ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: Elektryka z. 55

Nr kol. 499

Tadeusz Skubis Instytut Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej Politechniki Sląskiej

ŹRÓDŁA BŁĘDÓW AUTOTRANSFORMATOROWYCH INDUKCYJNYCH DZIELNIKÓW NAPIĘCIA

<u>Streszczenie</u>. Zdefiniowano bezwzględny błąd IDN oraz jego składowe - błędy modułowy i kątowy. Przedstawiono schemat strukturalny źródeł błędów oraz obliczono składowe napięcia błędów. Określono ogólne warunki minimalizacji błędów oraz wymagane wartości parametrów konstrukcyjnych i materiałowych IDN.

1. Wyjaśnienie pojęć

Indukcyjne dzielniki napięcia są liczalnymi wzorcemi stosunku dwu napięć. Znajomość parametrów i budowy IDN wystarcza do wyliczenia wartości wszystkich nastawialnych stosunków napięć i wartości błędów tych stosunków. Wielodekadowe IDN są wykonywane tak, by nominalne wartości stosunków napięć D_n były liczbami dziesiętnymi z przedziału <0;1>:

$$D_n = \sum_{i=1}^{M} k_i \cdot 10^{-i}.$$
 (1)

Szereg różnych przyczyn powoduje, że nominalne wartości stosunków różnią się od wartości rzeczywistych, ale w dzielnikach dobrze zaprojektowanych

> i wykonenych różnice te są małe w stosunku do wartości nominalnych.

Różnica Δ rzeczywistej i nominalnej wartości stosunku napięć jest bezwzględnym błędem IDN przy danym nastawieniu^{X)}.

$$\Delta = D - D_n \tag{2}$$

przy czym:

$$D = \frac{U_{wy}}{U_{we}}; \quad D_n = \frac{U_{wy,n}}{U_{we}}$$
(3)

Wektory napięć wejściowego U_{we} oraz nominalnego napięcia wyjściowego U_{wy,n} są w fazie, na-

x) Zgodnie z ogólną definicją [10] błąd ten nazywa się błędem wzorcowania IDN.



rowy napięć w nieob-

ciążonym IDN

tomiast wektor napięcia wyjściowego U_{wy} jest przesunięty o kąt z względem wektora U_{we}. Z tego powodu błąd Δ jest wielkością zespoloną. Graficzną interpretację przedstawia rys. 1. Wektor U_{wy} jest rozłożony na składowe rzeczywistą i urojoną względem wektora U_{we}.

W praktyce dokładność dzielników określa się za pomocą dwu parametrów [1, 3, 5, 8]:

$$\delta = \frac{|\mathbf{U}_{wy}|}{|\mathbf{U}_{we}|} - \frac{|\mathbf{U}_{wy,n}|}{|\mathbf{U}_{we}|}, \qquad (4)$$

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} \Delta U}{\operatorname{Re} U_{wy}}.$$
 (5)

Dalej parametr δ nazywany jest błężem modułowym, a parametr γ - błę-dem kątowym.

Kąt γ jest bardzo mały, np. przy częstotliwości f = 400 Hz, $\gamma < 1.10^{-5}$ rad, a błąd modułowy $\delta < 1.10^{-6}$ [7]. Przy tym warunku wyrażenia (4) i (5) można zastąpić wyrażeniami przybliżonymi:

$$\delta \approx \frac{\text{Re }\Delta U}{U_{\text{we}}}$$
 (6)

$$\mathfrak{F} \stackrel{\simeq}{=} \frac{\mathrm{Im} \ \Delta U}{\mathrm{D}_{\mathrm{n}} \ \mathrm{U_{we}}}$$
(7)

Podstawiając zależnośc. (3) do (2) i uwzględniając (6) oraz (7) otrzymuje się wyrażenie na bezwzględny błąd IDN:

$$\Delta \approx \delta + j D_{n} \gamma . \tag{8}$$

Błąd modułowy δ jest parametrem decydującym o klasie dzielnika, natomiast błąd kątowy γ ma zazwyczaj znaczenie drugorzędne. Wynika to z analizy zastosowań IDN w układach pomiarowych.

2. Schemat strukturalny źródeł błędów

Główne źródła błędów i ich powiązania strukturalne w wielodekadowym IDN przedstawione są na rys. 2. Zgodnie z wzorami (6) i (7) błędy modułowe o i kątowe z zależą od wypadkowego napięcia błędu ΔU (rys. 1), którego składniki występują we wszystkich dekadach dzielnika.

$$\Delta u = \sum_{i=1}^{M} \Delta_{i} u.$$
 (9)



Rys. 2. Schemat strukturalny źródeł błędów IDN

W wyrażeniu (9) $\Delta_i U$ jest napięciem błędu występującym między początkiem uzwojenia multifilarnego i-tej dokady a odczepem k_i. Zależność błędów wielodekadowego IDN od parametrów dekad wynikających z rozwiązania konstrukcyjnego jest w rzeczywistości bardzo złożona. W związku z tym na schemacie zaznaczono tylko te powiązania, które mają istotny wpływ na wartości błędów δ i γ . Struktura schematu jest dla wszystkich dekad jednakowa.

Wartość napięcia błędu $\Delta_1 U$ jest sumą składowych napięć błędu spowodowanych różnymi przyczynami:

$$\Delta_{i} U = \Delta_{i,a} U + \Delta_{i,b} U + \dots + \Delta_{i,g} U, \quad (10)$$

przy czym:

- △ U zależy od prądu stanu jałowego płynącego w uzwojeniach sekcji;
- ∆_{i,b} U zależy od prądu obciążenia wewnętrznego (POW) płynącego w uzwojeniach sekcji;
- Δ i,c U zależy od prądu spowodowanego dołączeniem niższych dekad,płynącego w uzwojeniach sekcji;
- Δ_{i,d} U zależy od zmiany napięcia wejściowego i-tej dekady w stosunku do wartości nominalnej w dzielniku nieobciążonym;
- Δ i.e U zależy od niejednorodności obwodu magnetycznego dekady;
- Δ i, f U zależy od prądu obciążenia zewnętrznego dzielnika płynącego
 w uzwojeniach sekcji;
- Δ_{i,g} U zależy od zmiany napięcia wejściowego i-tej dekady spowodowanej przepływem prądu obciążenia zewnętrznego dzielnika w uzwojeniu i-1 dekady.

W celu określenia warunków zapewniających minimalne wartości ΔU wykonano analizę źródeł błędu IDN. Obliczono napięcie Δ_1 U w funkcji parametrów konstrukcyjnych dla dowolnie nastawionego stosunku napięć. Obliczenie wykonano dla dzielnika autotransformatorowego.

Składowe napięcia błędu obliczono z ogólnej zależności:

$$\Delta_{i,j} U(k_i) = U_{wy,i,j}(k_i) - 10^{-1} U_{we} k_i.$$
(11)

Założenie: j = a, b ... g.

W wyrażeniu (11) 10^{-1} U_{we} k_i jest nominalną wartością napięcia nastawionego na dekadzie i-tej, natomiast U_{wy,i,j}(k_i) jest obliczoną wartością napięcia na odczepie k_i, jeśli istniałaby tylko j-ta przyczyna błędu. Każde składowe napięcie błędu obliczone jest niezależnie od pozostałych, ponieważ ich wzajemne oddziaływania są znikomo małe. Szczegółowe

wnioski konstrukcyjne wynikające z równań składowych napięć podane są w rozdziale 8.

3. Wpływ pradu stanu jałowego

Prąd stanu jałowego i-tej dekady powoduje wystąpienie składowych napięć błędu, które oznaczono przez $\Delta_{1,a}$ U oraz $\Delta_{i,e}$ U.Na podstawie prac [3, 6] jest:

$$\Delta_{\mathbf{i},\mathbf{a}} \mathbf{U}(\mathbf{k}_{\mathbf{i}}) = \sum_{m=0}^{\mathbf{k}_{\mathbf{i}}} \left[\left(\frac{\Delta \mathbf{1}_{m}}{\mathbf{L}} + \frac{\Delta \mathbf{r}_{m}}{\mathbf{R}_{p_{e}}} \right) + j \left(\frac{\omega \Delta \mathbf{1}_{m}}{\mathbf{R}_{p_{e}}} - \frac{\Delta \mathbf{r}_{m}}{\omega \mathbf{L}} \right) \right] \mathbf{10^{-i+1}} \mathbf{U}_{we}, \quad (12)$$

$$\Delta_{\mathbf{i},\mathbf{e}} \mathbf{U}(\mathbf{k}_{\mathbf{i}}) = \sum_{m=0}^{\mathbf{k}_{\mathbf{i}}} \left\{ \left[\frac{\mathbf{k}_{\mathbf{1}} \Delta \mathbf{L}_{m}}{\mathbf{L}} + \frac{(\mathbf{1-k}_{\mathbf{1}}) \Delta \mathbf{R}_{m}}{\mathbf{R}_{p_{e}}} \right] - j \left[\frac{\mathbf{k}_{\mathbf{1}} \omega \Delta \mathbf{L}_{m}}{\mathbf{R}_{p_{e}}} - \frac{(\mathbf{1-k}_{\mathbf{1}}) \Delta \mathbf{R}_{m}}{\omega \mathbf{L}} \right] \right\} \mathbf{10^{-i+1}} \mathbf{U}_{we}, \quad (12)$$

przy czym:

$$\Delta l_{m} = l_{m} - l \qquad \Delta r_{m} = r_{m} - r$$

$$l = \frac{1}{10} \sum_{m=1}^{10} l_{m} \qquad r = \frac{1}{10} \sum_{m=1}^{10} r_{m}$$

$$\Delta l_{m} = l_{m} - l \qquad \Delta R_{m} = R_{m} - R_{Fe}$$

$$l = \frac{1}{10} \sum_{m=1}^{10} l_{m} \qquad R_{Fe} = \frac{1}{10} \sum_{m=1}^{10} R_{m}$$

$$k_1 = \frac{R_{Fe}^2}{R_{Fe}^2 + \omega^2 L^2}$$

Ze wzorów (12) i (13) wynika, że aby napięcia Δ_{ia}^{U} oraz Δ_{ie}^{U} miały wartości minimalne należy wykonać uzwojenie o wyrównanych parametrach wszystkich sekcji. Indukcyjność uzwojenia L i zastępcza rezystancja strat $R_{\rm Fe}$ w obwodzie magnetycznym powinny być możliwie duże, czyli prąd stanu jałowego powinien być jak najmniejszy.

4. Wpływ prądu stanu jałowego

Prąd obciążenia wewnętrznego zależy od admitancji rozłożonych w uzwojeniu oraz między uzwojeniem a ekranem ekwipotencjalnym.Gęstość POW wzdłuż uzwojenia nie jest jednakowa. Jest to bezpośrednia przyczyna powstania składowych napięć błędu oznaczonych przez $\Delta_{i,b}$ U.

W kilku publikacjach [2, 3, 5, 9] analizowany był wpływ POW na błędy IDN, ale przy założeniu, że admitancje uzwojenia do rdzenia i ekranów ekwipotencjalnych są pomijalnie małe. Jeśli uwzględni się także admitancje rozłożone między uzwojeniem a ekranem ekwipotencjalnym, to zależność na błąd $\Delta_{i,b}$ U ma postać [7]:

$$\Delta_{i,b} U(k_i) = \frac{k_i}{12} (10 - k_i) (10 - 2k_i) \left[10(g_1 + j\omega c_1) + (g_2 + j\omega c_2) \right] (r + j\omega l) 10^{-1} U_{we}.$$
(14)



Rys. 3. Wykres napięć błędów $\Delta_{i-b} U(k_i)$

Wykres napięć błędów $\Delta_{i,b}$ U(k_i) wg wzoru (14) przedstawiono na rys. 3. W celu uzyskania małych wartości $\Delta_{i,b}$ U należy dążyć do zmniejszenia wartości parametrów c₁, g₁, c₂, g₂, r oraz 1.

5. Wpływ prądu obciążenia niższymi dekadami

W wielodekadowym IDN nieobciążonym impedancją zewnętrzną i-ta dekada (i = 1,2...M-1) jest obciążona impedancją wejściową Z_b niższych dekad. Prąd obciążenia I_b i-tej dekady zależy od prądu stanu jałowego oraz POW niższych dekad (rys. 4).

Uwzględniając nominalną wartość napięcia wejściowego (i + 1) dekady równą 10⁻¹ U_{we}, oblicza się:

$$I_{b} = 10^{-1} \frac{U_{we}}{Z_{b}}.$$

26

(15)



Rys. 4. Rozpływ prądu I. w uzwojeniu autotransformatorowym i-tej dekady

Jeśli impedancje rozproszenia uzwojeń wszystkich sekcji są jednakowe to spadek napięcia na całym uzwojeniu autotransformatorowym wywołany przepływem prądu I_b wynosi O. W tym przypadku spadek napięcia na części uzwojenia między odczepami O oraz k_i jest napięciem błędu $\Delta_{i,c}$ U(k_i). Uwzględniając wzór (15) oblicza się:

$$\Delta_{i,c} U(k_i) = k_i 10^{-i-1} (r+j\omega l) \frac{U_{we}}{Z_b}$$
(16)

Aby składowe napięcie błędu $\Delta_{i,c} U(k_i)$ było minimalne należy wykonać uzwojenia o małych wartościach rezystancji i induk-

cyjności rozproszenia. Impedancja wejściowa niższych dekad powinna być jak największa.

6. Wpływ zmiany napiecia wejściowego i-tej dekady

W wielodekadowym IDN napięcie na uzwojeniu pierwszej dekady jest napięciem wejściowym dzielnika U_{we}. Napięcie wejściowe każdej niższej dekady (i > 1) U_{we,i} różni się od wartości nominalnej U_{we,i,n} = 10^{-i+1} U_{we} o wartość $\Delta U_{we,i}$, która jest nazwana zmianą napięcia wejściowego i-tej dekady (rys. 5).

Są dwie główne przyczyny wystąpienia napięcia Uwe,i w dzielniku nieobciążonym:

- niejednakowa gęstość POW I_w oraz prądu I_{b1} wzdłuż uzwojenia multifilarnego (i - 1) dekady,
- przepływ prądu I_{b1} przez impedancje 2Z_p styków i połączeń dekad (i-1) oraz i [4].

Prąd stanu jałowego dekady (i - 1) nie ma praktycznie wpływu na wartość $\Delta U_{we,i}$ ponieważ powoduje on jednakowe spadki napięcia na uzwojeniach wszystkich sekcji. Pominięto również bardzo mały wpływ zmian napięcia wejściowego dekad wyższych na wartość $\Delta U_{we,i}$. W pracy [7] wykazano, że spadek napięcia na całym uzwojeniu (i - 1) dekady spowodowany przepływem prądów I_w oraz I wynosi 0, czyli również średnia wartość spadku napięcia przypadająca na jedną sekcję wynosi 0. Z tego powodu spadek napięcia na sekcji k_{i-1} + 1 oraz na impedancji doprowadzeń 22_p jest równy zmianie napięcia wejściowego i-tej dekady $\Delta U_{we,i}$

$$\Delta U_{we,i} = \int_{k_{i-1}}^{k_{i-1}+1} \left[I_w(x) - 0,9 \ I_{b1} \right] (r+j\omega 1) \ dx - 2Z_p \ I_{b1}.$$
(17)



Rys. 5. Rozpły: prądów I_{b1} oraz I_w w uzwojeniu i - 1 dekady

Podstawiając do wzoru (17) funkcje gęstości POW określone w pracy [7] oraz wzór (15) dla dekady (i - 1) oblicza się składowe napięcie błędu $\Delta_{i,d}U(k_i)$:

$$\Delta_{i,d}U(k_i) = 0,1 k_i \Delta U_{we,i} + Z_p I_{b1}$$

Po obliczeniu:

$$\Delta_{i,d} \mathbf{U}(\mathbf{k}_{i}) = \mathbf{k}_{i} \ 10^{-i} \left\{ \left[6 - 0, 5(9 - \mathbf{k}_{i-1}) \mathbf{k}_{i-1} \right] \left[10(g_{1} + \mathbf{j}\omega c_{1}) + (g_{2} + \mathbf{j}\omega c_{2}) \right] - \frac{9}{100Z_{b1}} - \frac{9}{100Z_{b1}} (\mathbf{r} + \mathbf{j}\omega \mathbf{l}) \mathbf{U}_{we} + 10^{-i+1} (1 - 0, 2 \mathbf{k}_{i}) \frac{Z_{p}}{Z_{b1}} \mathbf{U}_{we} \right\}$$
(18)

7. Wpływ pradu obciążenia zewnętrznego dzielnika

W autotransformatorowym wielodekadowym IDN obciążonym impedancją zewnętrzną Z_o, prąd obci żenia:

$$I_{obc} = \frac{U_{we} D_n}{Z_o},$$
 (19)

Źródła błędów autotransformatorowych indukcyjnych

wywołuje w UM i-tej dekady przepływ prądów I₁; I₂; I₃, (rys.6).Prądy te obliczono przy założeniu, że prąd obciążenia nie zmienia strumieni w obwodach magnetycznych dzielnika. Założenie takie może być przyjęte, ponieważ rezystancje i indukcyjności rozproszenia są małe.



Rys. 6. Rozpływ prądu I dzielnika w uzwojeniu i-tej dekady

$$I_{1,i} = I_{obc} \sum_{m=1}^{M} 10^{i-m-1} k_m,$$
 (20)

$$I_{2,i} = I_{obc}(k_i - 9 \sum_{m=1}^{m} 10^{i-m-1} k_m),$$
 (21)

$$I_{3,1} = I_{obc}(-1 + \sum_{m=1}^{m} 10^{1-m-1} k_m).$$
 (22)

Wyodrębniono i obliczono dwa składowe napięcia błędu zależne od prądu obciążenia dzielnika, a mianowicie:

 napięcie Δ_{i f}U(k_i) równe spadkowi napięcia na części uzwojenia 0...k_i i-tej dekady:

$$\Delta_{i,f}U(k_{i}) = k_{i}(-1 + \sum_{m=1}^{M} 10^{i-m-1}k_{m})(r+j\omega 1) \frac{D_{n}U_{we}}{Z_{0}}, \quad (23)$$

- napięcie $\Delta_{i,g}$ U(k_i) (i > 1) zależne od zmiany napięcia wejściowego spowodowanej prądem I_{2,1-1}, który płynie w bocznikowanej sekcji (i - 1) dekady:

$$i,g^{U(k_{i})} = k_{i}(k_{i-1}-9\sum_{m=1}^{M} 10^{1-m-1}k_{m})(r+j\omega 1) \frac{D_{n}U_{we}}{100Z_{0}}.$$
 (24)

Napięcie błędu zależne od spadku napięcia na impedancjach połączeń dekad pominięto, ponieważ jest ono małe w porównaniu z $\Delta_{i,f}^{U(k_i)}$ oraz $\Delta_{i,g}^{U(k_i)}$.

8. Wnioski

- Składowe napięcia błędu i-tej dekady dzielnika nieobciążonego d U... ... D e^U maleją wykładniczo ze wzrostem numeru "i" dekady. Wynika stąd wniosek, że przy obliczaniu błędu dzielnika wielodekadowego wy- starczy uwzględnić tylko napięcia błędu wnoszone przez dwie najwyższe dekady.
- 2. Nie można teoretycznie określić nastawienia, przy którym wystąpi maksymalna wartość napięcia błędu Δ_1 U, ponieważ poszczególne składniki tego napięcia są różnymi funkcjami nastawienia i parametrów dzielnika. Dla poszczególnych składowych napięć błędów ustalono następujące zależności:
 - a) napięcia Δ_{i,a} U (12) oraz Δ_{i,e} U (13) zależą od rozrzutu parametrów r, l, L, R_{Fe} poszczególnych sekcji. W różnych UM napięcia te mogą mieć wartości elstremalne na różnych odczepach;
 - b) napięcie Δ_{1,b}U (14) ma na odczepach wszystkich UM jednakowy rozkład (rys. 3) i osiąga wartości ekstremalne dla k = 2 oraz k = 8. Napięcia Δ_{1,b}U są zwykle zmniejszane przez dołączenie admitancji korekcyjnych [2, 7]. Pozostałe nieskompensowane reszty tych napięć na odczepach różnych UM mają wartości przypadkowe;
 - c) napięcia Δ_{i,c} U (16) oraz Δ_{i,d} U (18) zależą liniowo od numeru nastawionego odczepu i przyjmują wartości ekstremalne dla k, = 9.
- 3. Składowe napięcia błędu Δ , U (23) oraz Δ . U (24) zależą od obciążenia zewnętrznego dzielnika i są proporcjonalne do numeru nastawionego odczepu k_i. Napięcia te nie maleją ze wzrostem numeru "i" dekady. W związku z tym przy obliczaniu napięcia błędu ΔU dzielnika należy uwzględnić napięcia $\Delta_{i,f}U$ oraz $\Delta_{i,g}U$ wszystkich dekad, ponieważ mogą one być tego samego rzędu.
- Wielodekadowy IDN.powinien być tak zaprojektowany i wykonany, by wszystkie składowe .apięcia błędów miały wartości minimalne.

W tablicy 1 zestawiolo warunki minimalizacji sładowych napięć błędów określone na podstawie równań (12), (13), (14), (16), (18), (23), (24).

Źródła błędów autotransformatorowych indukcyjnych...

	Warunki minimalizacji	∆ _{i a} u	∆ _{1,b} U	∆ i,c ^U	Δ _{i,d} U	Δ _{i,e} u	$^{\Delta} _{i,f} U$	∆ _i g ^U
		2	3	4	5	6		8
1	Małe wartości parametrów r, l		x	x	x		x	ж
2	Małe wartości parametrów ^C 1, ^C 2, ^E 1, ^E 2		x		x			
3	Równe wartości parametrów r, l wszystkich sekcji w dekadzie	x	_		-			
4	Duże wartości L i R _{Fe} każdej dekady	x		x	x	x		
5	Mała niejednorodność wła- ściwości magnetycznych wzdłuż obwodu rdzenia					х		
6	Mała wartość impedancji połączeń dekad i styków przełączników				x			x
7	Dołączenie admitancji korekcyjnych		x					
8	Duża wartość impedancji obciążenia zewnętrznego						x	x

Tablica 1

Spełnienie warunków minimalizacji zależy od doboru parametrów konstrukcyjnych dzielnika. Można je podzielić na trzy grupy:

- parametry, od których zależy tylko jeden warunek minimalizacji,
- parametry, od których zależą dwa lub więcej warunków minimalizacji, ale warunki te są niesprzeczne,
- parametry, od których zależą dwa lub więcej warunków minimalizacji, ale warunki te są sprzeczne. Do tej grupy parametrów należą wymiary obwodu magnetycznego, średnica drutu, stopień skręcenia przewodu multifilarnego oraz długość i liczba zwojów [6, 7].

W tablicy 2 zestawiono ważniejsze parametry konstrukcyjne, które należy uwzględnić przy projektowaniu dzielnika. Wartości parametrów lub właściwości, które są wynikiem kompromisu oznaczono gwiazdką.

T. Skubis

Tablica 2

Lp.	Parametr konstrukcyjny	Wartość lub właściwość pożądana	Nr waranku minimaliza- cji wg tabl.1		
1	2	3	4	5	
1	Typ uzwojenia	*	multifil.	1, 2, 3	
2	Typ rdzenia	toroidalny	toroidalny	1, 3, 4, 5	
3	Srednica drutu	*	0,45-0,6 mm	1, 2	
4	Konduktywność drutu	duża	dla Cu		
			58,5 <u>m</u> <u>Rm</u> ²	1	
5	Długość zwojów	jednakowe, ma≵e	- 80100mm	3 1, 2, 4	
6	Liczba zwojów	mała	101000 na dekadę	1, 2, 4	
7	Skręcenie przewodu mul- tifilarnego	*	1 skręt na 1 cm	1, 2	
8	Konduktywność izolacji drutu	mała	$\sim 10^{-15} \frac{\text{S}}{\text{cm}}$	2	
9	Przenikalność elektrycz- na izolacji drutu	mała	~3	2	
10	Grubość izolacji drutu	*	0,032 0,048 mm	1, 2	
11	Wymiary rdzenia	*	obliczane	1, 4	
12	Przenikalność magnetyczna rdzenia	duża	$\mu_{max} = 2 \times 10^5$ $\mu_p = 80000$ przy f=0	1, 4	
13	Stratność rdzenia	mała	10mW/kg przy 50Hz i B=0,5 T	4	
14	Grubość taśmy rdzenia	mała	0,05 0,10 mm	4, 5	
15	Połączenia międzydekadowe	krótkie, grube		6	
16	Przełączniki	mała rezy- stancja styków	rezystancja ok. 2 mΩ /styk	6	

Ważniejsze oznaczenia

c1	 średnia wartość pojemności między dwiema dowolnymi sekcjami UM;
c2	- średnia wartość pojemności między dowolną sekcją UM a ekranem;
Dn	- nominalna wartość nastawionego stosunku;
g1	- średnia wartość konduktancji między dwiema dowolnymi sekcjami UM;
82	- średnia wartość konduktancji między dowolną sekcją UM a ekranem;
i	- wskaźnik oznaczający numer dekady;
I _b	- prąd zależny od impedancji wejściowej niższych dekad;

Źródła błędów autotransformatorowych indukcyjnych ...

Iobc	_	prąd obciążenia dzielnika;
k,	-	k-ty odczep na uzwojeniu dekady i-tej;
1	-	średnia wartość indukcyjności rozproszenia jednej sekcji;
1	_	indukcyjność rozproszenia sekcji m;
L	-	średnia wartość całkowitej indukcyjności uzwojenia dla jednej sek-
		cji;
L_	-	całkowita indukcyjność uzwojenia sekcji m;
r	-	średnia wartość rezystancji uzwojenia jednej sekcji,
r_	-	rezystancja uzwojenia sekcji m;
R		zastępcza rezystancja strat w rdzeniu dla uzwojenia sekcji m;
U	-	napięcie wejściowe dzielnika;
U	-	napięcie wyjściowe dzielnika;
Uwy.n	-	nominalne napięcie wyjściowe;
Zh	-	impedancja wejściowa niższych dekad;
Zohc	-	impedancja obciążenia dzielnika;
4	-	impedancja połączenia dekady i oraz i - 1;
δ	-	błąd modułu;
Δ	-	bezwzględny zespolony błąd wzorcowania IDN
ΔU	**	napięcie błędu wielodekadowego IDN;
Δ _t υ	-	całkowite napięcie błędu i-tej dekady;
	J –	składowe napięcie błędu i-tej dekady j = a,bg;
5	-	błąd kątowy.

RECENZENT:

doc. dr hab. Ryszard Gotszalk (Politechnika Wrocławska)

LITERATURA

- Bajkow W.M. Analiz pogriesznostiej transformatornych dielitielej napriażenija. Trudy Metr. Inst. ZSRR, wyd. 98/158, 1968.
- [2] Deacon T.A. Internal Admittance Loading in Inductive Voltage Dividers With Cable Type Winding. NPL Report DES 17, Nov. 1972.
- [3] Hill J.J., Deacon T.A. Theory, design and measurement of inductive voltage dividers. Proc. of the IEE, Vol. 115, nr 5, May 1968.
- [4] Jaskulski J.: Możliwości budowy dwurdzeniowych indukcyjnych dzielników napięcia i ich zastosowania na przykładzie mostka Thomsona. Rozprawa doktorska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1975.
- [5] Roždiestwienskaja T.B., Bajkow B.M.: Analiz pogriesznosti transformatornogo dielitiela naprażenija ot parazitnych utieczek mieżdu sekcjami. Metrologia 1973, nr 6.

- [6] Skubis T.: Dobór rdzeni ferromagnetycznych do indukcyjnych dzielników napięcia. Zeszyty Naukowe Politechniki Sląskiej. Elektryka z. 48 Gliwice 1975.
- [7] Skubis T.: Opracowanie konstrukcji i technologii wzorcowych wielodekadowych indukcyjnych dzielników napięcia. Rozprawa doktorska Politechniki Śląskiej, Gliwice 1975.
- [8] Zapf T.L.: The accurate measurement of voltage ratios of inductive voltage dividers. ACTA IMEKO 1964, t. 3, t. 4.
- [9] Zapf T.L., Chinburg C.M., Wolf M.: Inductive voltage dividers with calculable relative corrections. IEEE Trans. on Instr. and Meas, Sept. 1963, vol. IM-12, nr 2.
- [10] PN-71/N-02050 Metrologia. Nazwy i określenia.

ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ АВТОТРАНСФОРМАТОРНЫХ ИНДУКТИВНЫХ ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Резюме

Определена абсолютная погрешность индуктивного делителя напряжения и выделены её компоненты: амплитудная и фазовая погрешность.Представлена структурная схема источников погрешностей и определены составляющие напряжения погрешностей. Определены общие условия минимализации погрешностей и оптимальные значения конструктивных и материальных параметров индуктивных делителей напряжения.

THE SOURCES OF ERRORS OF AUTO-TRANSFORMER INDUCTIVE VOLTAGE DIVIDERS

Summary:

The absolute error of inductive voltage divider has been defined. Two components of this error, in-phase error and quadrature error, have been identified. The structural schematic diagram of the sources of error has been shown and the equations of voltage components of errors have been given. General conditions for the minimisation of errors have been found and the optimum values of construction and material parameters for inductive voltage divider have been determined.