

Znamionowe prądy wtórne powinny mieć wartości: 5, 2 lub 1 A.

Przekładniki są budowane dla następujących mocy znamionowych: 2,5; 5; 10; 15; 30; 45; 60 i 90 VA przy współczynniku mocy 0,8 ind. Należy przy tym pamiętać, że z pojęciem mocy znamionowej przekładnika związana jest ściśle klasa dokładności. Wytwórca określa wartość mocy w danej klasie dokładności, przy czym ten sam przekładnik może mieć różne wartości mocy znamionowych w różnych klasach dokładności.

Norma PN-71/E-06552 zaleca następujące wartości znamionowych prądów szczytowych: 1; 2; 3,5; 4; 6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 kA oraz znamionowych prądów jednosekundowych: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 50; 63 kA.

1.2. Praca normalna przekładnika

Warunki pracy normalnej dotyczą przede wszystkim przekładników pomiarowych, gdyż w tym zakresie prądów tj. $(0,1 \div 1,2) I_n$ powinny one spełniać poprawnie swoją funkcję. Z analizy schematu zastępczego przekładnika (rys.1.1b) wynika, że bezbłędna transformacja jest niemożliwa i że źródłem błędu jest prąd magnesujący.

Dla scharakteryzowania błędu transformacji wprowadza się pojęcia błędu prądowego i kąтового.

Błąd prądowy ΔI jest określany wzorem:

$$\Delta I = \frac{I_2 \mathfrak{I}_n - I_1}{I_1} 100\% , \quad (1.1)$$

przy czym I_1 jest prądem pierwotnym, I_2 prądem wtórnym a $\mathfrak{I}_n^{x)}$ przekładnią znamionową przekładnika.

^{x)} W przybliżeniu można przyjąć, że:

$$\mathfrak{I}_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \approx \frac{z_2}{z_1}$$

gdzie z_1, z_2 - liczby zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego.

Ze wzoru (1.2) wynika, że dla obciążenia przekładnika o charakterze indukcyjnym (ψ_{ind}), kąt $\varphi < 90^\circ$, a błąd prądowy ma zawsze znak ujemny, przy czym może on być skompensowany dodatnią poprawką zwojową, która wyraża się wzorem:

$$\Delta I_z = \frac{\varphi_n z_1 - z_2}{\varphi_n z_1} 100\% . \quad (1.4)$$

Kompensacyjne działanie poprawki zwojowej można zilustrować prostym przykładem liczbowym. Przyjmijmy, że w przekładniku o przekładni znamionowej $\varphi_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \frac{800}{5} = 160$, zastosowano $z_1 = 1$ a $z_2 = 158$ (a nie 160 zwojów, jak wypada z przekładni znamionowej). Po podstawieniu do (1.4) otrzymuje się:

$$\Delta I_z = \frac{160 \cdot 1 - 158}{160 \cdot 1} 100\% = 1,25\% .$$

Ostatecznie więc można napisać, że błąd prądowy skompensowany będzie:

$$\Delta I_{skom} = \Delta I + \Delta I_z .$$

Wzór (1.3) wskazuje, że dla obciążeń indukcyjnych przekładnika, błąd kątowy ma zawsze znak dodatni, tzn., że wektor I_2 wyprzedza wektor I_1'' .

Jak wynika ze wzorów (1.2) i (1.3), błędy transformacji są zależne zarówno od wartości mierzonego prądu, jak również od obciążenia przekładnika, czyli impedancji przyłączonej do zacisków wtórnych. Do ustalenia tych zależności wygodnie jest założyć, że jedna z wymienionych wyżej zmiennych jest parametrem (stałym). Dlatego też analiza będzie przeprowadzona w dwóch etapach zmierzających do ustalenia:

$$a) \Delta I = f(I_2) \quad i \quad \delta_1 = f(I_2) \quad \text{przy } Z = \text{const},$$

$$b) \Delta I = f(Z) \quad i \quad \delta_1 = f(Z) \quad \text{przy } I_2 = \text{const}.$$

Zakłada się przy tym, że stałe są wszystkie parametry schematu zastępczego przekładnika z wyjątkiem reaktancji x_μ'' i rezystancji R_μ'' , zależnych od wartości indukcji magnetycznej w rdzeniu, a więc i od prądu magnesującego I_μ'' .

Ad.a) Dla ustalenia zależności błędów transformacji od prądu mierzonego niezbędne jest określenie związków pomiędzy prądami $I_{\mu b}''$ i $I_{\mu c}''$, występującymi we wzorach na błędy a prądem mierzonym I_2 .

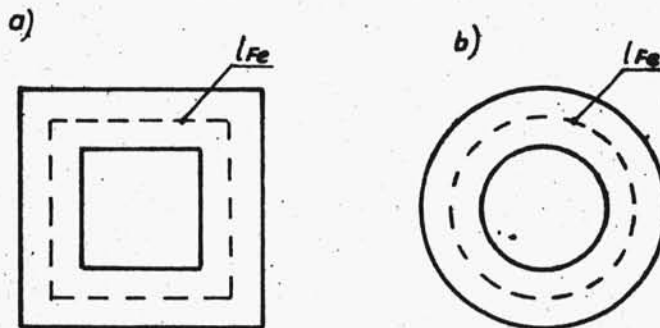
Przyjmując upraszczająco, że przebiegi prądów oraz indukcji magnetycznej są sinusoidalne, wartość prądu magnesującego $I_{\mu b}''$ jest związana z natężeniem pola magnetycznego w rdzeniu (H_{Fe}) prawem przepływu:

$$I_{\mu b}'' z_2 = H_{Fe} l_{Fe} , \quad (1.6)$$

przy czym:

l_{Fe} - średnia droga strumienia magnetycznego w rdzeniu przekładnika (rys.1.3).

Wzór (1.6) jest słuszny w założeniu, że przepływ strumienia magnetycznego występuje jedynie w żelazie rdzenia tj., że



Rys.1.3. Rysunek ilustrujący średnią drogę strumienia w rdzeniu a) rdzeń o kształcie prostokątnym b) rdzeń toroidalny

pomija się szczeliny powietrzne i związany z nimi spadek napięcia magnetycznego. Założenie takie jest z pewnością słuszne dla rdzeni toroidalnych.

Wykorzystując wyrażenie (1.6) i pamiętając, że $B = \mu H$ (μ - przenikalność magnetyczna rdzenia), otrzymuje się:

$$B = - \frac{I_{\mu b}'' z_2 \mu}{l_{Fe}} . \quad (1.7)$$

Napięcie U_{μ}'' (rys.1.2a), wywołane zmianami indukcji, jest równe spadkowi napięcia od prądu I_2 na całkowitej impedancji wtórnej przekładnika (Z_c):

$$U_{\mu}'' = I_2 Z_c .$$

Pamiętając o założeniu, że przebiegi B i U_{μ}'' są sinusoidalne, otrzymuje się:

$$U_{\mu}'' = 4,44 B S_{Fe} f z_2 = I_2 Z_c , \quad (1.8)$$

stąd:

$$I_2 = \frac{4,44 B S_{Fe} f z_2}{Z_c} . \quad (1.9)$$

Podstawiając wyrażenie (1.7) do (1.9) w założeniu, że $Z_c = \text{const}$; $S_{Fe} = \text{const}$, $f = \text{const}$ i $z_2 = \text{const}$, $l_{Fe} = \text{const}$, otrzymuje się:

$$I_{\mu b}'' = k_1 \frac{I_2}{\mu} , \quad (1.10)$$

gdzie:

k_1 - stała.

Składowa czynna prądu magnesującego $I_{\mu c}''$ jest związana ze stratami mocy czynnej w rdzeniu (ΔP_{Fe}) wywołanymi prądami wirowymi i histerezą, daje się wyrazić wzorem:

$$I_{\mu c}'' = \frac{\Delta P_{Fe}}{\mu} . \quad (1.11)$$

Przyjmując, że dla danego gatunku blachy rdzenia:

$$\Delta P_{Fe} = k_2 B^2$$

oraz podstawiając (1.8) do (1.11), otrzymuje się po przekształceniach:

$$I_{\mu c}'' = k_3 I_2 . \quad (1.12)$$

(k_3 - stała).

Po podstawieniu (1.10) i (1.12) do (1.2), przyjmując ponadto, że $\psi = \text{const}$, otrzymujemy:

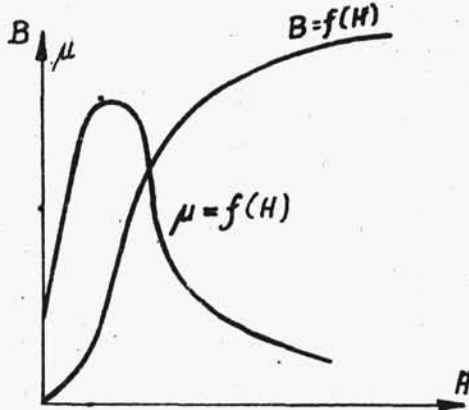
$$\Delta I = -\frac{A}{\mu} - B , \quad (1.13)$$

gdzie:

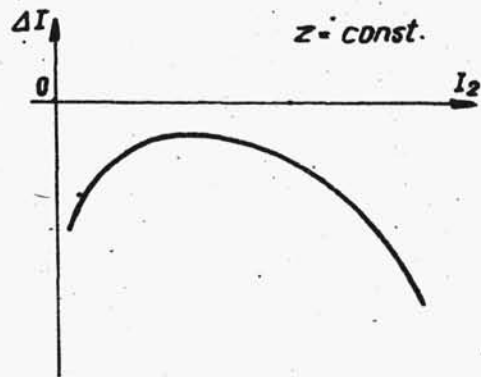
A, B - stałe dla danego przekładnika.

Dla określenia zależności błędu ΔI od prądu mierzonego niezbędna jest znajomość $\mu = f(I_2)$.

Na rys.1.4 przedstawiono przykładową charakterystykę magnesowania $B = f(H)$ oraz odpowiadający jej przebieg $\mu = f(H)$, który osiąga maksimum w miejscu przecięcia krzywej magnesowa-



Rys.1.4. Charakterystyka magnesowania rdzenia



Rys.1.5. Zależność $\Delta I = f(I_2)$ przy $Z = \text{const}$

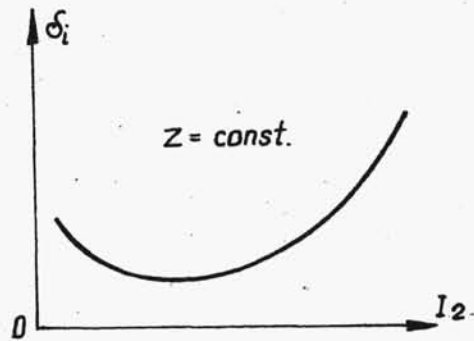
nia. Pamiętając, że w miarę wzrostu prądu mierzonego I_2 (lub I_1) przesuwamy się w prawo na osi odciętych (H), otrzymuje się zależność $\Delta I = f(I_2)$ przy $Z = \text{const}$ - jak na rys.1.5.

Przeprowadzając analogiczne przekształcenie jak powyżej, otrzymuje się dla błędu kąтового:

$$\delta_i = \frac{C}{\mu} + D, \quad (1.14)$$

który to przebieg przedstawiono przykładowo na rys.1.6 (C i D - stałe).

Z wykresów tych wynika, że dla małych wartości prądów mierzonych (przed maksimum μ) oraz przy dużych wartościach prądów, błędy: prądowy i kątowy wzrastają, przy czym przebiegi te są zależne od charakterystyki magnesowania materiału rdzenia.



Rys.1.6. Zależność $\delta_i = f(I_2)$ przy $I_2 = \text{const}$

Ad.b) Dla ustalenia zależności błędów transformacji od impedancji obciążenia, sposób postępowania jest podobny, z tym

że obecnie $I_2 = \text{const.}$ Dla uproszczenia analizy operuje się modułem całkowitej impedancji obwodu wtórnego (Z_c), przy czym $U_\mu'' = k_1 Z_c$.

Wykonując przekształcenia jak poprzednio otrzymuje się:

$$I_{\mu b}'' = \frac{k_1 Z_c}{\mu}, \quad (1.15)$$

$$I_{\mu c}'' = k_2 Z_c. \quad (1.16)$$

Po podstawieniu do (1.3) otrzymamy:

$$\Delta I = -\frac{A}{\mu} Z_c - B Z_c, \quad (1.17)$$

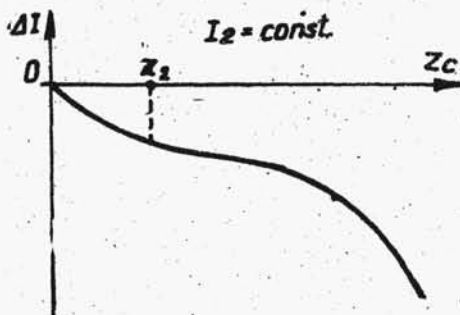
a dla błędu kąтового

$$\delta_1 = \frac{C}{\mu} Z_c + D Z_c, \quad (1.18)$$

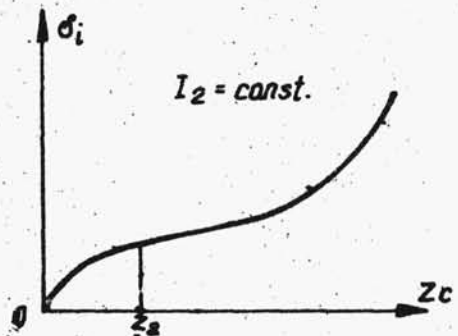
przy czym:

A, B, C, D - stałe dla danego przekładnika.

Przykładowe przebiegi przedstawiono na rys.1.7 i 1.8.



Rys.1.7. Zależność $\Delta I = f(Z_c)$ przy $I_2 = \text{const}$



Rys.1.8. Zależność $\delta_1 = f(Z_c)$ przy $I_2 = \text{const}$

Zakładając, że trójkąty impedancji Z i Z_2 przekładnika są podobne (tj., że moduły Z i Z_2 można dodawać algebraicznie), na rysunkach oznaczono wartość Z_2 , przy której błędy transformacji odpowiadają błędom bez obciążenia, tzn. przy zwartym uzwojeniu wtórnym ($Z = 0$).

Z uwagi na błędy transformacji w warunkach normalnej pracy, przekładnikowi przypisuje się różne klasy dokładności. W tablicy 1.1 zestawiono, zgodnie z PN-71/E-06552, wymagania dotyczące dopuszczalnych błędów w zależności od klasy dokładności przekładników pomiarowych. Rozróżnia się 6 klas dokładności, przy czym przekładników klasy 0,1 używa się głównie do dokładnych badań laboratoryjnych, przekładników klasy 0,2 i 0,5 do zasilania watomierzy i liczników dla rozliczeń finansowych za energię elektryczną, klasy 1, 3 i 5 do mniej dokładnych pomiarów typu wskaźnikowego.

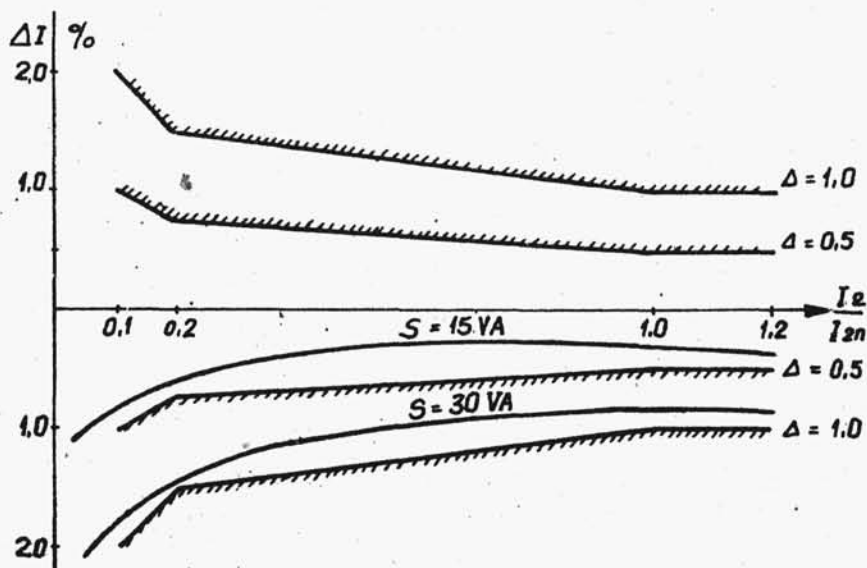
Tablica 1.1

Klasy dokładności i dopuszczalne błędy przekładników prądowych pomiarowych

| Klasa dokład- ności | Błąd prądowy ΔI [%] | | | | Błąd kątowy δ_i [min] | | | |
|--|--|------------|-----------|-----------|---------------------------------|----------|----------|----------|
| | przy prądzie pierwotnym w % prądu znamionowego | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 100 | 120 | 10 | 20 | 100 | 120 |
| 0,1 | $\pm 0,25$ | $\pm 0,2$ | $\pm 0,1$ | $\pm 0,3$ | ± 10 | ± 8 | ± 5 | ± 5 |
| 0,2 | $\pm 0,5$ | $\pm 0,35$ | $\pm 0,2$ | $\pm 0,2$ | ± 20 | ± 15 | ± 10 | ± 10 |
| 0,5 | $\pm 1,0$ | $\pm 0,75$ | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$ | ± 60 | ± 40 | ± 30 | ± 30 |
| 1 | ± 2 | $\pm 1,5$ | ± 1 | ± 1 | ± 120 | ± 80 | ± 60 | ± 60 |
| 3 | | $\pm 3^x)$ | ± 3 | | | | | |
| 5 | | ± 3 | ± 5 | ± 5 | | | | |
| x) Przy prądzie pierwotnym równym 50% prądu znamionowego | | | | | | | | |

W zakresie klas 0,1 ÷ 1,0 określa się dopuszczalne przedziały błędów prądowego i kątowego w zakresie normalnej pracy przekładnika, tj. od 0,1 I_{1n} do 1,2 I_{1n} przy wahaniami obciążenia uzwojenia wtórnego (0,25 ÷ 1,0) S_n , przy czym S_n - znamionowa moc obciążenia. Z klasą dokładności jest więc związana ściśle znamionowa moc obciążenia ($S_n = I_{zn} Z_n$). Mając na uwadze ustaloną poprzednio zależność błędów od obciążenia

żenia, można stwierdzić, że ten sam przekładnik będzie miał różne klasy dokładności przy różnych obciążeniach. Jest oczywiste, że przy większych obciążeniach klasa dokładności będzie niższa (np. $S_n = 15 \text{ VA}$ w klasie 0,5 oraz 30 VA w klasie 1.0), gdyż w miarę wzrostu obciążenia błędy wzrastają. Ilustruje to rys.1.9.



Rys.1.9. Przykład charakterystyki błędu prądowego na tle wymagań w różnych klasach dokładności

Dla przekładników zabezpieczeniowych określa się tylko dwie klasy dokładności (5P i 10P), dla których wymagania przedstawiono w tablicy 1.2.

Tablica 1.2

Klasy dokładności i dopuszczalne błędy przekładników prądowych zabezpieczeniowych

| Klasa dokładności | Błąd prądowy ΔI przy $I_1 = I_{1n}$ | Błąd kątowy δ_1 przy $I_1 = I_{1n}$ | | Błąd wskazowy ΔI_w przy $I_{1s} = I_{1n}$ |
|--|--|---|----------|--|
| | % | 10^{-2} rad | min | % |
| 5 P | ± 1 | $\pm 1,8$ | ± 60 | 5 |
| 10 P | ± 3 | - | - | 10 |
| Błąd kątowy przekładnika w klasie 10 P nie określa się | | | | |