

Krsysztof PAJĄK

## MODEL NIEJEDNORODNOŚCI PERMEANCJI MAGNETOWODU DETEKCYJNEGO KOMPARATORA MAGNETYCZNEGO

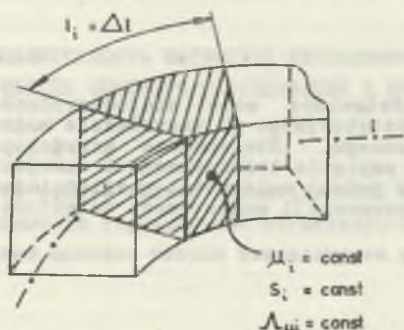
**Streszczenie.** W artykule przedstawiono model niejednorodności wsđużnej permeancji magnetowodu detekcyjnego na przykłdzie magnetycznego komparatora prądu przemiennego. Stwierdzono przydatność przedstawionego modelu do analizy napięcia indukowanego w uswojeniu detektora w stanie komparacji oraz podano zależności uwzględniające wpływ niejednorodności wsđużnej permeancji magnetowodu detektora na wartość tego napięcia.

### 1. Wprowadzenie

Magnetowody stosowane w magnetycznych komparatorach prądu najczęściej wykonuje się swijając taśmę permalobową w toroid [1]. Magnetowody te nie spełniają jednak z wielu względów wymagań koniecznych do zapewnienia oczekiwanych właściwości metrologicznych komparatorów. Spośród niekorzystnych cech, jakie posiadają, istotna jest niejednorodność ich właściwości magnetycznych. Niejednorodność ta, najczęściej określana jako niejednorodność permeancji magnetowodu wsđuż jego obwodu, nie jest wyróżniana w analizach metrologicznych zarówno dla magnetycznych komparatorów prądu przemiennego, jak i prądu stałego [2]. Analizy te zakładają, że magnetowody detekcyjne komparatorów są jednorodne magnetycznie, co nie w pełni opisuje zjawiska zachodzące przy porównywaniu prądów. Uproszczenie takie pomija fakt, że niejednorodność permeancji magnetowodu detekcyjnego jest źródłem dodatkowego błędu komparatora. Ujawnia się on jako składowe napięcia indukowanego w uswojeniu detektora w stanie komparacji porównywanych prądów. Stan ten rozumiany jest jako stan komparatora, w którym różnica przepływów magnetycznych pochodzących od uswojeń porównawczych 1 i 2 nominalnie równa jest zeru (rzędu  $10^{-7}$  A) [3].

Stawiane wymagania magnetycznym komparatorom prądu co do właściwości metrologicznych (duża czułość, niedokładność pomiaru rzędu  $10^{-6}$  i mniejsza) sprawiają, że w analizie obwodu magnetycznego komparatora nie może być pominięta niejednorodność permeancji magnetowodu detekcyjnego. Zwłaszcza że skuteczność ekranów magnetycznych komparatora jest ograniczona, a wewnętrzne zakłócające pola magnetyczne, w tym pole rozproszenia od uswojeń porównawczych, przenikają detektor [3].

W artykule przedstawiono wpływ niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego detektora na przykładzie magnetycznego komparatora prądu przemiennego na wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu detekcyjnym w stanie komparacji. Analiza uwzględnia jedynie strumienie pochodzące od uzwojeń porównawczych komparatora. Odpowiednia analiza dla strumieni zakłócających w przyjętej konwencji (punkt A z rys. 3) będzie przedstawiona w odrębnej pracy.



Rys. 1. i-ty wycinek obwodu magnetowodu detekcyjnego

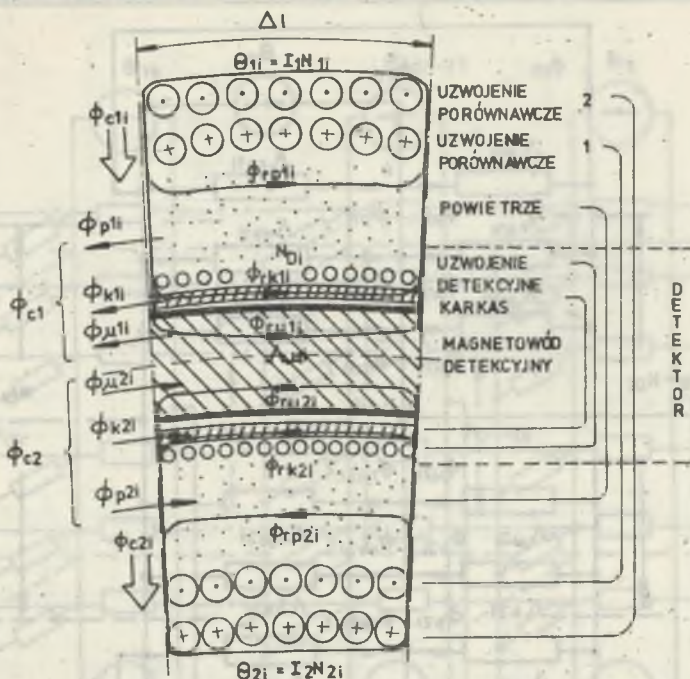
Przyjmijmy do rozważań podział obwodu i analizowanego magnetowodu detekcyjnego komparatora na  $n$  wycinków  $l_i = \Delta l$  takich, dla których permeancje z założenia są stałe (rys. 1). Wyrażając wówczas permeancję i-tego wycinka zależnością:

$$\Lambda_{\mu i} = \frac{\mu_0 \mu_i S_i}{\Delta l}, \quad (1)$$

reluktancja całego magnetowodu jest równa:

$$\frac{1}{\Lambda_{\mu}} = \frac{1}{\mu_0} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\mu_i S_i} \quad (2)$$

Opis taki pozwala na dyskretne ujęcie niejednorodności permeancji magnetowodu oraz daje się weryfikować pomiarowo metodą przedstawioną w pracy [4]. Stosując go do całego detektora magnetycznego komparatora prądu przemiennego, i-ty wycinek detektora wraz z odpowiadającymi mu wycinkami uzwojeń porównawczych 1 i 2 przedstawiono na rys. 2. Na rysunku pominięto ekrany magnetyczne, elektrostatyczne i uzwojenia dodatkowe komparatora, upraszczając przyjęty model. Przedstawiono strumienie magnetyczne związane z działaniem  $\Theta_{11}$  i  $\Theta_{21}$  - SMN przyporządkowanych i-temu wycinkowi obwodu detektora. Strumienie te to składowe strumienie oznaczone indeksami  $c1i$  i  $c2i$  pochodzących od i-tych wycinków uzwojeń porównawczych komparatora. Tak np.: strumień  $\Phi_{c1i}$  jest sumą strumieni głównych  $\Phi_{p1i}$ ,  $\Phi_{k1i}$ ,  $\Phi_{\mu1i}$  oraz strumieni lokalnych  $\Phi_{rp1i}$ ,  $\Phi_{rk1i}$  i  $\Phi_{rp1i}$  przyporządkowanych i-temu wycinkowi magnetowodu. Analogicznie jest ze strumieniem  $\Phi_{c2i}$ . Schemat zastępczy tak opisanego modelu i-tego wycinka detektora komparatora prądu przemiennego przedstawiono na rys. 3, skąd po rozwinięciu na cały magnetowód zgodnie z zależnością (2) przyjmuje on postać jak na rys. 4. Model umożliwia analizę napięcia  $U_{IR}$  indukowanego w uzwojeniu detekcyjnym komparatora w stanie komparacji, które pojawia się na skutek istnienia strumienia nieskompensowanego, będącego różnicą strumieni  $\Phi_{c1}$  i  $\Phi_{c2}$ , niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego oraz działania lokal-



Rys. 2. Model i-tego wycinka magnetowodu detekcyjnego z odpowiadającymi mu uswojeniami

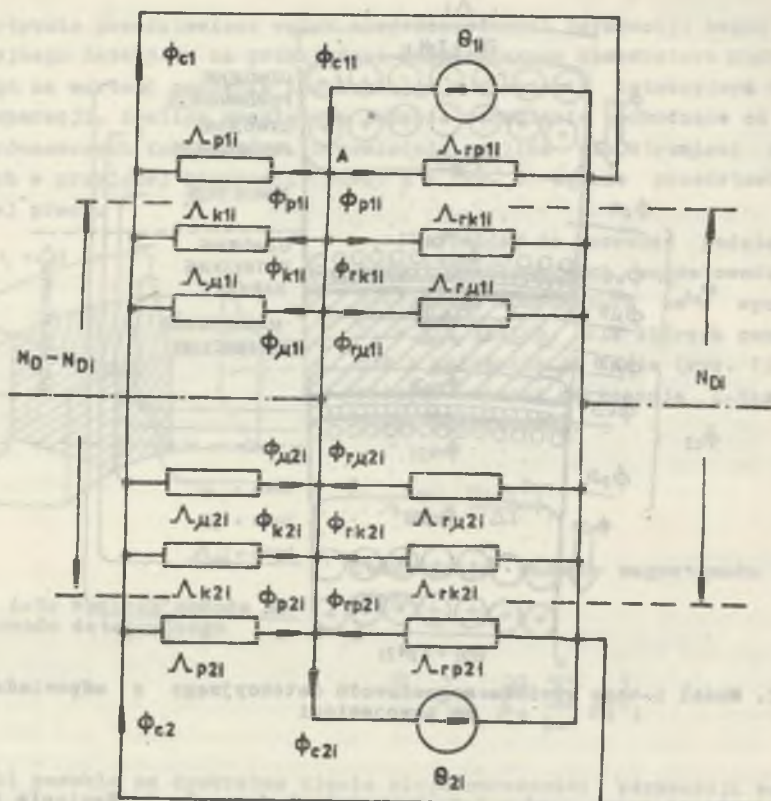
nych strumieni rozproszonych w i-tych wycinkach jego obwodu. Napięcie to jest składową napięcia błędowego magnetycznego  $U_{DM}$  komparatora opisanego zależnością:

$$U_{DM} = U_{DR} + U_{DZ} \tag{3}$$

gdzie  $U_{DZ}$  jest składową wynikłą na skutek istnienia niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego i wnikania do niego zewnętrznych zakłócających strumieni magnetycznych.

**2. Wpływ niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego na napięcie detektora w stanie komparacji**

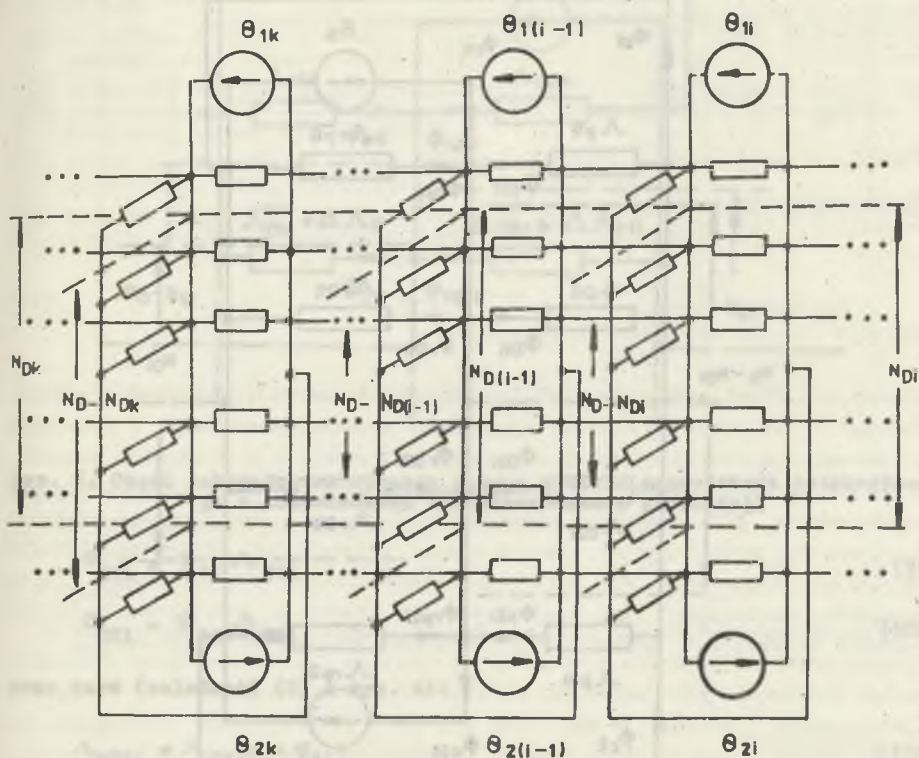
Jeżeli przyjąć, że karkas, w którym jest umieszczony magnetowód detekcyjny komparatora (rys. 2), dla każdego rozpatrywanego i-tego wycinka ma taką samą wartość permeancji ( $\mu_{k1i} = \mu_{k2i} = \mu_{k1} = \text{const.}$ ), to schemat zastępczy z rys. 3 może być uproszczony do postaci z rys. 5. Wyróżnione per-



Rys. 3. Schemat zastępczy modelu 1-tego wycinka magnetowodu detekcyjnego komparatora

neancje  $\Lambda_{D11}$ ,  $\Lambda_{D21}$ ,  $\Lambda_{rD11}$  i  $\Lambda_{rD21}$  są wówczas odpowiednio równoległymi połączeniami permeancji  $\Lambda_{k11}$ ,  $\Lambda_{\mu 11}$ ,  $\Lambda_{k21}$ ,  $\Lambda_{\mu 21}$ ,  $\Lambda_{rk11}$ ,  $\Lambda_{r\mu 11}$ ,  $\Lambda_{rk21}$  i  $\Lambda_{r\mu 21}$ . Objęte natomiast swojami uswojenia detekcyjnego strumienie  $\Phi_{D11}$ ,  $\Phi_{D21}$ ,  $\Phi_{rD11}$  i  $\Phi_{rD21}$  są odpowiednio wypadkowymi strumieniami  $\Phi_{k11}$ ,  $\Phi_{\mu 11}$ ,  $\Phi_{k21}$ ,  $\Phi_{\mu 21}$ ,  $\Phi_{rk11}$ ,  $\Phi_{r\mu 11}$ ,  $\Phi_{rk21}$  i  $\Phi_{r\mu 21}$  z rys. 3.

Dla przejrzystości dalszych rozważań posłużono się rys. 6, na którym przedstawiono część schematu z rys. 5, odpowiadającą tylko działaniu strumieni pochodzących od SMM  $\Theta_{11}$ . Dla pozostałej części schematu obowiązujące zależności są analogiczne. Na rysunku zaznaczono również fakt istnienia niejednorodności permeancji rozpatrywanego magnetowodu w odniesieniu do jego 1-tego wycinka przez wprowadzenie oznaczeń  $\Delta\Lambda_{11}$  i  $\Delta\Lambda_{r11}$ . Przez  $\Delta\Lambda_{11}$  oznaczono różnicę między wartością  $\Lambda_{D11}$  permeancji 1-tego wycinka magnetowodu a wartością średnią  $\Lambda_{D11}$  permeancji wszystkich 1-tych wycinków. Analogicznie przez  $\Delta\Lambda_{r11}$  oznaczono różnicę między  $\Lambda_{rD11}$



Rys. 4. Schemat zastępczy modelu magnetowodu detekcyjnego magnetycznego komparatora prądu przemiennego

$i_{RD11}$  i  $\Delta_{r11}$  mogą być dodatnie lub ujemne dla kolejnych wycinków magnetowodu.

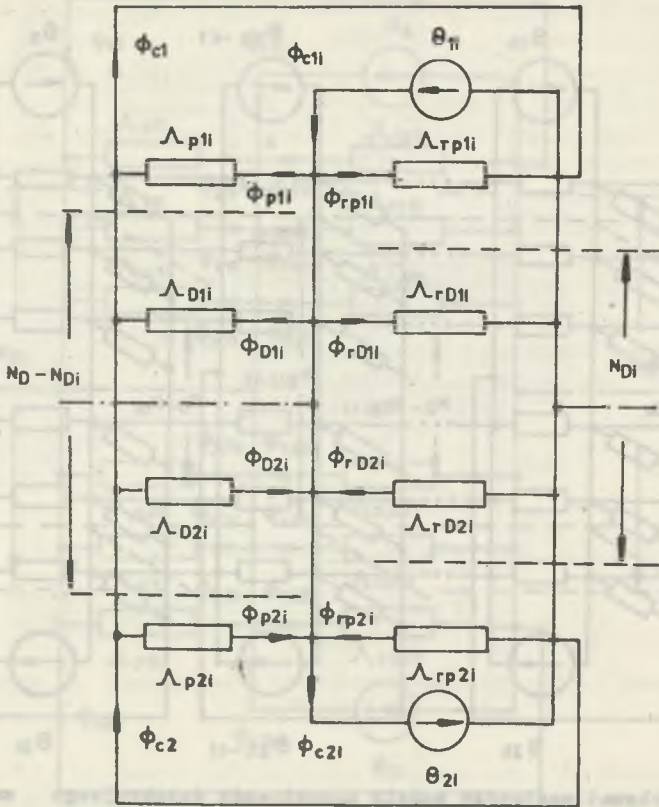
Założmy, że dla rozpatrywanego schematu zastępczego  $i$ -tego wycinka  $\Delta_{r11}$  i  $\Delta_{r11}$  są dodatnie. Wówczas strumienie  $\Phi_{D11}$  i  $\Phi_{RD11}$  powodują, że w uswojeniu detekcyjnym komparatora indukowane jest napięcie:

$$U_{DR11} = -j\omega N_{D1} \Phi_{RD11} + j\omega (N_D - N_{D1}) \Phi_{D11} \quad (4a)$$

Dla drugiej części schematu sytuacja przedstawia się analogicznie, a obowiązującą zależnością jest:

$$U_{DR21} = -j\omega N_{D1} \Phi_{RD21} + j\omega (N_D - N_{D1}) \Phi_{D21} \quad (4b)$$

Stąd, stosując zasadę superpozycji (w stanie komparacji magnetowód pracuje w początkowym liniowym zakresie charakterystyki magnesowania), dla całego magnetowodu obowiązują zależności:



Rys. 5. Uproszczony schemat następczy i-tego wycinka magnetowodu detekcyjnego

$$U_{DR1} = U_{DR11} - U_{DR21} \quad (5)$$

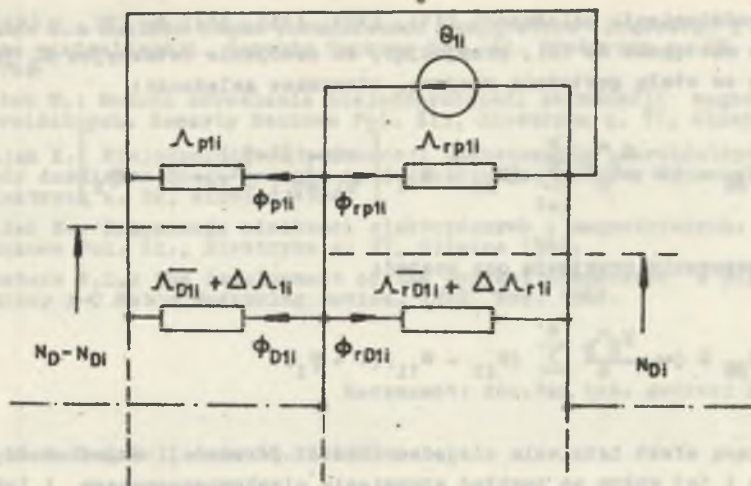
1

$$U_{DR} = -j\omega \sum_{i=1}^n N_{D1} (\phi_{rD11} - \phi_{rD21}) + j\omega \sum_{i=1}^n (N_D - N_{D1}) (\phi_{D11} - \phi_{D21}) \quad (6)$$

Analizując następnie schemat z rys. 6, strumienie  $\phi_{rD11}$ ,  $\phi_{rD21}$ ,  $\phi_{D11}$  i  $\phi_{D21}$  są odpowiednio równe:

$$\phi_{rD11} = \theta_{11} \wedge_{rD11} \quad (7)$$

$$\phi_{rD21} = \theta_{21} \wedge_{rD21} \quad (8)$$



Rys. 6. Część schematu zastępczego 1-tego wycinka magnetowodu detekcyjnego z nasyceniem niejednorodności permeancji

$$\Phi_{D11} = \Theta_{11} \Lambda_{D11} \quad (9)$$

$$\Phi_{D21} = \Theta_{21} \Lambda_{D21} \quad (10)$$

przy czym (zależność (2) i rys. 4):

$$\Lambda_{rD11} = \Lambda_{D1} (n + \vartheta_{11}) \quad (11)$$

$$\Lambda_{rD21} = \Lambda_{D2} (n + \vartheta_{21}) \quad (12)$$

$$\Lambda_{D11} = \frac{n \Lambda_{D1} (1 + \vartheta_{11})}{n(1 + \vartheta_{11}) - 1} \quad (13)$$

$$\Lambda_{D21} = \frac{n \Lambda_{D2} (1 + \vartheta_{21})}{n(1 + \vartheta_{21}) - 1} \quad (14)$$

gdzie:  $\Lambda_{D1} = \Lambda_{D2} = \Lambda_D$  jest permeancją całego magnetowodu, współczynniki  $\vartheta_{11} = \vartheta_{21} = \vartheta_1$  zdefiniowane są jako:

$$\vartheta_1 = \frac{\Delta \Lambda_1}{\Lambda_{D1}} = \frac{\Delta \Lambda_{r1}}{\Lambda_{rD1}}, \quad (15)$$

a  $n$  to liczba 1-tych wycinków magnetowodu. Współczynnik  $\vartheta_1$  ma charakter bezwymiarowy i opisuje niejednorodność permeancji magnetowodu w odniesieniu do jego 1-tego wycinka obwodu.

Po podstawieniu zależności (11), (12), (13), (14) do (7), (8), (9), (10), a następnie do (6), przyjmując, że uswojenie detekcyjne  $N_D$  jest nawięte ze stałą gęstością swoją, otrzymano zależność:

$$U_{DR} = j\omega \frac{N_D \hat{D}}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_{21} - \theta_{11}) \left[ \frac{n(n-1)(1+\varphi_1)}{n(1+\varphi_1) - 1} - (n + \varphi_1) \right] \quad (16)$$

Po uproszczeniu przyjmuje ona postać:

$$U_{DR} \approx j\omega \frac{N_D \hat{D}}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_{21} - \theta_{11})(1 + \varphi_1) \quad (17)$$

obrazującą efekt istnienia niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego i jej wpływ na rozkład strumienia nieskompensowanego i lokalnych strumieni rozproszonych komparatora. Łatwo zauważyć, że w przypadku magnetowodu jednorodnego magnetycznie wartość napięcia  $U_{DR}$  z tego tytułu ulegnie zmniejszeniu, gdyż wszystkie współczynniki  $\varphi_1 = 0$ . Zmniejszenie wartości napięcia  $U_{DR}$  można uzyskać również przez zapewnienie minimalnej różnicy przepływów magnetycznych w kolejnych  $i$ -tych wycinkach magnetowodu, co ze względów praktycznych jest niejednokrotnie trudne do zrealizowania (przekładnia komparatora, geometria przestrzenna uswojeń porównawczych).

### 3. Zakończenie

Otrzymane zależności (16) i (17) mogą być użyteczne w modelowaniu detektora magnetycznego komparatora prądu przemiennego, ponieważ występujące w nich wielkości mogą być mierzalne i model tym samym może być zweryfikowany pomiarowo. Uzupełniając przedstawiony model o analizę wpływu strumieni zakłócających (w aspekcie niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego komparatora) na wartość napięcia  $U_{DR}$  opisanego zależnością (3) oraz wprowadzając do modelu ekrany magnetyczne komparatora, zależność (17) można wykorzystać do analitycznej oceny składowej magnetycznej błędów komparatora. Zmniejszenie wartości tej składowej uzyskać można m.in. przez minimalizację niejednorodności permeancji magnetowodu detekcyjnego współczynniki  $\varphi_1 \rightarrow 0$ . Sposoby takiej minimalizacji podano w pracy [4].

### LITERATURA

- [1] Gottsalk R., Hagel R.: Właściwości i zastosowania komparatorów prądów. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Elektryka z. 55, Gliwice 1976.



- [2] Miłek M.: Analiza błędów pobudliwości komparatora prądowego i sposoby jego minimalizacji. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Elektryka s. 55, Gliwice 1976.
- [3] Miłek M.: Metoda określania niejednorodności permeancji magnetowodów toroidalnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Elektryka s. 71, Gliwice 1981.
- [4] Pająk K.: Niejednorodność permeancji magnetowodów toroidalnych - metody doświadczalnego badania i minimalizacja. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Elektryka s. 92, Gliwice 1984.
- [5] Miłek M.: Komparacja wielkości elektrycznych i magnetycznych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Elektryka s. 77, Gliwice 1981.
- [6] Kusters N.L.: The Development of the Current Comparator a High - Accuracy A-C Ratio Measuring Device. IEEE, Nov. 1962.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Podemski

Wpłynęło do Redakcji dnia 15.XI.1983 r.

#### МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ МАГНИТОПРОВОДА ДЕТЕКТИРОВАННОГО МАГНИТНОГО КОМПАРАТОРА

#### Р е з ю м е

В статье представляется модель неоднородности продольной магнитной проводимости детектированного компаратора на примере магнитного компаратора переменного тока. Констатируется пригодность представленной модели для анализа напряжения, индуцируемого в обмотке детектора в состоянии компарации а также подаются зависимости учитывающие влияние неоднородности продольной магнитной проводимости магнитопровода детектора на стоимость этого напряжения.

#### MODEL OF NON-UNIFORMITY OF DETECTIVE MAGNETIC CORE PERMEANCE OF MAGNETIC COMPARATOR

#### S u m m a r y

A model of longitudinal non-uniformity of detective magnetic core permeance has been presented taking a magnetic A.C. comparator as an example. There has been found out suitability of the presented model for an analysis of voltage induced in the detector winding in the state of equilibrium. Dependences considering influence of longitudinal non-uniformity of the detector magnetic core permeance on the value this voltage.