ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1974

Seria: Elektryka z. 48 Nr kol. 431

Tadeusz Skubis

Instytut Metrologii i Maszyn Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

DOBÓR RDZENI FERROMAGNETYCZNYCH DO INDUKCYJNYCH DZIELNIKÓW NAPIĘCIA

Streszczenie. Podstawowym elementem decydującym o dokładności indukcyjnego dzielnika napięcia jest rdzeń ferromagnetyczny. Rozważono warunki jego współpracy z uzwojeniem multifilarnym i na tej podstawie określono wymagane cechy materiału ferromagnetycznego. Określono kryteria doboru i podano wzory do obliczenia wymiarów geometrycznych rdzenia. Podano również praktyczny sposób pomiaru parametrów w gałęzi poprzecznej schematu zastępczego transformatora dla różnych częstotliwości i napięć.

1. Wprowadzenie

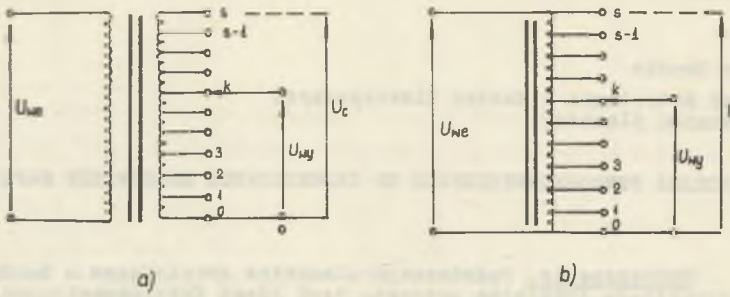
W ostatnich latach szybko wzrasta zapotrzebowanie na indukcyjne dzielniki napięcia (IDN), a równocześnie zaostrzają się stawiane im wymagania. Potrzebne są dzielniki wielodekadowe o bardzo dużej dokładności podziału napięcia, niskiej impedancji wyjściowej i wysokiej impedancji wejściowej, o szerokim zakresie częstotliwości roboczych.

Aby spełnić te wymagania, należy rozwiązać szereg problemów, od których zależą metrologiczne własności dzielnika. Problemy te można podzielić na pięć grup:

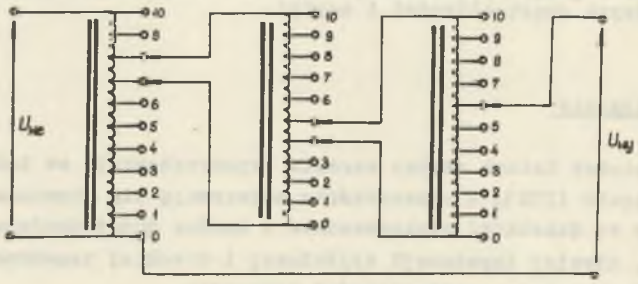
1. Wybór układu połączeń wielodekadowego IDN, a w szczególności ustalenie liczby dzielników w kaskadzie, określenie sposobu ich zasilania oraz przełączania odczepów.
2. Dobór materiału ferromagnetycznego i określenie wymiarów rdzeni.
3. Zaprojektowanie uzwojeń i opracowanie technologii ich wykonania [2].
4. Ekranowanie elektryczne i elektromagnetyczne.
5. Opracowanie metodyki badań i wzorcowania IDN.

Artykuł dotyczy zagadnień wymienionych w p. 2. Określone zostaną wymagane cechy materiału ferromagnetycznego oraz podany zostanie sposób obliczenia wymiarów rdzenia do IDN, pracującego jako dzielnik autotransformatorowy (rys. 1b). Przeprowadzone rozważania bez większych trudności można dostosować także do dzielników transformatorowych (rys. 1a).

Dzielniki wielodekadowe składają się zazwyczaj z dzielników jednodekadowych połączonych kaskadowo w układzie Kelwina-Varleya (rys. 2) [1,4]. Istotnym elementem wpływającym na najważniejsze parametry takiego IDN jest rdzeń najwyższej dekady.



Rys. 1. Podstawowe schematy jednodekadowych IDN
a) transformatorowy, b) autotransformatorowy



Rys. 2. Połączenie dekad DIN według schematu Kelwina-Verley'a

2. Prąd stanu jałowego

Analizując warunki pracy rdzenia dochodzi się do następujących wniosków:

a) prąd stanu jałowego I_0 musi być możliwie mały,
b) rdzeń musi mieć możliwie jednakowe własności magnetyczne wzdłuż obwodu

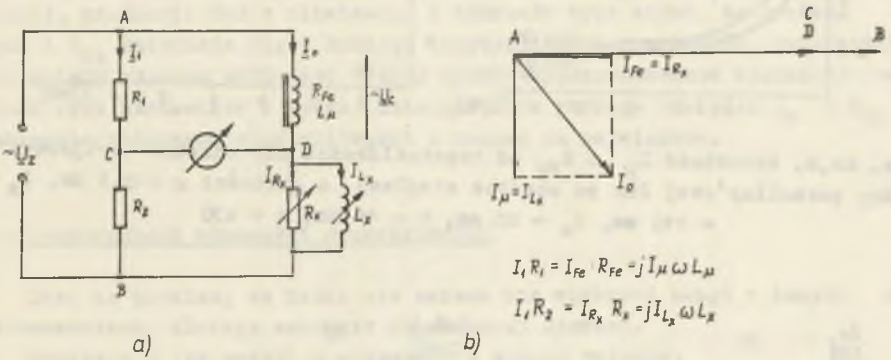
Prąd I_0 decyduje o impedancji wejściowej IDN, a także wywołuje proporcjonalne spadki napięcia na rezystancjach i indukcyjnościach rozproszenia uzwojenia. Przy niejednakowych wartościach tych parametrów spadki napięć na sekcjach są niejednakowe i wynikają stąd błędy podziału [6]. Składowa magnesująca I_μ oraz składowa czynna I_{Fe} prądu stanu jałowego w uzwojeniu liczącym (p s) zwojów wynoszą:

$$I_\mu = \frac{U_0}{\omega L_\mu} \tag{1}$$

$$I_{Fe} = \frac{U_o}{R_{Fe}} \tag{2}$$

przy czym $L_\mu = \varphi(f,U)$; $R_{Fe} = \varphi_1(f,U)$.

Z wyrażeń (1) i (2) wynika, że indukcyjność główna L_μ oraz zastępcza rezystancja strat w rdzeniu R_{Fe} powinny być duże w całym zakresie częstotliwości i napięć roboczych. Ponieważ w dostępnej literaturze autor nie znalazł informacji o zależnościach L_μ i R_{Fe} od częstotliwości i napięcia dla rdzeni z materiałów ferromagnetycznych produkowanych w kraju [5], więc parametry te zostały zmierzone w układzie mostkowym przedstawionym na rys. 3.



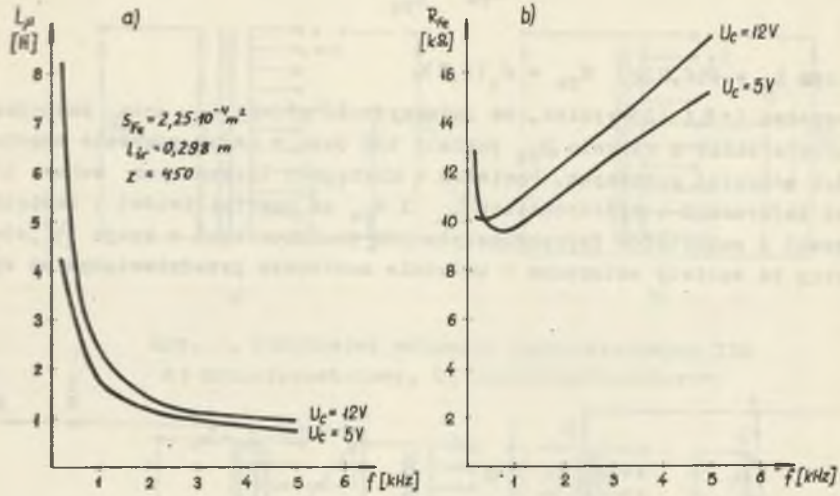
Rys. 3

a) Układ do wyznaczenia R_{Fe} i L_μ w funkcji częstotliwości i napięcia,
b) wykres wskazowy i podstawowe zależności

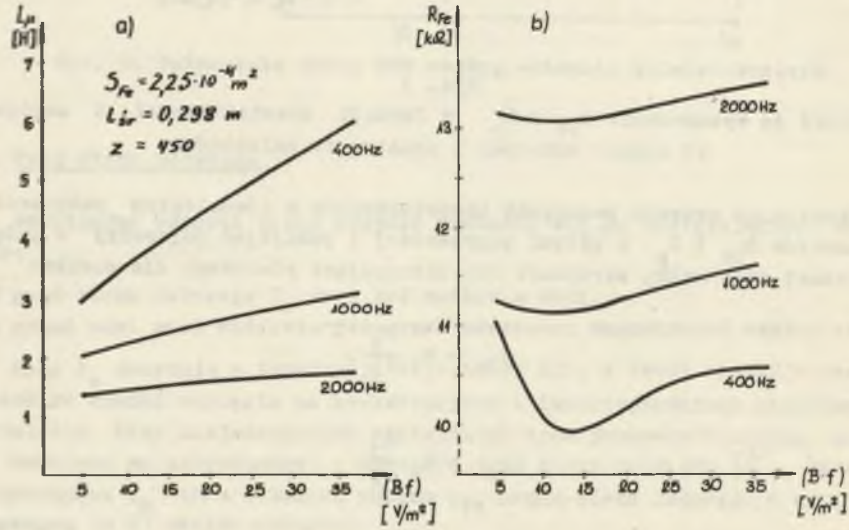
Przyjmując schemat zastępczy transformatora z równoległym połączeniem parametrów R_{Fe} i L_μ w gałęzi poprzecznej i pomijając parametry w gałęzi podłużnej jako małe, otrzymuje się następujące równowagi dla mostka:

$$R_{Fe} = R_x \frac{R_1}{R_2} \, ,$$

$$L_\mu = L_x \frac{R_1}{R_2} \tag{3}$$



Rys. 4a,b. Zależność L_μ i R_{Fe} od częstotliwości dla rdzenia zwijanego z taśmy permalloy'owej P80 po obróbce cieplnej, o grubości g = 0,2 mm, D_z = = 110 mm, d_w = 80 mm, h = 15 mm, z = 430



Rys. 5a,b. Zależność L_μ i R_{Fe} od B·f dla rdzenia o parametrach podanych na rys. 4

W stanie równowagi mostka prąd I_0 płynący przez uzwojenie magnesujące rdzenia nie jest zniekształcony przez szeregowo włączoną impedancję w gałęzi "x", ponieważ zachowany jest warunek:

$$R_x \ll R_{Fe}$$
$$L_x \ll L_\mu \qquad (4)$$

Przy pomiarze rdzeń powinien pozostawać w stanie nienasyconym.

Na rys. (4a,b) oraz (5.a,b) podano pomierzoną zależność indukcyjności głównej L_μ oraz rezystancji zastępczej R_{Fe} od częstotliwości i napięcia, dla rdzenia zwijanego z taśmy wykonanej z permalloyu P 80 po obróbce cieplnej, produkcji IMŹ w Gliwicach. Z wykresów tych widać, że zarówno L_μ jak i R_{Fe} zmieniają się w funkcji częstotliwości i napięcia. Przy wyborze materiału rdzenia najlepiej byłoby zatem eksperymentalnie wyznaczyć wartość tych parametrów i wybrać materiał, dla którego wartości L_μ i R_{Fe} w zakresie roboczych częstotliwości i napięć są największe.

3. Jednorodność własności magnetycznych

Jest to problem, na który nie zwraca się większej uwagi w innych zastosowaniach, dlatego zostanie on omówiony szerzej.

Napięcie $\underline{U}_k$ na sekcji k wynoszące w stanie jałowym:

$$\underline{U}_k = (R_k + j\omega L_k + j\omega \sum_{\substack{l=1 \\ l\neq k}}^{s} M_{l,k})\underline{I}_0 \qquad (5)$$

zależy decydująco od indukcyjności własnej uzwojenia sekcji k oraz indukcyjności wzajemnych $M_{l,k}$ a z kolei indukcyjności L_k i $M_{l,k}$ zależne są od własności obwodu magnetycznego [3].

Dla uściślenia rozważań wszystkie sekcje uzwojenia zostaną ponumerowane od 1 do s, a wszystkie zwoje w każdej sekcji od 1 do p. Zwój o numerze t znajdujący się w sekcji k będzie nazywany w skrócie "zwój (t,k)".

Ze względu na przestrzenne rozłożenie uzwojenia każdy zwój znajduje się w innym przekroju rdzenia. Zwój (t,k) obejmuje powierzchnię, przez której część przechodzi rdzeń ferromagnetyczny, a resztę zajmuje powietrze. W ten sposób zwój (t,k) obejmuje jak gdyby dwa rdzenie połączone równolegle – ferromagnetyczny i powietrzny.

Reluktancja rdzenia ferromagnetycznego zdefiniowana jako:

$$R_{mś} = \oint_l \frac{dl}{\mu\mu_0 S} \qquad (6)$$

jest praktycznie stała dla wszystkich zwojów niezależnie od powierzchni obejmowanej przez zwój. Natomiast reluktancja "rdzenia" powietrznego dla zwoju (t,k) zdefiniowana ogólnie jako:

$$R_{mp}(t,k) = \oint_{l} \frac{dl}{\mu(l)\,\mu_o\,S_p(l)} \tag{7}$$

jest dla każdego zwoju inna i nie może być praktycznie wyznaczona, ze względu na nieznany przebieg strumieni rozproszenia poszczególnych zwojów. Z reluktancją $R_{mp}(t,k)$ związany jest strumień rozproszenia zwoju (t,k) zamykający się całkowicie lub częściowo w powietrzu.

W tym ujęciu reluktancja zwoju (t,k) jest równoległym połączeniem reluktancji rdzenia ferromagnetycznego oraz rdzenia powietrznego.

$$R_m(t,k) = \frac{R_{mż}\;R_{mp}(t,k)}{R_{mż} + R_{mp}(t,k)} \tag{8}$$

Po uwzględnieniu równania (8) indukcyjność własna L(t,k) zwoju (t,k) wynosi:

$$L(t,k) = \frac{1}{R_m(t,k)} = \frac{1}{R_{mż}} + \frac{1}{R_{mp}(t,k)} \tag{9}$$

Analogicznie indukcyjność wzajemna $M(t',t'',k)$ między zwojem (t',k) a (t'',k) wyniesie:

$$M(t',t'',k) = \frac{1}{R_{mż}} + \frac{1}{R_{mp}(t',t'',k)} \tag{10}$$

gdzie $R_{mp}(t',t'',k)$ jest reluktancją dla strumienia rozproszenia zwojów (t',k) i (t'',k).

Indukcyjność własna L_k sekcji k jest sumą indukcyjności własnych wszystkich zwojów tej sekcji oraz indukcyjności wzajemnych między nimi (sprzężenie jest dodatnie). Stąd:

$$L_k = \sum_{t'=1}^{p} \sum_{t''=1}^{p} M(t',t'',k)$$

$$L_k = \sum_{t'=1}^{p} \sum_{t''=1}^{p} \left[\frac{1}{R_{mż}} + \frac{1}{R_{mp}(t',t'',k)} \right]$$

$$L_k = \frac{p^2}{R_{mż}} + \sum_{t'=1}^{p} \sum_{t''=1}^{p} \frac{1}{R_{mp}(t',t'',k)} \tag{11}$$

Przy założeniu, że nie ma strumieni rozproszenia, czyli $R_{mp}(t',t'',k) \to \infty$, wyrażenie (11) upraszcza się do znanej postaci:

$$L_k = \frac{p^2}{R_{mż}} \tag{12}$$

Przyjęcie takiego założenia nie jest dopuszczalne w przypadku IDN, ponieważ byłoby to równoznaczne ze zignorowaniem realnej przyczyny błędów podziału.

W wyrażeniu (11) człon:

$$\sum_{t'=1}^{p} \sum_{t''=1}^{p} \frac{1}{R_{mp}(t',t'',k)} = \Delta L_k \tag{13}$$

oznacza tę część indukcyjności własnej sekcji, która związana jest ze strumieniem zamykającym się całkowicie lub częściowo w powietrzu. Człon ten powoduje rozrzut indukcyjności własnych L_k.

Zmniejszenie tego rozrzutu można osiągnąć przez:

a) zwiększenie bezwzględnej wartości indukcyjności $\frac{p^2}{R_{mż}}$,

b) wyrównanie ΔL_k dla wszystkich sekcji,

c) zmniejszenie bezwzględnych wartości ΔL_k.

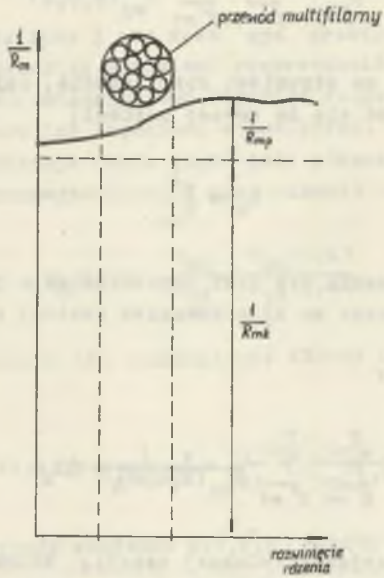
Warunek a) wymaga zmniejszenia wartości $R_{mż}$, a więc stosowania rdzenia o małej średniej drodze strumienia magnetycznego, dużym przekroju i dużej przenikalności magnetycznej na roboczej części charakterystyki. Równocześnie nastąpi wtedy wzrost indukcyjności L_k i zmniejszenie składowej magnesującej prądu I_0 określonej w wyrażeniu (1).

Warunkiem wystarczającym do wyrównania indukcyjności ΔL_k jest spełnienie równości:

$$R_{mp}(t',t'',k) = \text{const}, \quad \text{dla} \quad k = 1,2,\ldots,s \tag{14}$$

Oznacza to, że reluktancje na drodze strumieni rozproszenia poszczególnych par zwojów danej sekcji mogą być różne, ale sumy ΔL_k (13) muszą składać się z identycznych składników.

Praktyczny sposób spełnienia warunku (14) polega na nawinięciu uzwojenia przewodem multifilarnym o małej średnicy na rdzeniu, którego własności magnetyczne zmieniają się wzdłuż obwodu możliwie nieznacznie [2, 4]. Poglądowo przedstawiono to na rys. 6.



Rys. 6. Różnice indukcyjności zwojów leżących obok siebie w przewodzie multifilarnym zależą od różnic własności magnetycznych rdzenia i od średnicy przewodu multifilarnego

Trzeci sposób zmniejszenia rozrzutu L_k polegający na zmniejszeniu bezwzględnych wartości ΔL_k wymaga zwiększenia reluktancji $R_{mp}(t,k)$ na drodze strumieni rozproszenia. Praktycznie realizuje się to przez odsunięcie uzwojenia od rdzenia na odległość kilku średnic przewodu. Optymalne określenie tej odległości wymaga jeszcze żmudnych badań eksperymentalnych.

Podobne rozważania można przeprowadzić dla indukcyjności wzajemnych $M_{l,k}$. Prowadzą one do tych samych wniosków, które otrzymano przy analizie indukcyjności własnych L_k.

4. Ułożenie uzwojenia na rdzeniu

Po wyborze materiału ferromagnetycznego, zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w rozdziale (2) i (3), należy obliczyć wymiary rdzenia. Warunkiem wyjściowym jest przyjęcie sposobu rozmieszczenia uzwojenia multifilarnego na rdzeniu.

Uzwojenie powinno być rozłożone równomiernie w jednej warstwie, jednakże przy nawijaniu rdzeni toroidalnych nie jest praktycznie możliwe takie nawinięcie, by na obwodzie wewnętrznym i zewnętrznym rdzenia gęstość zwojów była taka sama. Ponieważ zawsze $D_z > d_w$, więc po stronie zewnętrznej rdzenia zwoje są rozłożone luźniej niż po stronie wewnętrznej.

Jeden ze sposobów wykonania uzwojenia polega na takim ułożeniu zwojów przewodu multifilarnego, by obwód wewnętrzny rdzenia został pokryty jedną ścisłą warstwą zwojów. Wtedy na obwodzie zewnętrznym wystąpią między zwojami odstępy, których wielkość zależy od różnicy średnic rdzenia.

Inny sposób wykonania uzwojenia polega na ułożeniu dwu warstw przewodu multifilarnego, z których pierwsza wykonana jest tak jak poprzednio, natomiast druga warstwa wypełnia ściśle obwód wewnętrzny, leżąc na warstwie pierwszej.

Na obwodzie zewnętrznym zwoje obu warstw leżą obok siebie, wypełniając szczelnie cały ten obwód. Wymaga to spełnienia warunków (19) i (20).

Przy takim sposobie ułożenia uzwojenia uzyskuje się lepszą równomierność strumienia rozproszenia związanego z każdą sekcją. Wpływ nierównomierności własności magnetycznych rdzeni na podział napięcia jest mniejszy.

Dalsze obliczenia przeprowadzone zostaną przykładowo dla tej właśnie konfiguracji uzwojenia, która jest jedną z kilku możliwych.

5. Obliczenie wymiarów rdzenia

Dobór wymiarów rdzenia przeprowadzony zostanie przy następujących założeniach:

- dopuszczalne napięcie całkowite na uzwojeniu dzielnika powinno wynosić U_0 przy częstotliwości f,
- rezystancja uzwojenia nie może przekroczyć zadanej wartości R,
- masa materiału magnetycznego ma być minimalna.

Dla uzwojenia liczącego (p s) zwojów zachodzą następujące zależności:

$$U_0 = 4{,}44\ B\ f\ \frac{(D_z - d_w)}{2}\ h(p\ s) \tag{15}$$

$$R = \frac{(p\ s)\ l}{\varkappa \left(\frac{d}{2}\right)^2 \delta} \tag{16}$$

Ze względu na rezystancję zwojów najbardziej optymalny byłby rdzeń o przekroju kołowym. Ponieważ jednak rdzenie o takim kształcie i odpowiednich

własnościach nie są produkowane, więc przyjęto kwadratowy przekrój rdzenia, czyli:

$$\frac{D_z - d_w}{2} = h \tag{17}$$

W celu ustalenia dalszych zależności eksperymantalnie wyznaczono średnice przewodów multifilarnych skręconych z drutów o różnych średnicach. Skrętki wykonano z 10 drutów, ze skokiem 1 skręt/cm. Wyniki zestawiono w tablicy 1.

W kolumnie 5 tablicy 1 podano współczynnik K określający w przybliżeniu związek między średnicą drutu a średnicą przewodu multifilarnego nawiniętego na rdzeń. Współczynnik K uwzględnia stopień wypełnienia warstwy uzwojenia.

Przy odległości zwoju od rdzenia równej a, średnia długość zwoju l wyniesie:

dla warstwy I: $l_1 = 4h + 8a$

dla warstwy II: $l_2 = 4h + 8a + 6\,Kd$

średnio: $l = \frac{l_1+l_2}{2} = 4h + 8a + 3Kd$

Ponieważ zachodzi:

$$4h + 8a >> Kd$$

więc przyjęta zostanie nieco krótsza długość przewodu, co nie wprowadzi istotnego błędu a znacznie uprości obliczenia; mianowicie:

$$l = 4h + 8a + 2Kd \tag{18}$$

Aby na obwodzie zewnętrznym rdzenia utworzyła się jedna ścisła warstwa zwojów, a na obwodzie wewnętrznym dwie, muszą być spełnione zależności:

$$\pi(D_z + 2a) = pKd \tag{19}$$

$$\pi(d_w - 2a) + \pi(d_w - 2a - 2Kd) = pKd \tag{20}$$

Równania (15) ÷ (20) zawierają 7 niewiadomych, a mianowicie: D_z, d_w, h, p, l, d, K. Brakujące siódme równanie zastępuje tablica 1, podająca związek między d i K. Pozostałe parametry w tych równaniach są dane lub należy je

przyjąć. Po wzajemnych podstawieniach równań (15) ÷ (20) otrzymuje się następujące zależności:

$$U_o = 1{,}74\ B\ f\ s\left(\frac{1}{4} Kd\sqrt{\frac{R\ \varkappa\ d}{sK}} - 4a - Kd\right)^2\sqrt{\frac{R\ \varkappa\ d}{sK}} \tag{21}$$

$$p = \frac{1}{2}\varkappa\sqrt{\frac{R\ \varkappa\ d}{sK}} \tag{22}$$

$$h = \frac{1}{4}\left(\frac{pKd}{\varkappa} - 8a - 2Kd\right) \tag{23}$$

$$D_z = \frac{pKd}{\varkappa} - 2a \tag{24}$$

Tablica 1

Lp.	Oznaczenie drutu	Średnica drutu, d [mm]	Średnica przewodu multifilarnego d_{pm} [mm]	Współczynnik K
1	DNEul	0,20	0,9	5,7
2	DNEa	0,25	1,2	5,6
3	DNEst	0,30	1,4	5,6
4	DNEs	0,35	1,5	5,5
5	DNEs	0,40	1,7	5,0
6	DNEs	0,45	2,0	4,9
7	DNEst	0,50	2,1	4,9

Równanie (21) zawiera dwie niewiadome, K i d, które związane są zależnością podaną w tablicy 1. Równanie to należy rozwiązać metodą prób, dobierając w razie potrzeby drut o innej średnicy niż podaje tablica 1 przyjmując zbliżony współczynnik K.

Pozostałe parametry należy wyliczyć z wyrażeń (22), (23), (24) i (17), a następnie sprawdzić, czy i w jakim stopniu spełnione są równania (15) i (16).

W celu sprawdzenia zaproponowanej metody obliczeniowej zaprojektowano i wykonano autotransformatorowy jednodekadowy IDN na rdzeniu toroidalnym, z uzwojeniem multifilarnym. Wyniki zestawiono w tablicy 2. Świadczą one o poprawnej stronie matematycznej metody.

Tablica 2

	Projekt	Wykonanie
Parametry wyjściowe	U_c = min 15V przy f = 50 Hz	U_o = 14,2 V przy f = 50 Hz, B = 0,5 T
	R = max 50Ω	R = 48,5Ω
	B = 0,5 T	
	a = 0,0035 m	a ≈ 0,003 m
	$\gamma = 57 \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega m}$	$\gamma = 57 \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega m}$
Parametry wyliczone	D_z = 0,0585 m	D_z = 0,060 m
	d_w = 0,041 m	d_w = 0,040 m
	h = 0,0088 m	h = 0,010 m
	p = 164	p = 160
	d = 0,00022 m	d = 0,00022 m (DNEs)
	K = 5,7	

Należy podkreślić, że przy doborze wymiarów rdzenia wykorzystywany jest współczynnik eksperymentalny K, którego wartości podane w tablicy 1 obowiązują przy starannym ułożeniu zwojów. Trzeba o tym pamiętać przy nawijaniu uzwojenia multifilarnego.

6. Wnioski

W celu zapewnienia maksymalnej dokładności IDN należy zwrócić szczególną uwagę na wybór rdzenia ferromagnetycznego. Powinien on charakteryzować się wysoką przenikalnością magnetyczną μ i dużą jednorodnością własności magnetycznych na całym obwodzie. Wymiary rdzenia i niezbędne parametry uzwojenia multifilarnego można obliczyć z wyrażeń (21), (22), (23), (24), (17).

Przedstawiony sposób obliczania wymiarów rdzenia można zastosować także dla innego ułożenia zwojów, ale trzeba wtedy zmodyfikować wyrażenia (16) (19), (20) i ponownie rozwiązać układ równań (15) ÷ (20).

Można także stosować przewody multifilarne o innej liczbie i średnicy drutów, ale wymaga to eksperymentalnego wyznaczenia współczynnika K.

7. Zestawienie ważniejszych oznaczeń użytych w tekście

a – założona odległość uzwojenia multifilarnego od rdzenia,
d – średnica drutu uzwojenia,
d_w – średnica wewnętrzna rdzenia,
D_z – średnica zewnętrzna rdzenia,
h – wysokość rdzenia,
k – numer sekcji, $k = 1,2,\ldots,s$
K – stosunek średnicy nawiniętego przewodu multifilarnego do średnicy pojedynczego drutu,
l – średnia długość jednego zwoju,
L_k – indukcyjność własna sekcji,
L_μ – indukcyjność główna uzwojenia,
$M_{l,k}$ – indukcyjność wzajemna sekcji l oraz k
p – liczba zwojów w sekcji,
R – całkowita rezystancja uzwojenia dekady dzielnika,
R_{Fe} – rezystancja zastępcza strat w rdzeniu,
R_k – rezystancja uzwojenia sekcji k,
$R_m(t,k)$ – reluktancja dla strumienia przenikającego przez zwój (t,k),
s – liczba sekcji uzwojenia,
S – efektywny przekrój rdzenia ferromagnetycznego,
t – numer zwoju w sekcji, $t = 1,2,\ldots,p$
U_o – napięcie całkowite na uzwojeniu pomiarowym,
γ – przewodność elektryczna drutu uzwojenia.

LITERATURA

[1] Binnie A.J.: An iductive decade divider of low output impedance. I. Sci. Instrum. 1964, vol. 41, str. 747.

[2] Grocholskij A.L., Kaszczejew E.L.: Mietody obiespieczenija tiesnoj swiazi pliecziewych induktiwno swiazannych eliemientow na osnowie multifilarnych sistiem. Problemy elektrometrii, Izd. Nauka, Nowosybirsk 1967.

[3] Hill J.J., Deacon T.A.: Theory, design and measurement of inductive voltage dividers. Proc. IEE, vol. 115, Nr 5, May 1968, str. 727.

[4] Hill J.J., Miller A.P.: A seven-decade adjustable ratio inductively-coupled voltage divider with 0,1 part per milion accuracy. Proc. IEE vol. 109, part. B, 44, 1962, str. 157.

[5] Lewin M.I., Dżani M.A.: Tocznost transformatornych dielitielej napriażenija. Trudy Moskowskogo Energet. Instituta, wyp. 154, 1972, Moskwa.

[6] Zapf T.L.: The Accurate Measurement of Voltage Ratios of Inductive Voltage Dividers. ACTA IMEKO T3/64 str. 317.

Przyjęto do druku w czerwcu 1974 r.

ПОДБОР ФЕРРОМАГНИТНОГО СЕРДЕЧНИКА ДЛЯ ИНДУКТИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Р е з ю м е

Ферромагнитный сердечник является основным элементом, влияющим на степень точности индуктивного делителя напряжения.

Проанализованы условия его работы с мультифилярной обмоткой, и на этой основе определены требуемые свойства ферромагнитного материала.

Определены условия выбора и приведены формулы расчета геометрических размеров сердечника. Представлен также практический способ измерения параметров поперечной цепи схемы замещения трансформатора при различных частотах и напряжениях.

CHOICE OF FERROMAGNETIC CORES FOR INDUCTIVE VOLTAGE DIVIDERS

S u m m a r y

The accuracy of the inductive voltage divider is dependant mainly on the ferromagnetic core. The collaboration conditions of the ferromagnetic core with multifilar winding are considered and on this basis the required characteristics of the ferromagnetic material are determined. The criteria of the choice and relationships for the calculation of its geometrical dimensions are given. This paper includes also the practical measurement method of the parameters in the transversal branch of the transformer replacing scheme for various frequency and voltage values.