

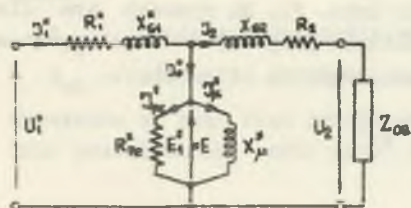
Lesław Zieleźnik

Instytut Metrologii
i Maszyn ElektrycznychANALIZA I KOMPENSACJA BŁĘDU PRZEKŁADNI
PRZEKŁADNIKA PRĄDOWEGO SZYNOWEGO

Streszczenie. Artykuł omawia analizę błędów przekładni i fazy przekładnika prądowego oraz wskazuje na niektóre sposoby kompensacji błędu przekładni. W części końcowej przedstawione jest pewne rozwiązanie oraz podane są wyniki pomiarów.

Przekładnik prądowy obarczony jest błędem przekładni i fazy wynikającym między innymi z istnienia prądu magnesującego. W przekładniku prądowym idealnym impedancja gałęzi poprzecznej dąży do nieskończoności. Przyczyną błędów przekładnika prądowego rzeczywistego jest więc skończona wartość składników impedancji gałęzi poprzecznej. Na tej podstawie przeprowadzono analizę błędu przekładni przekładnika prądowego, zakończoną zależnością określającą wpływ poszczególnych elementów schematu zastępczego na wartość błędu. W dyskusji wyprowadzonej zależności wskazano na sposoby

uzyskania małych błędów w przekładniku bez zastosowania dodatkowej kompensacji. Następnie omówiono kształtowanie charakterystyki błędu przekładni przekładnika w takim kierunku, aby kompensacja błędu nie sprawiała specjalnych trudności. W dalszej części artykułu przeanalizowano szczegółowo metodę kompensacji błędu przekładni: ułamkową poprawkę zwojową - podano zależności ob-



Rys. 1

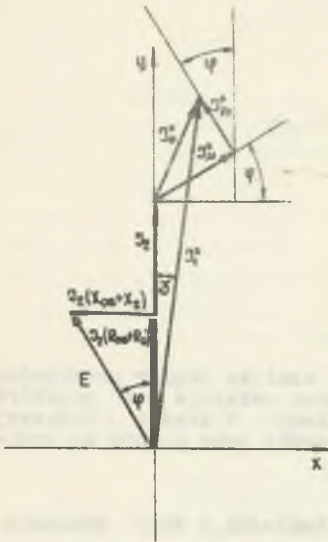
liczeniowe. Wyprowadzone wzory praktycznie sprawdzono podczas konstrukcji przekładnika prądowego szynowego.

1. Analiza błędu przekładni przekładnika prądowego

Analizę błędu przekładnika przeprowadza się w oparciu o schemat zastępczy przekładnika sprowadzony do strony wtórnej (rys. 1) i odpowiadający

mu wykres wskazowy (rys. 2). Błąd przekładni przekładnika definiuje się jako stosunek wartości skutecznej prądu I_0 poprzecznej gałęzi przekładnika, do prądu pierwotnego sprowadzonego do strony wtórnej I_1'' :

$$\Delta_i = \frac{|I_0|}{|I_1''|} \quad (1)$$



Rys. 2

Przekładnik prądowy idealny tym różni się od rzeczywistego, że jego schemat zastępczy nie zawiera gałęzi poprzecznej lub impedancja gałęzi poprzecznej przekładnika prądowego idealnego dąży do nieskończoności. Zgodnie więc z zależnością (1) błąd przekładnika prądowego idealnego równy jest zero dla dowolnej wartości obciążenia. Wynika to ze schematu zastępczego przekładnika idealnego zasilanego źródłem prądowym. Również dla przekładnika rzeczywistego można przyjąć wymuszenie, czyli zasilanie ze źródła prądowego, gdyż przekładnik jako

odbiornik niewielkiej mocy nie wpływa na rozpięt prądów w sieci.

Analizę błędu przekładni przekładnika prądowego rzeczywistego przeprowadzono w celu określenia wpływu poszczególnych elementów schematu zastępczego na wartość błędu. Okazuje się, iż obliczenie błędu na drodze analitycznej zawodzi, gdyż otrzymane zależności są bardzo rozbudowane, a więc utrudniają wyciągnięcie praktycznych wniosków. Znacznie wygodniej jest posłużyć się wykresem wskazowym przekładnika (rys. 2). Na rysunku tym dla lepszej przejrzystości nie zachowano właściwych proporcji. Prąd I_0 można przedstawić jako sumę wektorową rzutów tego prądu na osie x i y:

$$I_0 = I_{0x} + j I_{0y},$$

gdzie

$$I_{0x} = \operatorname{Re} (I_{\mu}'') - \operatorname{Re} (I_{pe}'') \quad (3)$$

$$I_{0y} = \operatorname{Im} (I_{\mu}'') + \operatorname{Im} (I_{pe}'') \quad (4)$$

Na podstawie rys. 2 oraz zależności (1) można napisać następujące wyrażenie na błąd przekładni:

$$\Delta_i = \frac{|I_2| - |I_1''|}{|I_1''|} \quad (5)$$

W spotykanych przekładnikach prądowych prąd I_o jest rzędu 1-3% prądu pierwotnego, dlatego też z wystarczająco bliskim przybliżeniem można przyjąć, iż wektory prądów I_2 oraz I_1'' są równoległe. Na tej podstawie błąd przekładni:

$$\Delta_i = - \frac{|I_{oy}|}{|I_1''|} \quad (6)$$

Z rysunku 2 oblicza się poszczególne składniki I_{oy} :

$$\text{Im}(I_\mu'') = |I_\mu''| \cdot \sin \phi = \frac{|E|}{X_\mu} \sin \phi \quad (7)$$

$$\text{Im}(I_{Fe}'') = |I_{Fe}''| \cdot \cos \phi = \frac{|E|}{R_{Fe}} \cos \phi \quad (8)$$

Ponieważ

$$|E| = |I_2| \cdot |Z|$$

oraz przyjmując $I_2 = I_1''$ (z błędem nie przekraczającym 3%) otrzymuje się

$$\Delta_i = - \left(|Z| \sin \phi \frac{1}{X_\mu} + |Z| \cos \phi \frac{1}{R_{Fe}} \right). \quad (9)$$

W wyrażeniu (9) oraz na rys. 2 wprowadzono impedancję strony wtórnej przekładnika:

$$Z = Z_2 + Z_{OB} = (R_2 + R_{OB}) + j (X_{s2} + X_{OB}),$$

gdzie

Z_2 - impedancja uzwojenia wtórnego przekładnika

Z_{OB} - impedancja obciążenia przekładnika.

Wyrażenie na błąd fazy przekładnika otrzymuje się w podobny sposób. Błąd fazy przekładnika, czyli kąt δ (rys. 2) przyjmuje wartość rzędu 1° , stąd:

$$\delta = \frac{I_{ox}}{I_{oy}}$$

Obliczając podobnie jak uprzednio otrzymuje się zależność na błąd fazy przekładnika:

$$\delta = |Z| \cos \phi \frac{1}{X_\mu} - |Z| \sin \phi \frac{1}{R_{Fe}}. \quad (10)$$

Wyprowadzone wzory na błąd przekładni i fazy zależą od tych samych elementów schematu zastępczego, dlatego też przedyskutowano jedynie wzór na błąd przekładni.

Dla danego obciążenia zależność (9) można zapisać następująco:

$$\Delta_1 = - \left(c_1 \frac{1}{X_\mu} + c_2 \frac{1}{R_{Fe}} \right), \quad (11)$$

gdzie

$$c_1 = |Z| \sin \phi$$

$$c_2 = |Z| \cos \phi$$

Wzór (11) wskazuje na to, iż błąd przekładni jest wynikiem skończonej wartości składników impedancji gałęzi poprzecznej. Dla nieskończonej wielkiej impedancji gałęzi poprzecznej, jak w przekładniku idealnym, błąd przekładni niezależnie od wartości obciążenia równy jest zero.

Błąd przekładni można rozpatrywać jako sumę błędów. Błąd przekładni, nazwijmy go Δ_x , wynikający ze skończonej wartości reaktancji X_μ'' wynosi

$$\Delta_x = c_1 \frac{1}{X_\mu} = c_1 \frac{l_{Fe}}{\omega z_2^2 \mu^2 S_{Fe}}. \quad (12)$$

Ponieważ dla danej przekładni ψ_n

$$z_2 = \psi_n \cdot z_1 = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \cdot z_1$$

więc po przekształceniu otrzymuje się:

$$\Delta_x = c_3 \frac{l_{Fe}}{\omega (I_{1n} z_1)^2 \mu^2 S_{Fe}}. \quad (12.1)$$

W wyrażeniu tym wprowadzono oznaczenia:

$c_3 = c_1 \cdot I_{2n}^2$ - stały współczynnik dla danego obciążenia i znamionowego prądu wtórnego,

S_{Fe} , l_{Fe} - przekrój i długość obwodu magnetycznego,

μ - przenikalność magnetyczna.

Błąd przekładni, nazwijmy go Δ_R , wynikający ze skończonej wartości R_{Fe}'' :

$$\Delta_R = c_2 \frac{1}{R_{Fe}} \quad (13)$$

Element R_{Fe}'' obrazuje straty ciepłne w rdzeniu przekładnika rzeczywistego, oblicza się ze wzoru:

$$R_{Fe}'' = \frac{E^2}{\Delta P_{Fe}} \quad (13.1)$$

E - napięcie w gałęzi poprzecznej przekładnika:

$$E = 4,44 z_2 f B_m S_{Fe}, \quad (13.2)$$

gdzie

B_m - maksymalna wartość indukcji w rdzeniu przekładnika

ΔP_{Fe} - moc strat w rdzeniu przekładnika:

$$\Delta P_{Fe} = p_1 B_m^2 \left(\frac{f}{50}\right)^k G_{Fe}, \quad (13.3)$$

gdzie

Δp_1 - stratność materiału magnetycznego

G_{Fe} - ciężar rdzenia ($G_{Fe} = d S_{Fe} l_{Fe}$)

k - współczynnik przyjmujący wartości $1\frac{1}{2}$.

Po podstawieniu (13.1), (13.2) i (13.3) do (13) i przekształceniu otrzymuje się:

$$\Delta_R = c_4 \frac{\Delta p_1 f^{k-2} l_{Fe}}{(I_{1n} z_1)^2 S_{Fe}}, \quad (14)$$

gdzie

$$c_4 = \frac{c_2 I_{2n}^2 d}{50^k 4,44^2} - \text{stały współczynnik dla danego obciążenia i znamionowego prądu wtórnego.}$$

Ostatecznie więc błąd przekładni przekładnika prądowego:

$$\Delta_i = - (c_3 \frac{l_{Fe}}{\omega (I_{1n} z_1)^2 \mu S_{Fe}} + c_4 \frac{\Delta p_1 f^{k-2} l_{Fe}}{(I_{1n} z_1)^2 S_{Fe}}) \quad (15)$$

gdzie

$$c_3 = |Z| \sin \phi I_{2n}^2$$

$$c_4 = \frac{|Z| \cos \phi I_{2n}^2 d}{50^k 4,44^2},$$

Dyskusja zależności (15).

Wzór (15) nie podaje praktycznych zależności liczbowych, wskazuje jedynie na wpływ parametrów przekładnika na wartość błędów przekładni, co jest zupełnie wystarczające dla wstępnych obliczeń projektowych. Z zależności

tej można odczytać sposoby uzyskania małego błędu, jeśli nie stosuje się dodatkowych metod kompensacji. Najważniejsze z nich podano niżej.

1. Najsilniej na wielkość błędu przekładni wpływa iloczyn ($I_{1n} z_1$), najprościej też poprzez odpowiedni dobór amperozwojów pierwotnych można osiągnąć mały błąd. Wzór ten wskazuje również, iż w wypadku zastosowania przekładnika szynowego $z_1 = 1$ do pomiaru prądów rzędu 100 A uzyskanie małych błędów tym sposobem jest poważnie ograniczone.
2. Błąd zależny jest od takich pomiarów materiału, z którego wykonany jest rdzeń, jak:
 - a) stratność materiału Δp_1 ,
 - b) przenikalność magnetyczna rdzenia μ .
3. Stosując rdzeń o odpowiednich wymiarach geometrycznych, czyli małej długości obwodu magnetycznego l_{Fe} , a dużym przekroju S_{Fe} uzyskamy zmniejszenie błędów.
Jednakże zbytne powiększenie przekroju rdzenia pociąga za sobą pracę przy zmniejszonej przenikalności początkowej, co oczywiście nie daje oczekiwanego rezultatu.
4. Parametry obwodu zewnętrznego, tj. wielkość i charakter obciążenia wpływają na błąd w następujący sposób:
 - a) wzrost mocy pozornej obciążenia S_N powoduje proporcjonalne zwiększenie błędu.
 - b) wzrost kąta ϕ (obciążenie staje się o charakterze silnie indukcyjnym) zwiększa błąd przekładni, zmniejsza błąd fazy - na podstawie wykresu wskazowego rys. 2.

2. Kompensacja błędu przekładni przekładnika prądowego

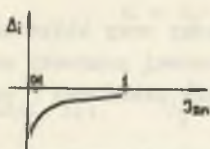
2.1. Kształtowanie charakterystyki błędu przekładni

Z zależności (15) wynika, że błąd przekładni ma wartość ujemną. Błąd ten jest nieliniową funkcją prądu (rys. 3) ze względu na zmienną wartość przenikalności magnetycznej μ w początkowej części charakterystyki magnesowania.

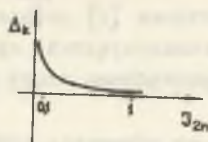
Dla przekładnika o charakterystyce jak na rys. 3 kompensacja powinna być również nieliniowa (rys. 4). Wtedy bowiem sumaryczny błąd przekładnika w funkcji prądu wtórnego I_2 :

$$\Delta(I_2) = \Delta_i(I_2) + \Delta_k(I_2) = 0$$

Ogólnie kompensacja będzie polegała na wytworzeniu dodatkowego strumienia sumującego się ze strumieniem głównym, który powinien zależeć od prądu przeciwnie niż strumień w początkowej części charakterystyki magnesowania. Można do celu wykorzystać również nieliniową charakterystykę materiału magnetycznego (rys. 5).

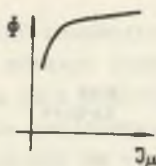


Rys. 3

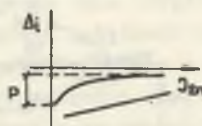


Rys. 4

Uzyskanie takiej charakterystyki kompensacyjnej nie jest łatwe, należy więc dążyć do tego, aby charakterystyka błędu przekładni była niezależna od prądu lub przynajmniej płaska, tj. o małym współczynniku p (rys. 6).



Rys. 5



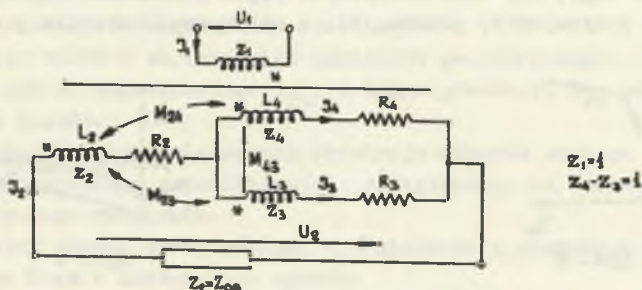
Rys. 6

Tak więc charakterystyka magnesowania rdzenia powinna wyróżniać się dużą przenikalnością początkową (charakterystyka może być nieliniowa, lecz o dużym nachyleniu, wtedy $\Delta_1(I_2)$ - płaska) lub przenikalność $\mu \approx \text{const}$ w początkowej części charakterystyki (nachylenie charakterystyki może być mniejsze, wtedy Δ_1 większe, ale $\Delta_1(I_2) \approx \text{const}$). Jeżeli nie posiadamy materiału magnetycznego o przenikalności $\mu \approx \text{const}$ w początkowej części charakterystyki, to wykorzystując jej środkową, liniową część uzyskamy również $\Delta_1(I_2) = \text{const}$. Charakterystyki błędów przekładni jak na rys. 6 dają się łatwo kompensować, wystarczy bowiem wytworzyć $\Delta_k(I_2) \approx \text{const}$. Uzyskamy to, jeśli np. wytworzymy dodatkowy strumień liniowo zależny od prądu I_2 . Jest to praktycznie najprostszy sposób kompensacji polegający na zmniejszeniu liczby zwojów uzwojenia wtórnego, względem liczby zwojów wynikającej z przekładni znamionowej, zwany poprawką zwojową. Sposób ten zawodzi w przypadku przekładników o niewielkiej liczbie zwojów uzwojenia wtórnego, a wyższej klasie dokładności, wtedy bowiem poprawka byłaby za duża. Zachodzi wtedy konieczność zastosowania ułamkowej poprawki zwojowej, co zostanie omówione niżej. Wygodnie jest łączyć dwa sposoby kompensacji, a więc dążyć do uzyskania możliwie płaskiej charakterystyki błędów przekładni, mieszczącej się w zakresie zmienności żądanej klasy dokładności i przesuwając tak ukształtowaną charakterystykę "w górę", stosując poprawkę zwojową.

2.2. Ułamkowa poprawka zwojowa

W literaturze [2] podano uproszczony, wyprowadzony przy kilku przybliżeniach upraszczających, sposób na obliczenie ułamkowej poprawki zwojowej. Poniżej wyprowadzono wzory pozwalające na obliczenie ułamkowej poprawki zwojowej.

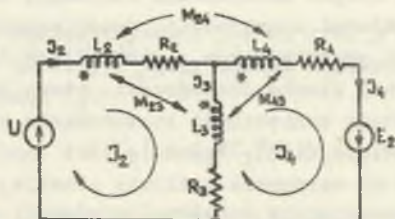
W tym celu na schemacie zastępczym uzwojeń z zastosowaną poprawką zwojową zaznaczono indukcyjności i rezystancje uzwojeń oraz sprzężenia indukcyjne między uzwojeniami (rys. 7). Na rysunku tym zastosowano następujące oznaczenia:



Rys. 7

- z_1 - liczba zwojów uzwojenia pierwotnego,
- z_2, z_3, z_4 - liczby zwojów uzwojenia wtórnego,
- $L_{2,3,4}$ - współczynniki indukcji własnej uzwojeń,
- $R_{2,3,4}$ - rezystancje uzwojeń,
- $M_{24,43,23}$ - współczynniki indukcji wzajemnej.

Schemat będzie bardziej przejrzysty przy układaniu równań oczkowych, jeśli przekształcimy go do postaci jak na rys. 8.



Rys. 8

SEM: U i E_2 powstały po zgrupowaniu następujących napięć występujących w poszczególnych gałęziach układu:

$$U = E_2 - U_2 + E_3; \quad E_z = E_4 - E_3,$$

gdzie

$$E_2 = j\omega M_2 I_1; \quad U_2 = I_2 Z_2; \quad E_3 = j\omega M_3 I_1; \quad E_4 = j\omega M_4 I_1$$

$$M_2 = z_2 z_1 \Lambda_m; \quad M_4 = z_4 z_1 \Lambda_m; \quad M_3 = z_3 z_1 \Lambda_m; \quad z_1 = 1,$$

więc

$$U = -U_2 + j\omega I_1 (z_2 + z_3) \Lambda_m$$

$$E_z = j\omega I_1 (z_4 - z_3) \Lambda_m = j\omega \Lambda_m I_1 \text{ bo } (z_4 - z_3) = 1.$$

Współczynniki indukcyjności wzajemnej $M_{2,3,4}$ zapisano dla współczynnika sprzężenia równego jedności. Wprowadzono więc jedynie założenie upraszczające, jakim jest pominięcie strumienia rozproszenia. Założenie to dla przekładnika prądowego, szynowego, w przypadku równomiernego rozłożenia uzwojenia wtórnego na obwodzie rdzenia poczynione jest z wystarczająco bliskim przybliżeniem. Równania oczkowe:

$$U = [(R_2 + R_3) + j\omega (L_2 + L_3 + 2M_{23})] I_2 + [-R_3 + j\omega (-L_3 + M_{24} + M_{43} - M_{23})] I_4$$

$$E_z = [-R_3 + j\omega (-L_3 + M_{24} + M_{43} - M_{23})] I_2 + [(R_4 + R_3) + j\omega (L_4 + L_3 - 2M_{43})] I_4.$$

SEM; E_z działająca w zamkniętym oczku, jak już zapisano uprzednio wynosi

$$E_z = j\omega \Lambda_m I_1 = jXI_1$$

stąd

$$X = \frac{|E_z|}{|I_1|} = \frac{|E|}{(z_2 + z_4) |I_1|}.$$

Np. dla skonstruowanego przekładnika:

$$X (z_2 + z_4) = \frac{|E|}{|I_1|} = \frac{1 + 13A}{150A} = 0,0075\Omega; \text{ zaś } R = 0,04\Omega$$

Dlatego też z niezłym przybliżeniem można zapisać ostatecznie równanie oczkowe:

$$E_z = -R I_2 + 2R I_4 \tag{16}$$

gdzie

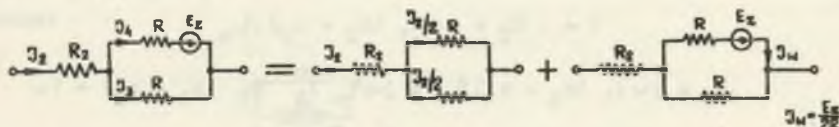
$$R = R_3 \approx R_4$$

Więc

$$I_4 = \frac{E_z}{2R} + \frac{I_2}{2}$$

$$I_3 = I_2 - I_4 = -\frac{I_2}{2} - \frac{E_z}{2R} \quad (17)$$

Interpretację fizyczną zależności (17) podaje rysunek 9.



Rys. 9

Prądy I_3 i I_4 zależą jedynie od rezystancji uzwojeń, również prąd I_w zależy od rezystancji uzwojeń połączonych równolegle. Prąd I_w powoduje zwiększenie przepływu w jednej i zmniejszenie przepływu w drugiej gałęzi, co w efekcie osłabia sumaryczny przepływ uzwojenia wtórnego oraz zwiększa wartość prądu wtórnego, tj. I_2 .

Zwiększenie prądu wtórnego o pewną wartość kompensuje stratę tego prądu wynikłą z istnienia prądu magnesującego. Zmianę sumarycznego przepływu uzwojenia wtórnego wykazuje się w oparciu o bilans przepływów. Bilans przepływów przed włączeniem uzwojenia kompensującego z_3 :

$$\theta_1 - \theta_0 = \theta_{wt}$$

$$\theta_{wt} = I_2 z_2 + I_4 z_4 = I_2 (z_2 + z_4)$$

Bilans przepływów po włączeniu uzwojenia z_3 :

$$\theta_1 - \theta_0 = \theta'_{wt}$$

$$\theta'_{wt} = I_2 z_2 + I_4 z_4 + I_3 z_3$$

Po przekształceniu:

$$\theta'_{wt} = I_2 (z_2 + z_4) - I_3, \quad (18)$$

Więc

$$\theta_{wt} > \theta'_{wt}.$$

Wyprowadzone zależności (17) i (18) wykorzystuje się do obliczenia ułamkowej poprawki zwojowej Δ_{kz} :

$$\Delta_{kz} = \frac{\psi_{isn} - \psi}{\psi} 100\%. \quad (19)$$

Przyjmując wartość prądu wtórnego $I_2 = I_{2n}$ i podstawiając do (18):

$$\theta'_{wt} = I_{2n} (z_2 + z_4) - I_3. \quad (20)$$

Wartość prądu I_3 oblicza się z (17):

$$I_3 = \frac{I_{2n}}{2} - \frac{E_z}{2R}. \quad (21)$$

Zakładając dla uproszczenia $\theta_0 = 0$:

$$\theta_1 = \theta'_{wt}$$

$$I_1 = I_{2n} (z_2 + z_4) - I_3 \quad (22)$$

$$\psi = \frac{|I_1|}{|I_{2n}|} \quad (23)$$

Obliczoną wartość przekładni ψ podstawia się do wyrażenia (19).

Zależność (18) wykorzystuje się dla oszacowania wielkości poprawki Δ_{kz} . Poprawka zwojowa Δ_{kz} rośnie, gdy maleje θ'_{wt} , co z kolei zachodzi, jeżeli wartość prądu I_3 wzrasta. Zgodnie z (17) prąd I_3 rośnie wtedy, gdy prąd wyrównawczy

$$I_w = \frac{E_z}{2R} \text{ maleje.}$$

Dla zadanej przekładni ψ_{izn} i dla zadanego obciążenia, na E_z nie mamy wpływu, jedynie zwiększając mianownik $2R$ można zmniejszyć wartość prądu wyrównawczego I_w . W praktyce osiągamy to zwiększając równocześnie z_4 i z_3 , gdyż musi być spełniony warunek: $z_4 - z_3 = 1$. Można również dla nawiniętego już uzwojenia wpływać na wartość Δ_{kz} :

- włączając w gałąź z_3 dodatkową rezystancję,
- zmieniając obciążenie przekładnika, ponieważ

$E \sim Z_{OB}$, stąd poprawka Δ_{kz} rośnie, gdy impedancja obciążenia Z_{OB} maleje.

Z zależności (19), (23) i (21) wynika, że wartość poprawki Δ_{kz} nie zależy od prądu pierwotnego, I_1 , czyli $\Delta_{kz} (I_1) = \text{const}$. Przedstawione rozwiązanie sprawdzono w praktyce podczas konstrukcji przekładnika o następujących danych:

$$KL \ 0,2; \quad z_1 = 1, \quad I_{1n} = 150, 300, 600, \quad 1200 \text{ A}, \quad S_N = 5VA$$

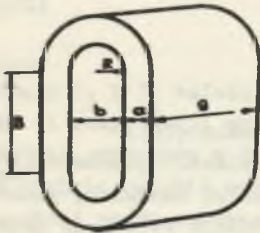
Krytyczne warunki występują jak to wynika ze wzoru (15) dla $I_{1n} = 150A$. Wymagana klasa niedokładności nie jest zbyt wysoka, zaś obciążenie stałe, dlatego zdecydowano się skonstruować przekładnik o względnie płaskiej charakterystyce błędu przekładni, którą dalej należy przesunąć "w górę", by

umieścić w zadanej klasie. W tym celu wybrano do budowy rdzenia anizoperm. Wartość względnej przenikalności magnetycznej dynamicznej w niektórych punktach charakterystyki magnesowania podaje tablica nr 1.

Tablica nr 1:

B_m [T]	10^{-2}	$4 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$
μ_{dyn}	17650	35300	47200

Stosunkowo niewielka zmiana przenikalności dynamicznej pozwala sądzić, iż charakterystyka błędu przekładni będzie na tyle płaska, by zmieścić się w obszarze wymaganej klasy niedokładności. Wymiary rdzenia dobrano tak, aby $B_{min} = 10^{-2} T$ dla $0,1 I_{1n}$. Zgodnie ze wzorem (15) przekrój S_{Fe} powinien być duży przy małej długości obwodu magnetycznego L_{Fe} , stąd optymalny kształt rdzenia dla przekładnika szynowego podaje rys. 10.



Rys. 10

Wymiary rdzenia:

$$B = 65 \text{ mm}$$

$$b = 25 \text{ mm}$$

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$R = 24 \text{ mm}$$

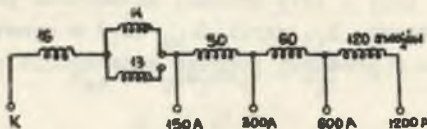
$$g = 100 \text{ mm}$$

$$l_{Fe\text{śr}} = 2B + 2\pi R = 28,1 \text{ cm}$$

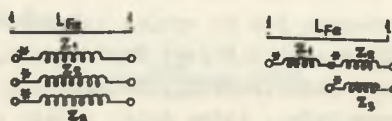
$$S_{Fe} = 0,9 g \cdot a = 18 \text{ cm}^2$$

Dla przekładni 150/5 i 300/5 zastosowano poprawkę zwojową. Schemat uzwojeń przekładnika zamieszczono na rys. 11. Uzwojenia należy nawinąć sposobami jak na rys. 12. Wynika to z warunku, aby w zamkniętym oczku łączonych równoległe uzwojeń z_2 i z_3 indukowała się SEM jednozwojowa E_2 .

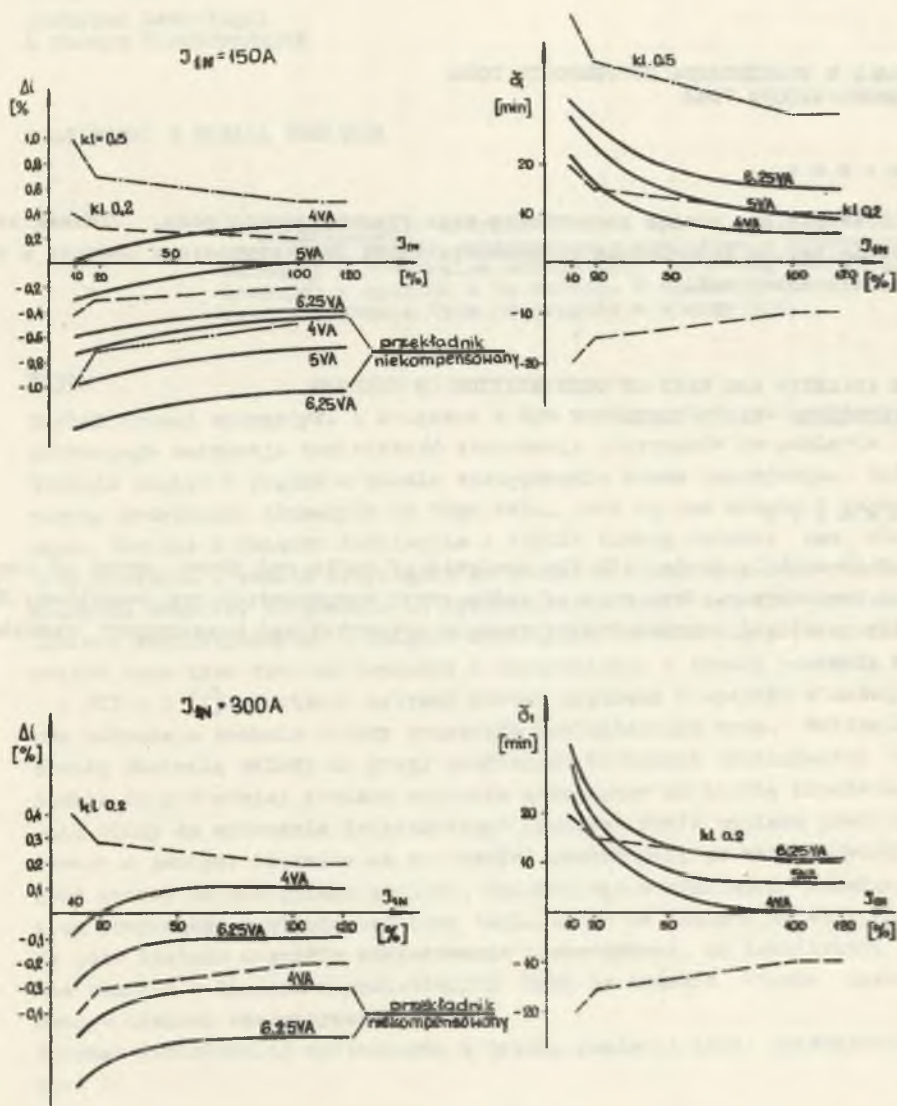
Przebieg charakterystyk błędu przekładni przekładnika bez kompensacji i z zastosowaną kompensacją podaje rys. 13.



Rys. 11



Rys. 12



Rys. 13. Charakterystyki błędu przekładni i fazy przekładnika prądowego szynowego

LITERATURA

1. Plamitzer A. - Maszyny elektryczne, WNT Warszawa, 1968
2. Starczakow W. - Przekładniki, WNT, Warszawa, 1959

АНАЛИЗ И КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ТОКА
ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

Резюме

В статье дан анализ погрешности тока трансформатора тока. Указаны некоторые методы компенсации погрешности тока. Даны конкретное решение и результаты измерений.

THE ANALYSIS AND WAYS OF COMPENSATION OF CURRENT
TRANSFORMER RATIO ERROR

Summary

This article deals with the analysis of ratio and phase error of current transformer. Some ways of ratio error compensation are described. Finally practical current transformer is presented and measurement results are given.