

Jan PUŚLEDZKI

Andrzej MET

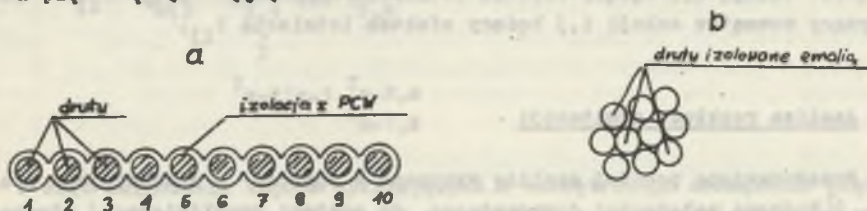
NOWA KONSTRUKCJA UZWOJEŃ TRANSFORMATORÓW WZORCOWYCH

Streszczenie. Podano nowy sposób wykonania uzwojeń multifilarnych w transformatorach wzorcowych. Przedstawiono sposób obliczania błędów uzwojenia multifilarnego. Przeprowadzono doświadczalne porównanie właściwości różnych uzwojeń multifilarnych.

1. Wprowadzenie

Do konstrukcji transformatorów wzorcowych stosuje się uzwojenia multifilarne UM. W literaturze ustalono wymagania, jakie powinny spełniać UM [1, 2, 3, 4]. Według tych wymagań pojemności między sekcjami UM powinny być małe i równe. Nawet jeśli analizuje się UM o dowolnych pojemnościach, przyjmuje się w konkluzjach ich równość.

Szkodliwy wpływ pojemności polega na wytwarzaniu spadków napięć U_k na impedancjach szeregowych UM, wywołanych prądami płynącymi przez te pojemności. Zatem błąd pochodzący od U_k można zminimalizować przez zmniejszenie prądów pojemnościowych. Ponieważ napięcia między poszczególnymi sekcjami są różne, celowe wydaje się takie połączenie sekcji, aby wartości pojemności międzysekcyjnych dobierać odwrotnie proporcjonalnie do rozkładu napięć międzysekcyjnych.

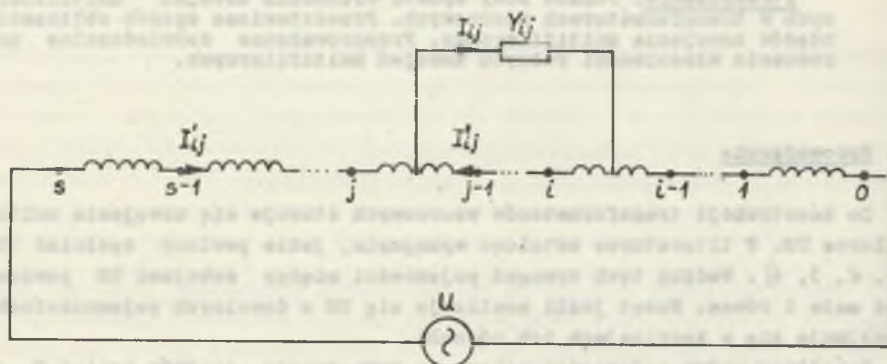


Rys. 1. Przekroje UM

a) przewód wstążkowy TDWY, b) skrętka z drutów DNEs

UM są wykonywane ze skrętki z drutów DNEs (rys. 1b). Ułożenie drutów między sobą jest tylko z grubsza regularne, co wynika z technologii wykonania skrętki [4]. W związku z tym rozkład pojemności można wyznaczyć doświadczalnie dopiero po wykonaniu uzwojenia. Rozkład ten jest różny dla skrętek wykonanych nominalnie w ten sam sposób.

Zastosowanie przewodu wstążkowego TDWY z rys. 1a pozwala założyć, że rozkład pojemności jest stały. Pojemności między sąsiednimi drutami są największe i maleją dla drutów bardziej od siebie oddalonych. Jeżeli sekcje połączyć tak, aby pierwszą stanowił drut zewnętrzny, drugą sąsiedni itd., to wtedy największe napięcie wystąpi między sekcjami zewnętrznymi, a najmniejsze między sąsiednimi. W celu zweryfikowania przypuszczeń, że UM wykonane z przewodu wstążkowego ma korzystniejszy rozkład pojemności między sekcjami i daje w efekcie mniejszy błąd spowodowany prądami pojemnościowymi, wykonano analizę pojemności międzyszekcyjnych uszwojenia przedstawionego schematycznie na rys. 2.



Rys. 2. Model UM

Przyjęto oznaczenia: Y_{ij} - admitancja pomiędzy środkami sekcji i oraz j; I_{ij} - prąd płynący przez admitancję Y_{ij} ; I'_{ij} - prąd płynący na zewnętrznej sekcji i, j będący efektem istnienia admitancji Y_{ij} ; I''_{ij} - prąd płynący wewnątrz sekcji i, j będący efektem istnienia Y_{ij} .

2. Analiza rozkładu admitancji

Przedstawioną poniżej analizę wykonano w oparciu o wcześniejsze prace [1, 2] Końcowe zależności doprowadzono do postaci umożliwiającej ułożenie najprostszego programu dla komputera.

Według oznaczeń na rys. 2:

$$s > j > 1 \quad (1)$$

stosunek prądów I_{ij}/I'_{ij} wyrażono zależnością:

$$\frac{I_{ij}}{I'_{ij}} = \frac{s}{j-1}, \quad \text{więc} \quad I_{ij} = I'_{ij} \frac{s}{j-1}. \quad (2)$$

ponieważ

$$> j - 1, \text{ więc } I_{1j} > I'_{1j} \quad (3)$$

$$I''_{1j} = I_{1j} - I'_{1j}. \quad (4)$$

Napięcie między sekcjami U_{1j} oblicza się z zależności:

$$\frac{U_{1j}}{U} = \frac{j-1}{s} \quad (5)$$

$$I_{1j} = U_{1j} Y_{1j} = Y_{1j} U \frac{j-1}{s} \quad (6)$$

Łącząc zależności (6) i (2) otrzymuje się:

$$I'_{1j} = U Y_{1j} \left(\frac{j-1}{s}\right)^2. \quad (7)$$

Liczba admittancji między wszystkimi sekcjami jest równa liczbie kombinacji $\binom{s}{2}$. Admittancje te najlepiej zapisać w postaci macierzy kwadratowej. Ponieważ:

$$Y_{1j} = Y_{j1} \quad (8)$$

oraz Y_{1j} dla $i = j$ przy założonym modelu nie mają sensu fizycznego, biorąc również pod uwagę założenia (1) admittancje te można zapisać w formie tablicy:

$$\begin{array}{ccccccc} Y_{1,2} & Y_{1,3} & Y_{1,4} & \dots & Y_{1,s} & & \\ & Y_{2,3} & Y_{2,4} & \dots & Y_{2,s} & & \\ & & \vdots & & & & \\ & & & & Y_{s-2,s-1} & Y_{s-2,s} & \\ & & & & & Y_{s-1,s} & \end{array} \quad (9)$$

W celu obliczenia błędów wynikających z wewnętrznego obciążenia prądami admittancyjnymi międzysakcyjnymi należy najpierw obliczyć wartości prądu wzdłuż uswojenia, następnie obliczyć spadki napięć na impedancjach szeregowych poszczególnych sekcji. W tym celu należy obliczyć prądy przepływające przez poszczególne węzły k uswojenia multifilarnego, przy czym $0 < k < s$. Z rys. 2 widać, że prądy płynące przez węzły 0 i s są sumą prądów I'_{1j} płynących na skutek istnienia wszystkich admittancji Y_{1j} .

$$I_0 = I_s = U \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^s Y_{ij} \left(\frac{j-i}{s}\right)^2 \quad \text{dla } k=0 \text{ i } k=s \quad (10)$$

Prądy płynące przez węzły k dla $0 < k < s$ są sumą prądów I'_{ij} (dla $i > k$ lub $j < k$) pomniejszoną o sumę prądów I''_{ij} (dla $i < k$ i $j > k$). W celu uproszczenia zapisu matematycznego prądów I_k dla $0 < k < s$ można od sumy wszystkich prądów (zależność 10) odjąć prądy I'_{ij} (dla $i < k$ i $j > k$) i zastąpić je prądami I''_{ij} dla tych samych wskaźników:

$$I_k = \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^s I'_{ij} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^s I'_{ij} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^s I''_{ij} \quad (11)$$

dla $0 < k < s$

$$I_k = \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^s I'_{ij} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^s (I'_{ij} + I''_{ij}) \quad \text{dla } 0 < k < s \quad (12)$$

ponieważ $I'_{ij} + I''_{ij} = I_{ij}$, otrzymuje się:

$$I_k = U \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^s Y_{ij} \left(\frac{j-i}{s}\right)^2 - U \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^s Y_{ij} \frac{j-i}{s} \quad (13)$$

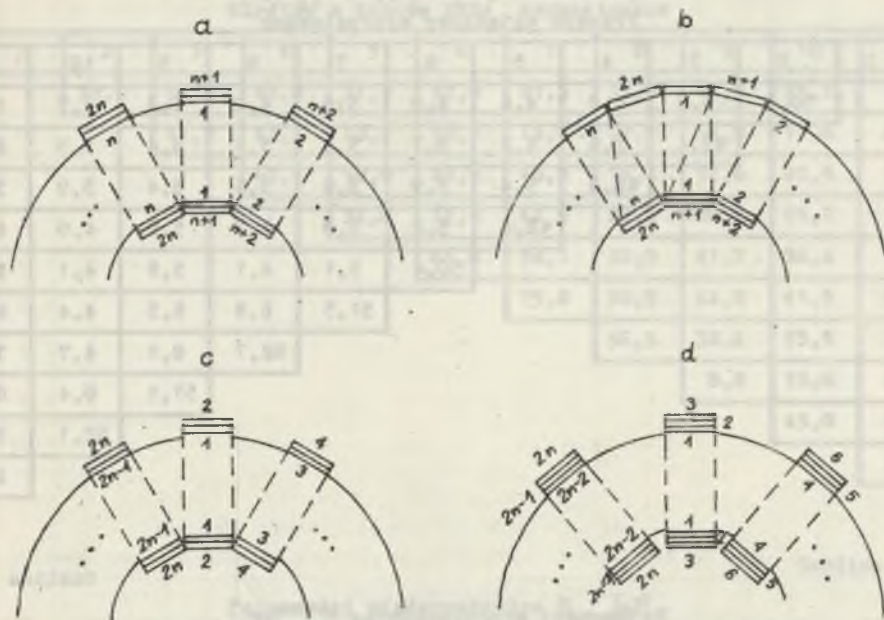
dla $0 < k < s$

Znając wartość admitancji Y_{ij} dla UM na podstawie zależności (10) i (13) można wyznaczyć wartości prądów płynących przez węzły UM, a następnie określić rozkład gęstości prądu w UM. Ponieważ admitancje Y_{ij} w zakresie częstotliwości od kilkuset Hz do kilku kHz, tzn. w zakresie częstotliwości roboczych UM, mają bardzo małą wartość składowej czynnej, można obliczenia przeprowadzić tylko dla składowej biernej pojemnościowej.

3. Sposób i warunki wykonania pomiarów

Dokonano pomiarów C_{ij} dla przewodu wstążkowego wyprostowanego oraz nawiniętego na karkas, z rdzeniem toroidalnym i bez rdzenia. Nawinięcia dokonano kilkoma sposobami (rys. 3). Pierwszy sposób (rys. 3a) polegał na nawinięciu pierwszej warstwy tak, że na wewnętrznym obwodzie karkasu zwoje leżą ściśle obok siebie. Drugą warstwę nawinięto dokładnie na zwojach pierwszej. Drugi sposób (rys. 3b) różnił się nawinięciem drugiej warstwy. Na zewnętrznym obwodzie karkasu zwoje drugiej warstwy leżą między zwoja-

mi pierwszej. Dla pozostałych rodzajów uzwojeń zwoje nawijano według kolejności zaznaczonej na rys. 3c i 3d.



Rys. 3. Sposoby nawijania UM za pomocą przewodu wstążkowego

Następnie dokonano pomiarów C_{ij} dla skrętki z drutów DNEs, jaka była stosowana przez autorów [2, 3]. Pomiary C_{uj} wykonano dla skrętki wyprostowanej oraz nawiniętej w jednej warstwie na karkas z rdzeniem toroidalnym. Przewód wstążkowy i skrętka miały tę samą długość 1 m i były nawijane na ten sam karkas dla zapewnienia zbliżonych warunków pomiaru. Numery sekcji dla skrętki zostały wybrane przypadkowo. Numery sekcji dla przewodu wstążkowego odpowiadają numerom na rys. 1a. Pomiary wykonano za pomocą mostka BM 484 (produkcji Tesli) oraz wybieraka skonstruowanego przez autorów.

4. Wyniki pomiarów

Tablice 1 do 9 zawierają wyniki pomiarów pojemności międzysekcyjnych C_{ij} . Dla przewodu wstążkowego wyprostowanego (tablica 1) rozkład pojemności potwierdził wcześniejsze przewidywania. Największe wartości mają pojemności sekcji sąsiednich. Bardziej odległe sekcje mają względem siebie pojemności mniejsze. Po nawinięciu przewodu wstążkowego na karkas (tabli-

Tablica 1

Pojemności międzysekcyjne C_{1j} [pF]
Przewód wstążkowy wyprostowany

j	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	50,1	6,8	4,9	4,4	4,0	3,8	4,0	6,3	4,7	1
		49,4	5,6	4,3	3,7	3,5	3,5	5,4	3,9	2
			48,8	5,4	3,9	3,6	3,6	5,4	3,9	3
				48,6	5,2	3,9	3,7	5,5	4,0	4
					50,4	5,1	4,1	5,8	4,1	5
						51,3	5,8	6,5	4,4	6
							62,7	8,1	4,7	7
								51,1	6,4	8
									52,1	9
										1

Tablica 2

Pojemności międzysekcyjne C_{1j} [pF]
Przewód wstążkowy nawinięty na karkas z rdzeniem wg rys. 3a

j	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	50,2	6,4	4,9	4,5	4,5	4,4	4,9	13,0	13,1	1
		49,9	5,3	4,2	3,9	3,7	4,0	6,7	5,6	2
			49,2	5,2	3,9	3,6	3,7	5,8	5,8	3
				48,8	5,4	3,8	3,8	5,7	4,4	4
					50,4	4,9	4,3	5,8	4,4	5
						51,7	5,7	6,1	4,5	6
							61,8	7,7	4,6	7
								50,3	5,9	8
									51,3	9
										1

ca 2) wrażliwość pojemności między sekcjami zewnętrznymi. Jest to spowodowane zbliżeniem do siebie kolejnych zwojów UM. Rozkład pojemności dla wyprostowanej skrętki (tablica 3) jest przypadkowy. Pojemności skrętki nawiniętej na karkas maleją. Jest to związane ze spłaszczeniem skrętki na krawędziach karkasu i odsunięciem się poszczególnych drutów od siebie.

Tablica 3

Pojemności międzysekcyjne C_{ij} [pF].
Skrętka z drutów DNEs wyprostowana

j	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	39,0	51,2	63,8	31,5	52,9	87,3	32,5	11,9	52,1	1
		47,7	41,1	49,3	39,0	13,8	73,5	61,0	15,6	2
			67,4	50,0	25,5	48,3	16,4	52,6	45,9	3
				32,2	31,5	42,0	23,5	100,9	55,7	4
					64,6	34,7	92,9	41,3	36,4	5
						75,0	38,9	44,8	41,5	6
							56,5	38,2	53,5	7
								8,8	18,6	8
									45,0	9
										1

Tablica 4

Pojemności międzysekcyjne C_{ij} [pF].
Skrętka z drutów DNEs nawinięta na karkas z rdzeniem

j	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	28,6	35,0	46,1	25,7	38,9	60,9	22,0	10,4	41,7	1
		34,0	32,5	47,7	28,1	12,1	49,9	42,1	9,9	2
			44,0	37,7	22,6	34,0	16,8	37,0	34,7	3
				27,0	25,4	31,8	17,6	98,6	41,5	4
					39,6	24,4	59,0	28,9	23,5	5
						50,5	29,1	29,4	28,5	6
							39,4	24,9	32,2	7
								8,6	12,1	8
									30,4	9
										1

Obliczone dla wszystkich tablic wartości średnie \bar{C} , odchylenia standardowe σ_C oraz σ_C/\bar{C} przedstawiono w tablicy 10. Pojemności średnie są około 3-krotnie mniejsze od pojemności skrętki (tablica 10, pozycje 3, 4). Wynika to z grubszej izolacji i innej geometrii przewodu wstążkowego (rys. 1). Wartości σ_C/\bar{C} są mniejsze dla skrętki. Wartości prądów w węzłach UM

Tablica 5

Pojemności międzysekcyjne C_{ij} [pF].
Przewód wstążkowy nawinięty na karkas z rdzeniem wg rys. 3b

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	34,0	6,3	5,8	7,0	7,0	6,3	6,3	12,6	13,2
		37,3	5,4	4,2	4,8	5,3	4,8	7,0	5,9
			34,5	5,2	3,9	4,3	4,9	6,9	5,3
				34,7	4,6	3,9	4,2	7,2	5,9
					34,4	4,6	4,0	6,4	5,5
						35,9	4,8	5,9	4,8
							36,2	6,2	4,4
								37,4	5,2
									36,6

Tablica 6

Pojemności międzysekcyjne C_{ij} [pF].
Przewód wstążkowy nawinięty na karkas z rdzeniem wg rys. 3a

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	36,5	5,9	4,6	4,3	4,1	4,2	4,8	11,6	11,1
		38,2	4,7	3,6	3,3	3,2	3,3	6,2	5,7
			36,4	4,5	3,4	3,1	3,2	4,9	4,1
				36,8	4,5	3,3	3,3	4,7	3,6
					36,7	4,3	3,4	4,7	3,5
						37,6	4,4	4,9	3,5
							38,3	6,0	3,7
								40,4	5,0
									38,3

obliczone z zależności (10) i (13) zestawiono w tablicy 11. Prądy dla przewodu wstążkowego (tablica 11, pozycje 1,2) są o rząd mniejsze od prądów dla skrętki (tablica 11, pozycje 3, 4). Potwierdza to tezę postawioną w punkcie 2. Znając wartości prądów w węzłach UM można wykreślić rozkład gęstości prądu wzdłuż UM. Z przyjętego modelu UM (rys. 2) wynika, że wartość prądu od węzła 0 do środka pierwszej sekcji jest stała i równa I_0 .

Tablica 7

Pojemności międzysekcyjne C_{ij} [pF].

Przewód wstążkowy nawinięty na karkas z rdzeniem wg rys. 3c

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	36,2	7,1	5,4	4,6	4,4	4,5	5,0	7,7	5,7
		37,2	5,5	4,2	3,5	3,4	3,4	5,1	4,4
			36,1	5,4	4,0	3,6	3,6	5,7	4,5
				35,5	5,3	4,1	3,9	5,6	4,3
					35,5	5,6	4,4	5,9	4,3
						37,1	6,1	6,5	4,5
							37,4	8,8	4,9
								41,5	7,2
									38,0

Tablica 8

Pojemności międzysekcyjne C_{ij} [pF].

Przewód wstążkowy nawinięty na karkas z rdzeniem wg rys. 3d

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	37,0	6,6	5,2	4,8	4,2	4,0	4,2	6,8	5,6
		38,8	5,6	3,7	3,6	3,4	3,4	5,0	3,9
			36,5	5,4	3,8	3,5	3,6	5,1	3,8
				36,8	5,2	3,9	3,9	5,5	4,0
					36,0	5,4	4,3	6,0	4,3
						38,4	5,9	6,9	4,7
							38,3	8,4	4,9
								42,6	7,3
									39,6

od środka pierwszej sekcji do środka drugiej ma wartość I_1 itd. Wynika to z przyjętego modelu, w którym admitancje Y_{ij} są skupione i włączone między środki sekcji. Model taki zastosowano w celu uproszczenia analizy. W rzeczywistości admitancje są rozłożone wzdłuż uzwojenia każdej sekcji. Prądy zmieniają się więc liniowo, a nie skokowo. Wykresy gęstości prądu zostały wykonane przy założeniu liniowej zmiany prądów. Zależności gęstości prądu wzdłuż UM przedstawiono na rys. 4, 5, 6 na podstawie danych z tablicy 11. Numery krawych odpowiadają numerom tablic z wartościami C_{ij} .

Tablica 9

Pojemności międzysekcyjne C_{1j} [pF].

Przewód wstążkowy nawinięty na karkas bez rdzenia wg rys. 3d

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	36,7	6,9	5,7	4,7	4,2	3,9	4,2	6,9	5,4
		37,5	5,3	4,2	4,3	3,3	3,4	5,0	3,8
			35,2	5,4	4,1	3,7	3,7	5,2	3,9
				35,2	5,3	4,3	4,0	5,4	4,0
					35,8	5,3	4,8	6,1	4,3
						36,7	5,6	6,9	4,7
							38,0	8,6	5,6
								40,9	7,0
									38,5

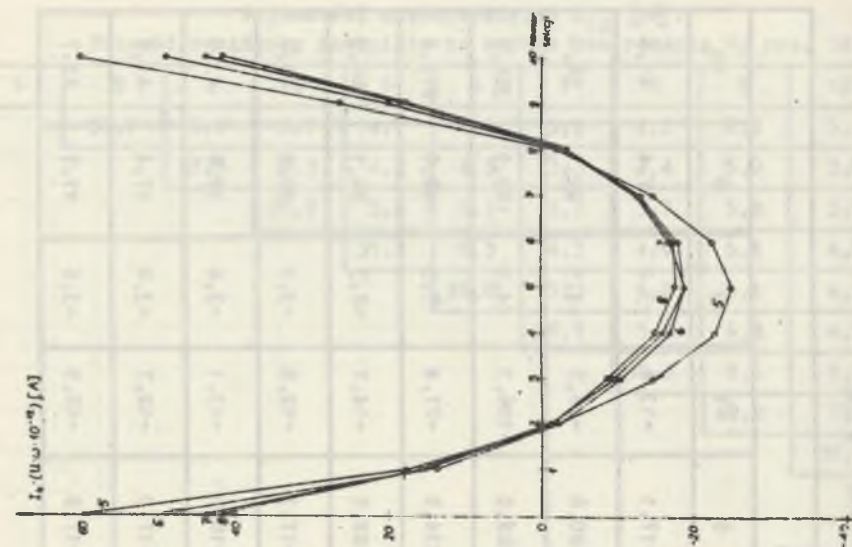
Tablica 10

Parametry statystyczne charakteryzujące poszczególne sposoby nawinięcia. Parametry obliczone dla wyników pomiarowych zestawionych w tablicach 1-9

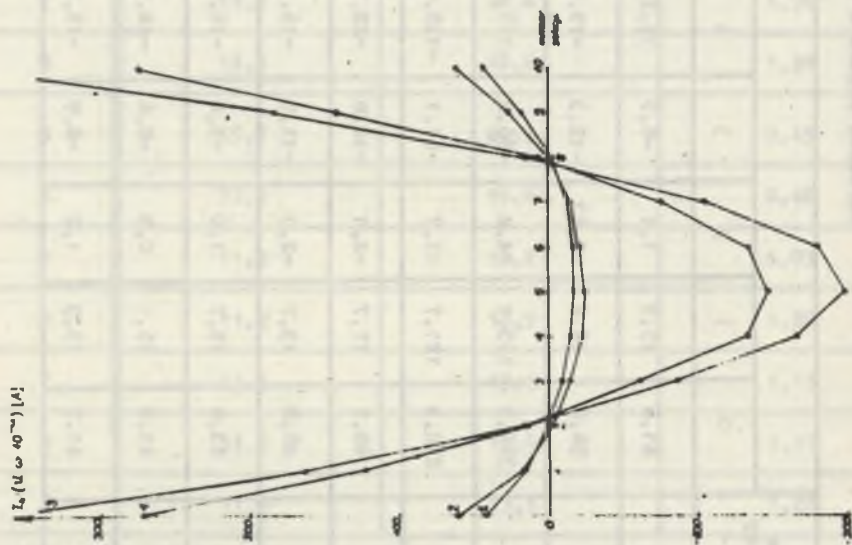
Numer tablicy	\bar{C} [pF]	σ_C [pF]	σ_C/\bar{C}
1	14,1	19,6	1,35
2	14,6	18,6	1,28
3	45,7	20,7	0,45
4	33,2	15,8	0,48
5	11,8	12,2	1,03
6	11,2	13,5	1,20
7	11,5	13,1	1,14
8	11,6	13,6	1,17
9	11,4	13,1	1,22

Wartości prądów w węzłach $I_k(U \cdot 10^{-12})$ [A]

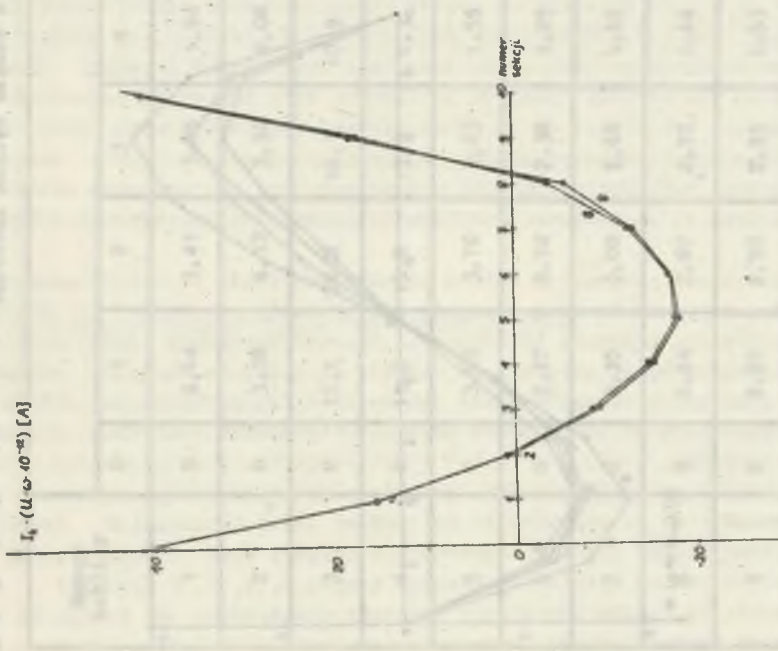
Numer tablicy	Numer węzła										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	41,6	15,7	1,1	-8,9	15,2	-17,8	-17,1	-13,6	-3,2	17,4	41,6
2	56,8	16,6	-0,63	-12,3	-19,0	-21,7	-20,6	-16,5	-4,9	22,1	56,8
3	366,9	163,1	14,4	-86,2	-167,3	-199,7	-182,5	-106,3	14,9	182,9	366,9
4	272,9	121,7	15,7	-61,1	-135,0	-149,0	-134,5	-77,4	7,5	140,0	272,9
5	60,5	17,7	-2,1	-14,8	-22,9	-25,2	-22,5	-14,7	-2,3	26,1	60,5
6	48,8	13,7	-2,3	-11,5	-16,9	-18,7	-17,3	-12,5	-3,5	20,2	48,8
7	43,8	15,7	1,0	-9,6	-16,0	-18,8	-18,1	-13,1	-3,6	18,8	43,8
8	41,6	15,1	0,9	-8,6	-14,9	-17,7	-17,3	-12,7	-3,8	17,4	41,6
9	41,7	15,3	1,0	-8,9	-15,2	-18,1	-17,2	-12,9	-3,6	17,7	41,7



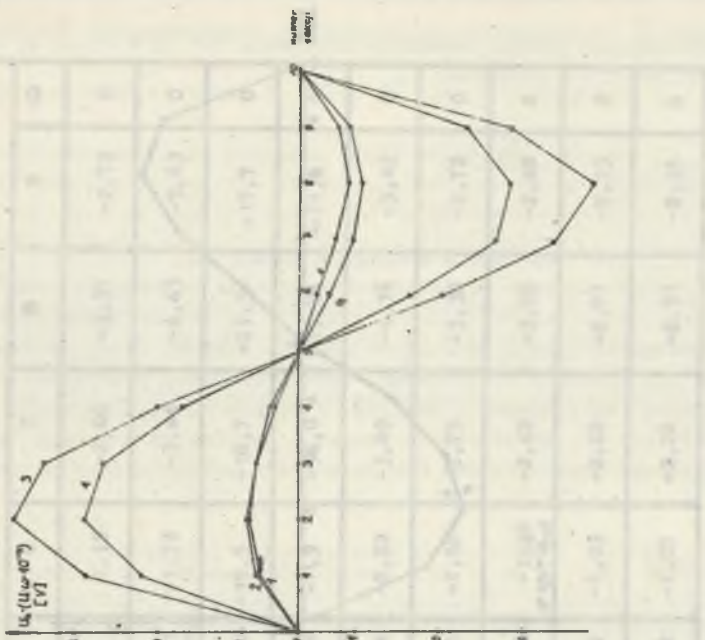
Rys. 5. Porównanie wartości prądów I_k dla różnych sposobów nawinięcia przewodu wstążkowego



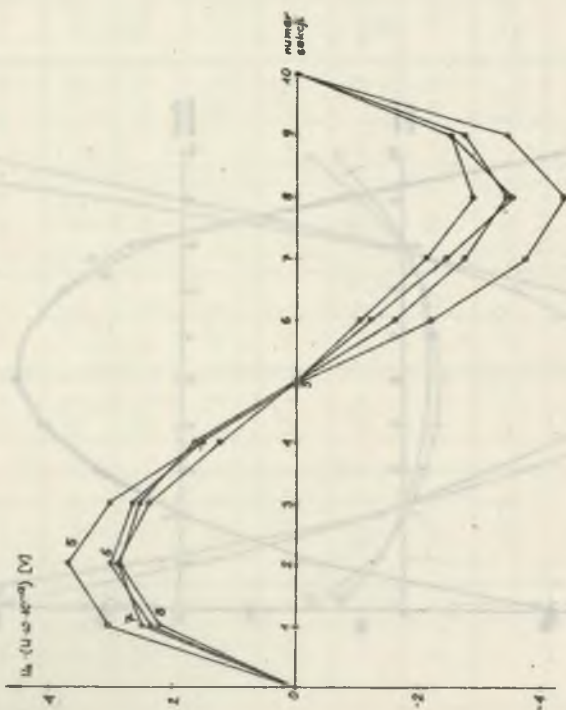
Rys. 4. Porównanie wartości prądów I_k przewodu wstążkowego i skrętki



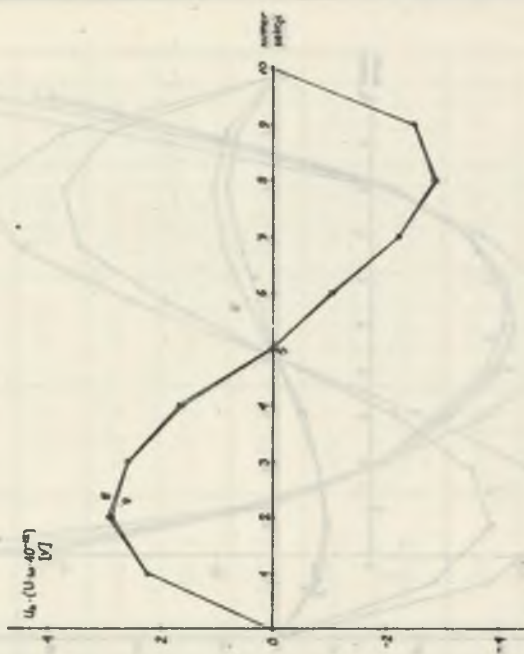
Rys. 6. Porównanie wartości prądów I_k dla przewodu wstążkowego nawiniętego na karkas z rdzeniem i bez rdzenia



Rys. 7. Porównanie wartości napięć U_k dla przewodu wstążkowego i sztywny



Rys. 8. Porównanie wartości napięć U_k dla różnych sposobów nawinięcia przewodu resztkowego



Rys. 9. Porównanie wartości napięć U_k przewodu resztkowego nawiniętego na karbas z rdzeniem i bez rdzenia

Tabela 12

Wartości napięć błędów w węzłach k $U_k(U \cdot 10^{-12}) [V]$

Numer tablicy	Numer węzła										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	2,64	3,41	3,05	1,94	0,4	1,19	-2,60	-3,37	-2,72	0
2	0	3,38	4,12	3,52	2,08	0,21	-1,74	-3,44	-4,43	-3,63	0
3	0	15,1	20,2	18,1	10,9	0,42	-10,5	-18,7	-21,3	-15,7	0
4	0	11,2	15,2	13,9	8,3	0,16	-7,9	-14,0	-15,0	-11,8	0
5	0	3,09	3,70	3,03	1,55	0,34	-2,22	-3,69	-4,36	-3,42	0
6	0	2,47	2,92	2,38	1,25	-0,15	-1,58	-2,75	-3,38	-2,72	0
7	0	2,35	3,00	2,66	1,65	0,28	-1,18	-2,42	-3,08	-2,48	0
8	0	2,24	2,87	2,57	1,64	0,35	-1,03	-2,22	-2,87	-2,33	0
9	0	2,25	2,90	2,59	1,63	0,32	-1,07	-2,26	-2,91	-2,35	0

Wprowadzając bieżący wskaźnik sumowania "i" $i = 0 \dots k$, napięcia błędów oblicza się z równania:

$$U_k = \sum_{i=0}^k \frac{I_i + I_{i+1}}{2} Z_n \quad (14)$$

gdzie Z_n jest impedancją szeregową sekcji UM.

Ze względu na małe wartości indukcyjności rozproszeń sekcji (ok. $1 \mu\text{H}$) przy częstotliwościach do dziesiątek kHz są one do pominięcia.

Rezystancje sekcji wynoszą 60 m Ω dla skrętki z drutu DNEs, natomiast 80 m Ω dla przewodu wstążkowego. Wartości błędów obliczone na podstawie zależności (14), danych z tablicy 11 oraz rezystancji sekcji przedstawiono w tablicy 12. Na podstawie danych z tablicy 12 wykonano wykresy rozkładu napięć błędów wzdłuż UM. Zależności przedstawiono na rys. 7, 8, 9.

5. Wnioski

Z wykresów gęstości prądu wzdłuż UM (rys. 4) wiadomo, że prądy płynące z powodu istnienia C_{1j} przez UM wykonane z przewodu wstążkowego są mniejsze od tych samych prądów płynących przez UM wykonanych ze skrętki. Prądy w tych samych węzłach dla wyprostowanego przewodu wstążkowego (krzywa 1, rys. 4) są o rząd mniejsze od prądów płynących przez wyprostowaną skrętkę (krzywa 3, rys. 4). Średnia wartość pojemności (tablica 10, pozycja 1 dla przewodu wstążkowego jest tylko 3-krotnie mniejsza od średniej wartości pojemności dla skrętki (pozycja 3, tablica 10). Zmniejszenie wartości prądów większe, niż wynika to ze stosunków pojemności średnich, jest spowodowane korzystniejszym rozkładem pojemności międzyszekcyjnych. Rozproszenie względne wartości pojemności między sekcjami dla przewodu wstążkowego jest większe od rozproszenia względnej pojemności dla skrętki (tablica 10).

Na podstawie powyższych faktów można stwierdzić, że dla równych pojemności C_{1j} napięcia U_k oraz prądy I_k dla przewodu ze skrętki z drutów są większe niż dla przewodu wstążkowego. Przewód wstążkowy lepiej nadaje się do wykonywania UM od skrętki, ze względu na mniejsze wartości pojemności między sekcjami i korzystniejszy ich rozkład. Rezystancje wszystkich sekcji są wyrównane bardziej niż w skrętce, ponieważ długości wszystkich drutów są równe.

Nawinięcie przewodu wstążkowego oraz skrętki na karkas spowodowało zmiany pojemności C_{1j} w stosunku do pojemności przed nawinięciem. Zostało to spowodowane zmianą geometrii przewodu i skrętki oraz oddziaływaniem sąsiednich swych na siebie. Analizując krzywe 5, 6, 7, 8 (rys. 5) można stwierdzić, że sposób nawinięcia przewodu wstążkowego na karkas ma wpływ na rozkład gęstości prądu. Wykomanie uszeregowania według rys. 3d (krzywa 8, rys. 5) jest najkorzystniejsze.

Wyniki pomiarów przeprowadzone dla uswojenia nawiniętego na karkas z rdzenia i bez rdzenia wykazały, że pojemności sekcje - rdzeń nie mają istotnego wpływu zarówno na prądy I_k (rys. 6), jak i na napięcia U_k (rys. 9).

Analizując krzywe rozkładu napięcia błędą wsząd UM (rys. 7) można stwierdzić, że napięcia błędą dla UM wykonanych z przewodu wstążkowego są kilkakrotnie mniejsze od napięć błędą dla UM wykonanego ze skrętki, chociaż rezystancje sekcji przewodu wstążkowego są większe od rezystancji sekcji skrętki.

Na podstawie powyższych stwierdzeń można powiedzieć, że przewód wstążkowy TDWY w pełni nadaje się do wykonywania UM o małych prądach pojemnościowych. Dodatkową zaletą jest to, że przewód wstążkowy jest dostępny handlowo, co pozwala na uniknięcie żmudnego skręcania przewodów [4].

LITERATURA

- [1] Deacon T.A.: Internal Admittance Loading in Inductive Voltage Dividers With Cable Type Winding. NPL Report DES 17 nov. 1972.
- [2] Skubis T.: Opracowanie konstrukcji i technologii wsocowych wielodekadowych indukcyjnych dzielników napięcia. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1975.
- [3] Jaskulski J.: Możliwości budowy dwurdzeniowych indukcyjnych dzielników napięcia i ich zastosowanie na przykładzie mostka Thompsona. Rozprawa doktorska. Instytut Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1975.
- [4] Pańledzki J., Skubis T.: Niektóre praktyczne aspekty wykonania uswojeń multifilarnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka z. 55, 1976.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Danuta Turzeniecka

Wpłynęło do Redakcji dnia 15.XI.1983 r.

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ОБМОТОК ОБРАЗЦОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Резюме

В статье излагается новый способ выполнения мультифиларных обмоток в образцовых трансформаторах. Предоставляется способ вычисления ошибок мультифиларной обмотки. Проводится опытное сравнение свойств разных мультифиларных обмоток.

NEW CONSTRUCTION OF STANDARD TRANSFORMER WINDINGS

Summary

A new method of producing multifilar windings in standard transformers has been presented as well as the way of computing errors of multifilar winding. Experimental comparison of properties of different multifilar windings has been done.