = e_1 - e_2$	$\Delta e = e_1 - e_2$ (4b)
(5a) $\Delta e = j\omega \frac{H}{2} (\Phi_1 - \Phi_2)$	$\Delta e = j\omega \frac{H}{2} (\Phi_1 - \Phi_2)$ (5b)
przy czym	
$\Phi_1 = \Phi_2 = \frac{\Phi}{\Lambda} \cdot \frac{2\mu_0 \mu S}{1}$	$\Phi_1 = \frac{\Phi}{\Lambda} \cdot \frac{2\mu_0 \mu_1 S_1}{1}$
	$\text{a } \Phi_2 = \frac{\Phi}{\Lambda} \cdot \frac{2\mu_0 \mu_2 S_2}{1}$
gdzie: $\Lambda$ - całkowita permeancja magnetowodu,	gdzie: $\Lambda$ - całkowita permeancja magnetowodu,
wtedy	wtedy
(6a) $\Delta e = 0$	$\Delta e = j\omega \frac{H}{\Lambda} (\mu_1 S_1 - \mu_2 S_2) \neq 0$ (6b)

## 2. Doświadczalne metody wyznaczania niejednorodności wsdkuśnej permeancji magnetowodów toroidalnych

Doświadczalne badanie niejednorodności wsdkuśnej permeancji magnetowodów toroidalnych polega na odpowiednim wprowadzeniu zmiennego strumienia magnetycznego  $\Phi$  do magnetowodu i jego detekcji. Detekcja strumienia odbywa się na drodze pomiaru napięcia indukowanego w uswojeniu pomiarowym, które może być rozłożone wsdkuś obwodu magnetowodu lub nawinięte w sposób skupiony na karkasach obejmujących magnetowód.

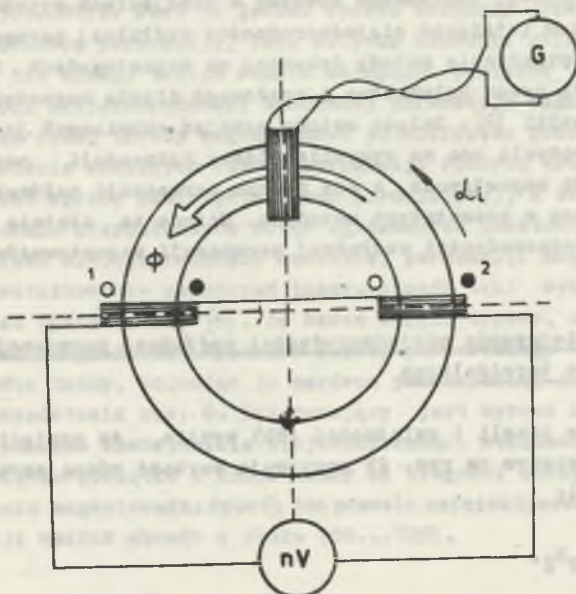
W pracach [3] i [4] przedstawiono metody badania niejednorodności wsdkuśnej permeancji magnetowodów toroidalnych. Metody te, będąc równoważne, polegają na wymuszeniu magnetycznego strumienia pomiarowego  $\Phi$ , który wnika do magnetowodu równolegle do jego płaszczyzny od zewnątrz ( $\Phi_w$ ) bądź od wewnątrz ( $\Phi_w$ ) - rys. 3. W pierwszym przypadku dokonuje się tego przy użyciu cewek Helmholtza, natomiast w drugim przy wykorzystaniu prądowego dipola magnetycznego. Wadą tych metod jest jednak to, że pozwalają jedynie stwierdzić niejednorodność wsdkuśną permeancji bez możliwości jej pomiaru. Spowodowane jest to sposobem nawinięcia uswojenia pomiarowego (rozłożone wsdkuś obwodu) i niejednosnacnym wprowadzeniem strumienia  $\Phi$ .



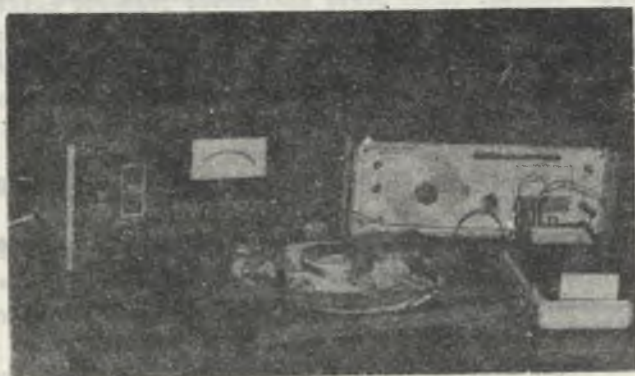
Rys. 3. Równoważność rozprywu strumieni pomiarowych wymuszonych z zewnątrz i od wewnątrz magnetowodu

Odmianą metodą wyznaczania niejednorodności wsdkuśnej permeancji magnetowodów toroidalnych jest metoda polegająca na wymuszeniu w badanym magnetowodzie strumienia płynącego wsdkuś jego obwodu [1]. Uswojenie pomiarowe w tym przypadku jest podzielone na dwie równe części, przy czym każda nawinięta jest jako uswojenie skupione na oddzielnym karkasie obejmującym magnetowód.

mującym magnetowód. Uzwojenia mogą być łączone zgodnie lub przeciwnie. Celem zminimalizowania sprzężeń pomiędzy uzwojeniami: magnesującym (na osobnym karkasie) i pomiarowymi usytuowane są one względem siebie tak jak na rys. 4. Na rys. 5 przedstawiono fizyczną realizację układu. Pokazano również konstrukcję zapewniającą badanie magnetowodów o średnicach zewnętrznych do 200 mm. Karkasy, na których nawinięte są uzwojenia, dają się w łatwy sposób demontować, a niewielka liczba zwojów (25...30) pozwala na



Rys. 4. Metoda uswojeń skupionych badania niejednorodności wsdkużnej permeancji magnetowodu toroidalnego



Rys. 5. Układ pomiarowy realizujący metodę uswojeń skupionych

stosunkowo szybkie przygotowanie do badań danego magnetowodu. Obwody elektryczne układu w celu eliminacji zakłóceń są ekranowane. Uzwojenie magnesujące zasilane jest z generatora mocy, a napięcie indukowane w uzwojeniach pomiarowych mierzone jest nanowoltomierzem selektywnym. Tarcza obrotowa urządzenia, na której umocowany jest magnetowód, umożliwia obrócenie go o zadany kąt  $\alpha_1$ . W ten sposób kolejne wycinki ( $2\pi/\alpha_1$ ) magnetowodu po każdym przesunięciu o  $\alpha_1$  obejmowane są uzwojeniami pomiarowymi połączonymi różnicowo. Indukowana wówczas w uzwojeniach wypadkowa sem jest szukany efekt istnienia niejednorodności wsdużnej permeancji badanego magnetowodu. Sprawdzenia metody dokonano na magnetowodach badanych poprzednio metodą cewek Helmholtza i prądowego dipola magnetycznego. Otrzymano zgodne wyniki [8]. Zaletą metody uzwojeń skupionych jest przede wszystkim to, że pozwala ona na wykrycie różnic permeancji naprzeciwległych wycinków obwodu magnetowodu, a nie różnic permeancji połówek obwodu, jak to miało miejsce w pozostałych metodach. Metoda ta ułatwia również minimalizację niejednorodności wsdużnej permeancji magnetowodów toroidalnych

### 3. Sposoby zmniejszenia niejednorodności wsdużnej permeancji magnetowodów toroidalnych

Z zawartej w tabeli 1 zależności (6b) wynika, że napięcie  $\Delta e$  w przypadku przedstawianym na rys. 2b przyjmuje wartość równą zero przy spełnieniu równości:

$$\mu_1 S_1 = \mu_2 S_2 \quad (7)$$

Spełnienie tego warunku odpowiadałoby więc sytuacji, w której magnetowód byłby magnetycznie jednorodny. Zerową wartość napięcia  $\Delta e$  można również otrzymać przy wzajemnej kompensacji napięć  $e_1$  i  $e_2$  odpowiadających obu częściom uzwojenia magnetowodu (rys. 2). Kompensację taką realizuje się uszwajając magnetowód ze zmienną gęstością swojej  $n = dN/dl$ . Warunek (7) w tym przypadku ulega rozszerzeniu i można go zapisać następująco:

$$\frac{N}{2} \mu_1 S_2 = \left( \frac{N}{2} + \Delta N \right) \mu_2 S_2 \quad (7a)$$

przy czym  $\Delta N$  jest dowieńtą liczbą swojów do jednej z wyróżnionych na rys. 2 części uzwojenia.

Zatem warunek określający wyeliminowanie efektu niejednorodności wsdużnej permeancji można przedstawić w postaci ogólnej:

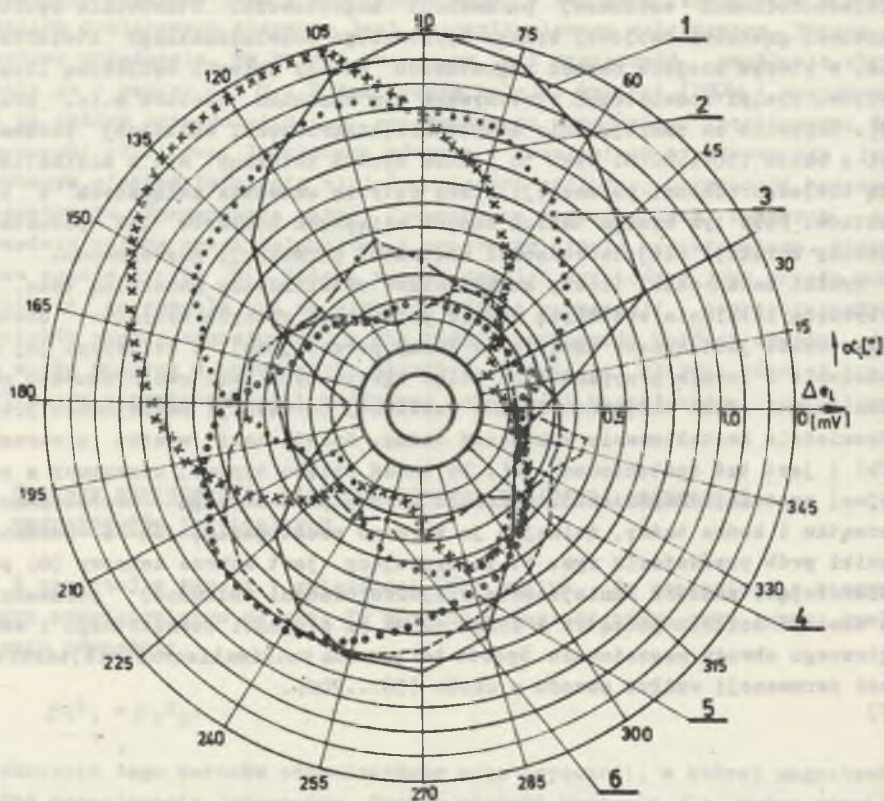
$$n(l) \mu(l) S(l) = \text{const.} \quad (7b)$$

Wynikają z niego: sposób zmiennej gęstości swojowej minimalizacji efektu niejednorodności wsdużnej permeancji, jak i sposoby minimalizacji samej

niejednorodności wzdłużnej permeancji magnetowodu. Stosowanie sposobu zmiennej gęstości zwojowej wymaga uprzedniego doświadczalnego stwierdzenia, w którym miejscu obwodu magnetowodu należy zmienić wycinkową liczbę zwojów. Wyniki doświadczeń otrzymywane tym sposobem zawiera m.in. praca [3]. Zapewnia on zmniejszenie efektu niejednorodności wzdłużnej permeancji o około (50...80)%. Jest to jednak sposób związany nie z minimalizacją niejednorodności permeancji, lecz dotyczy usuwania związanych z nią skutków. Poza tym wymaga takich samych wstępnych pomiarów jak pozostałe sposoby korekcji niejednorodności wzdłużnej permeancji magnetowodu.

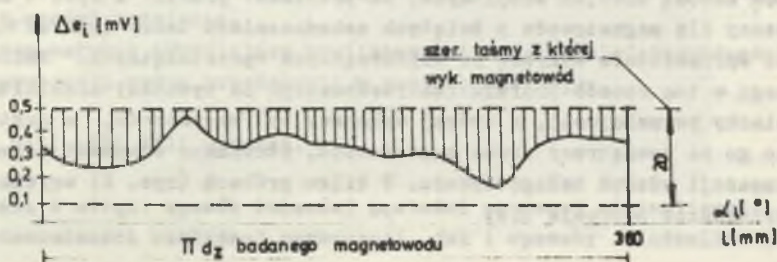
Wyniki badań dużej liczby magnetowodów potwierdziły generalną tezę, że przyczyną istnienia znacznych różnic permeancji różnych wycinków obwodu magnetowodu jest sposób nawinięcia taśmy permalowej, a zwłaszcza jej zakończenia w formie przypadkowych ściąg zgrzewanych punktowo. Próbowano zminimalizować efekt niejednorodności wzdłużnej permeancji magnetowodu przez odpowiednie kształtowanie zakończeń taśmy. Sposób taki wynika z warunku (7b) i jest też opatentowany [6]. Do badań wzięto typowy, otrzymany z seryjnej produkcji magnetowód. Wykonano szereg prób różnego kształtowania początku i końca taśmy, ścinając je zarówno prostopadłe, jak i ukośnie. Wyniki prób przedstawia rys. 6. Interesujący jest wykres końcowy (6) potwierdzający znaczne zmniejszenie niejednorodności wzdłużnej permeancji po ukośnym ścięciu początku i końca taśmy na długości zewnętrznej i wewnętrznej obwodu magnetowodu. Sposób ten pozwala zminimalizować niejednorodność permeancji wzdłuż obwodu o około (50...70)%.

Wiedząc, że ścinanie zakończeń taśmy wyrównuje przekrój poprzeczny magnetowodu wzdłuż obwodu, poczyniono próby co do sposobu dalszego wyrównania przekroju poprzecznego. Sposób nazwano sposobem zmiennej powierzchni przekroju poprzecznego magnetowodu. Polega on na nałożeniu na zewnętrzny obwód magnetowodu odpowiednio profilowanego paska taśmy permalowej ściśle przylegającego do zewnętrznej jego powierzchni bocznej. Profil projektuje się w oparciu o dane otrzymane z przeprowadzonych badań danego magnetowodu metodą uzwojeń skupionych. Na przykład profil z rys. 7 został sporządzony dla magnetowodu o ściętych zakończeniach taśmy (wykres 6, rys. 6) przez sprowadzenie wykresu do współrzędnych prostokątnych. Według otrzymanego w ten sposób profilu (zakresowanego na rysunku) ukształtowano pasek blachy permalowej, z której wykonany był magnetowód, a następnie nałożono go na zewnętrzny obwód magnetowodu. Otrzymano wówczas uśrednienie permeancji wzdłuż całego obwodu. W kilku próbach (rys. 8) uzyskano wyraźne wyrównanie napięcia  $\Delta e$ .



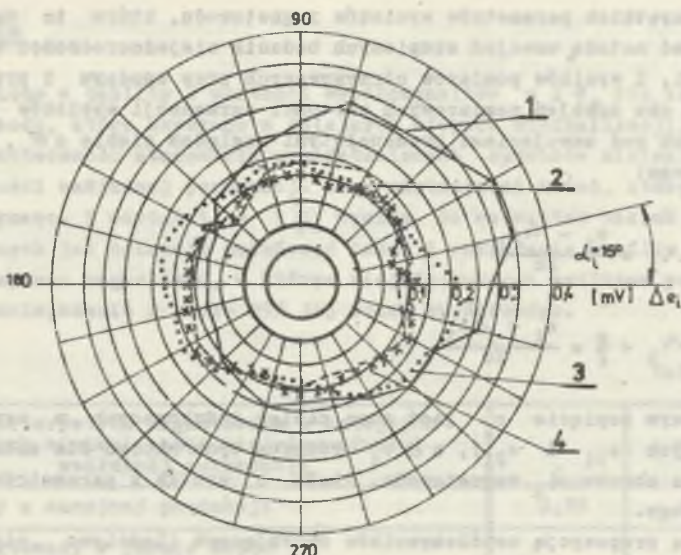
Rys. 6. Wpływ zakończeń taśmy magnetowodu na wartość napięcia  $\Delta e_1$

1 - postać wyjściowa magnetowodu, 2 - zakończenia ścięte prostopadłe do płaszczyzny magnetowodu i oddalone od siebie o  $\pi$ , 3 - zakończenie zewnętrzne ścięte ukośnie na długości  $0,5\pi d_s$ , 4 - zakończenia ścięte ukośnie na długości  $0,5\pi d_s$  i  $0,5\pi d_w$ , 5 - zakończenie zewnętrzne ścięte ukośnie na długości  $\pi d_s$ , 6 - zakończenia ścięte ukośnie na długości  $\pi d_s$  i  $\pi d_w$



Rys. 7





Rys. 8. Wyniki wyrównywania przekroju poprzecznego magnetowodu profilem permalojowym

4. Liczbowe miary niejednorodności wzdłużnej permeancji magnetowodów toroidalnych

Jeżeli przyjmie się, że kolejne  $i$ -te wycinki magnetowodu mają permeancję o wartościach  $\Lambda_i$  i wartość średnia tych permeancji jest równa  $\bar{\Lambda}_1$ , to różnice  $\Delta\Lambda_i$  między  $\Lambda_i$  i  $\bar{\Lambda}_1$  ilustrują niejednorodność permeancji magnetowodu wzdłuż jego obwodu. Taki opis liczbowy dla konkretnego magnetowodu w praktyce wymaga jednak przedstawienia wykresu  $\Delta\Lambda_i = f(l)$ , gdzie  $l$  jest długością średniego obwodu magnetowodu. Proponuje się więc wprowadzić współczynniki, które opisywałyby ilościowo niejednorodność wzdłużną permeancji magnetowodu toroidalnego. Są to:

$$\bar{\eta} = \frac{|\overline{\Delta\Lambda_i}|}{\bar{\Lambda}_1} \tag{8}$$

$$\bar{\eta}_{\max} = \frac{\Delta\Lambda_{i \max}}{\bar{\Lambda}_1}, \tag{9}$$

gdzie:  $|\overline{\Delta\Lambda_i}|$  jest średnią z modułów wszystkich  $\Delta\Lambda_i$  permeancji  $\Lambda_i$  i  $\bar{\Lambda}_1$ ,  $\Delta\Lambda_{i \max}$  największą różnicą permeancji dwóch  $i$ -tych wycinków magnetowodu. Do przedstawienia współczynników (8) i (9) potrzebna jest znajomość

$\Lambda_1$  wszystkich parametrów wycinków magnetowodu, które to wartości można otrzymać metodą uswojeń skupionych badania niejednorodności wzdłużnej permeancji. Z wyników pomiarów otrzymanywanych przy zgodnym i przeciwnym łączeniu obu uswojeń pomiarowych wartości permeancji wycinków magnetowodu, łączących pod uswojeniami przesuniętymi względem siebie o  $\pi$ , są odpowiednio równe:

$$\Lambda_1 = \frac{e_1 - \Delta e_1}{2c} \quad (10)$$

$$\Lambda_1 + \frac{\pi}{2} = \frac{e_1 + \Delta e_1}{2c} \quad (11)$$

przy czym napięcie  $e_1$  jest sumą napięć indukowanych w uswojeniach pomiarowych ( $e_{11}$  i  $e_{21}$ ), a  $\Delta e_1$  różnicą tych napięć dla sadanego kolejnego kąta obrotu  $\alpha_1$  magnetowodu. Stała  $c$  wynika z parametrów obwodu pomiarowego.

Inną propozycją współczynników opisujących ilościowo niejednorodność wzdłużną permeancji magnetowodu toroidalnego są współczynniki, które wynikają wprost z pomiarów realizowanych metodą uswojeń skupionych (lub inną) i wykorzystywane były przy ilościowym scharakteryzowaniu kolejnych etapów minimalizacji niejednorodności wzdłużnej permeancji. Są to:

- współczynnik charakteryzujący rozrzut wyników pomiarowych  $\Delta e_1$  wokół wartości średniej  $\Delta e_1$  równy:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta e_{1i} - \Delta e_1)^2}{n-1}} \quad (12)$$

oraz

- bezwymiarowy współczynnik wyrażający stosunek maksymalnego napięcia  $\Delta e_{1\max}$  do napięcia minimalnego  $\Delta e_{1\min}$  otrzymanywanych w pełnym cyklu pomiarowym równy:

$$\varphi_c = \frac{\Delta e_{1\max}}{\Delta e_{1\min}} \quad (13)$$

W zależności (12)  $n$  oznacza liczbę sadanych kątów obrotu w pełnym obrocie magnetowodu. Można dodać, że magnetowód magnetycznie jednorodny charakteryzowałby się współczynnikami  $s = 0$  i  $\varphi_c = 1$ .

## 5. Zakończenie

Przedstawione w tabelicy 2 wartości współczynników  $s$  i  $\eta$ , dla konkretnego magnetowodu, które uzyskano w kolejnych etapach minimalizacji, potwierdzają skuteczność stosowania przedstawionych sposobów minimalizacji niejednorodności wsdkłżnej permeancji oraz użyteczność metod, którymi wyniki te otrzymano. Z wartości  $s$  i  $\eta$  wynika, że na skutek takich zabiegów korekcyjnych jak ścinanie zakończeń taśmy i nakładanie profilu permalojowego otrzymano magnetowód, w którym niejednorodność wsdkłżna permeancji uległa zmniejszeniu o około 95% jej stanu wyjściowego.

Tabelica 2

Lp.	Charakterystyka magnetowodu w kolejnych etapach minimalizacji niejednorodności wsdkłżnej permeancji	$s$	$\eta$
1	Typowy z seryjnej produkcji	0,38	44,0
2	Kształtowany w formie ścięć		
	a) zakończenia taśmy ścięte prostopadle i oddalone od siebie o $\pi$	0,41	31,2
	b) zakończenie taśmy ścięte ukośnie na długości $0,5 \pi d_s$ i $0,5 \pi d_w$ obwodu	0,30	7,5
	c) zakończenia taśmy ścięte ukośnie na długości $\pi d_s$ i $\pi d_w$ obwodu	0,08	2,5
3	Kształtowany profilem permalojowym	0,02	2,3
4	Nie wykazujący niejednorodności wsdkłżnej permeancji	0	1

## LITERATURA

- [1] Karandziejew K.B.: Transformatornyje izmeritelnyje mosty. Energija 1970.
- [2] Miljanic P.N., Moore W.J.M., Kusters N.L.: The Development of the Current Comparator, a High - Accuracy A-C Ratio Measuring Device IEEE nov. 1962.
- [3] Miłek M.: Metoda określania niejednorodności permeancji magnetowodów toroidalnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Elektryka s. 71, Gliwice 1981
- [4] Miłek M.: Komparacja wielkości elektrycznych i magnetycznych, Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Elektryka s. 77, Gliwice 1981.
- [5] Miłek M.: Analiza błędu pobudliwości komparatora prądowego i sposoby jego minimalizacji. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Elektryka s. 55, Gliwice 1976.
- [6] Skubis T.: Sposób wyrównania przenikalności magnetycznej magnetowodu swijanego z taśmy. Zgłoszenie patentowe P 220572.
- [7] Pająk K.: Model niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego komparatora magnetycznego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Elektryka s. 92, Gliwice 1984.

[8] Pajak K.: Metody badania i korekcji niejednorodności permeancji magnetycznych toroidalnych. Materiały konferencyjne XVI Międzynarodowej Konferencji Metrologów, Lublin 1983.

Recenzent: prof. mgr inż. Artur Metal

Wpłynęło do Redakcji dnia 15.XI.1983 r.

**НЕОДНОРОДНОСТЬ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ТОРОИДАЛЬНЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ  
- МЕТОДЫ ОПЫТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И МИНИМАЛИЗАЦИЯ**

**Резюме**

В статье дается характеристика продольной неоднородности магнитной проводимости тороидальных магнитопроводов. Представляются ей численные меры а также опытные методы исследования и способы минимализации.

**NON-UNIFORMITY OF PERMEABILITY OF TOROIDAL MAGNETIC CORES-METHODS  
OF EXPERIMENTAL TESTING AND MINIMIZATION**

**S u m m a r y**

Longitudinal non-uniformity of permeability of toroidal magnetic core has been characterised in the paper. Its quantitative measure and testing methods and ways of minimisation have been presented.