

mym powrót do początkowego punktu pracy A na charakterystyce magnesowania, wyznaczonego jedynie magnesowaniem od prądu stałego. W punkcie A charakterystyki, impedancja uzwojenia prądu przemiennego jest równa zero, co oznaczałoby wzrost prądu. W konsekwencji powstaje stan ustalony, w którym prąd przemienny osiąga w granicy wartość i_{pm} , spełniającą warunek równości przepływów prądu stałego i przemiennego.

W następnym półokresie nastąpi zmiana stanu magnetycznego w rdzeniach A i B, a przebiegi będą analogiczne jak opisano powyżej. Przykładowe przebiegi napięcia i prądu przemiennego (w założeniu idealizowanej charakterystyki magnesowania) przedstawiono na rys.2.3.

Mierząc w opisanym układzie wartość i_{pm} (np. miernikiem magnetoelektrycznym włączonym w układ Groetz'a), można wyznaczyć wartość mierzonego prądu stałego:

$$I_s = i_{pm} \frac{z_p}{z_s} . \quad (2.1)$$

Zmiana wartości mierzonego prądu stałego będzie wywoływała zmianę prądu przemiennego, przy czym możliwy jest tu pomiar w stanie tzw. quasistacjonarnym.

2.2. Analiza pracy transduktora

Dla znajomości zjawisk występujących w transfuktorze celowe jest wyznaczenie przebiegów strumienia magnetycznego i siły elektromotorycznej indukowanej w uzwojeniach.

Pomijając jak poprzednio, rezystancję uzwojeń U_p można napisać:

$$U_p = z_p \frac{d\Phi_A}{dt} + z_p \frac{d\Phi_B}{dt} , \quad (2.2)$$

gdzie:

U_p - napięcie źródła pomocniczego prądu przemiennego,

Φ_A, Φ_B - strumienie magnetyczne w rdzeniach A i B.

Przyjmując, że $U_p = U_{pm} \cos \omega t$, po podstawieniu do wzoru (2.2) otrzymuje się:

$$d\Phi_A + d\Phi_B = \frac{U_{pm}}{Z_p} \cos \omega t dt,$$

stąd po scałkowaniu:

$$\Phi = \Phi_A + \Phi_B = \frac{U_{pm}}{Z_p} \sin \omega t + C, \quad (2.3)$$

gdzie:

C - stała całkowania uwzględniająca składowe stałe strumienia magnetycznego; przy przeciwsobnym połączeniu uzwojeń wtórnych prądu przemiennego $C = 0$.

Wzór (2.3) umożliwia określenie przebiegów strumienia w obu rdzeniach. Wiadomo, że gdy jeden z rdzeni jest domagnesowany prądem stałym, to strumień nie ulega w nim zmianie, a w tym samym czasie w drugim rdzeniu wystąpi zmiana strumienia.

Przyjmując, że gdy strumień w rdzeniu A jest stały, to $\Phi_A = \Phi_{nas}$ i odpowiednio gdy strumień w rdzeniu B jest stały, to $\Phi_B = -\Phi_{nas}$ oraz mając na uwadze wzór (2.3), można napisać:

$$\Phi_A = \Phi_{nas} - \frac{U_{pm}}{Z_p \omega} \sin \omega t, \quad (2.4)$$

dla $k\pi < \omega t < (k+1)\pi$ gdzie $k = 1, 3, 5$ (liczby nieparzyste),

a

$$\Phi_B = -\Phi_{nas} + \frac{U_{pm}}{Z_p \omega} \sin \omega t, \quad (2.5)$$

dla $k\pi < \omega t < (k+1)\pi$ gdzie $k = 0, 2, 4 \dots$ (liczby parzyste).

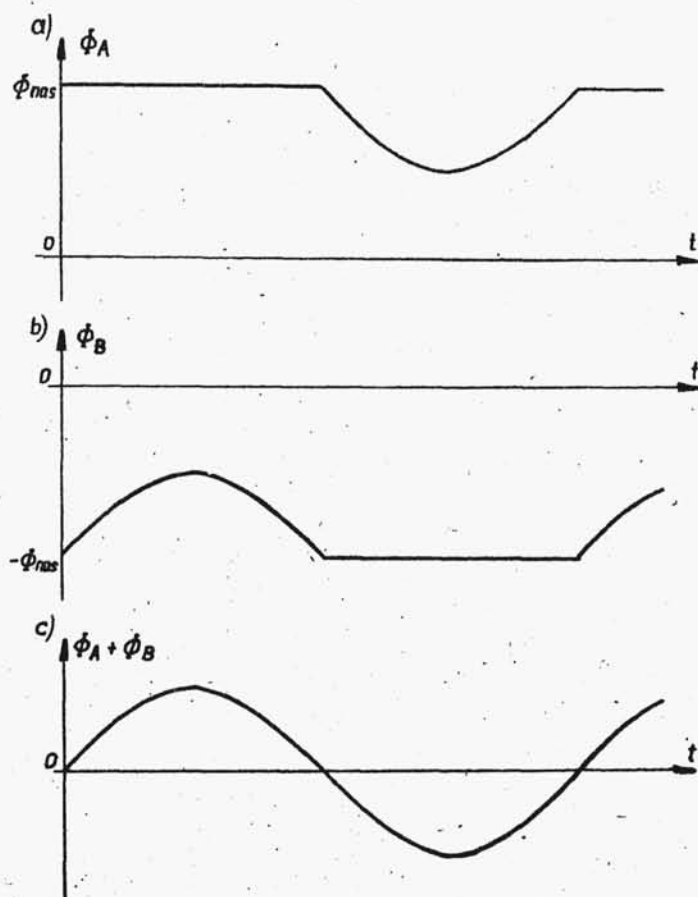
Przebiegi czasowe strumieni w poszczególnych rdzeniach oraz przebieg strumienia sumarycznego przedstawiono na rys.2.4.

Wartość amplitudy składowej zmiennej strumienia wyniesie:

$$\Phi_m = \frac{U_{pm}}{Z_p \omega}. \quad (2.6)$$

Gdyby amplituda składowej zmiennej Φ_m osiągnęła wartość większą od $2\Phi_{nas}$, to wówczas nasycenie występowałoby w obu rdzeniach. Prąd w uzwojeniu prądu przemiennego, wobec impedancji tego uzwojenia równej zeru, wzrósłby na czas nasycenia do nieskończoności^{x)}. Ilustruje to rys.2.5.

^{x)} Przy założeniu idealnej charakterystyki magnesowania.



Rys.2.4. Przebiegi strumieni magnetycznych:
a) w rdzeniu A, b) w rdzeniu B, c) strumienia sumarycznego

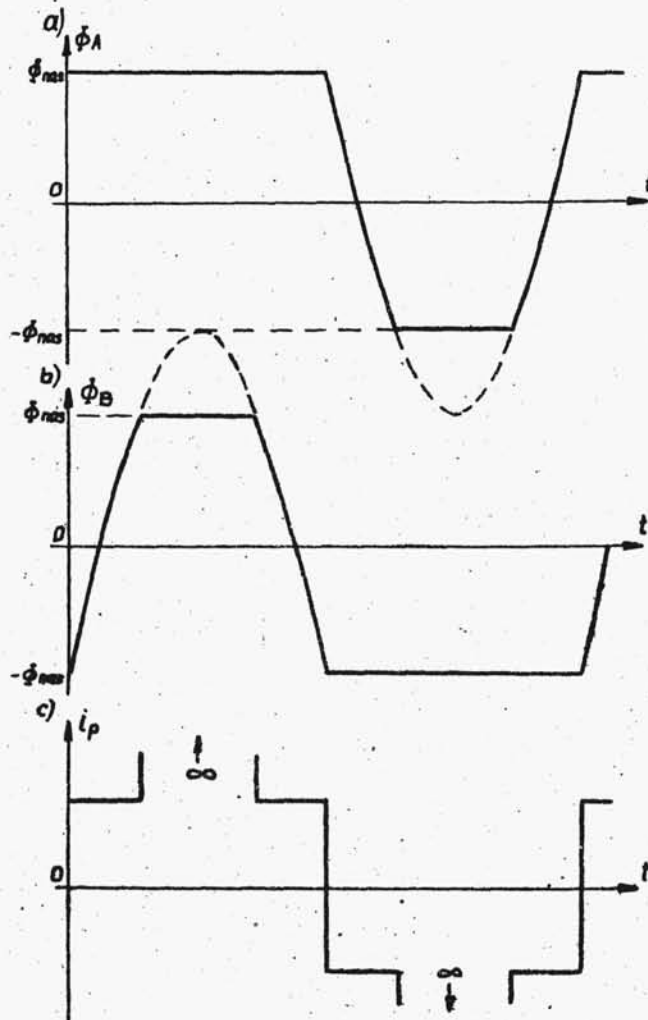
Dla uniknięcia nasycenia obu rdzeni powinna być spełniona nierówność:

$$\frac{U_{pm}}{\omega z_p} < 2 \Phi_{nas} \quad (2.7)$$

Warunek powyższy powinien być uwzględniany przy doborze wartości napięcia przemiennego źródła pomocniczego.

Siły elektromotoryczne indukowane w uzwojeniach prądu przemiennego i stałego są zależne od przebiegu strumienia magnetycznego w rdzeniach.

Dla rozpatrywanego powyżej stanu, podczas półokresu, w którym rdzeń A jest nasycony, SEM indukowane w obu uzwoje-



Rys.2.5. Rysunek ilustrujący nasycenie rdzeni przy dużej składowej przemiennego strumienia: a) przebieg strumienia w rdzeniu A, b) przebieg strumienia w rdzeniu B, c) przebieg prądu przemiennego

niach umieszczonych na tym rdzeniu są równe zero. W tym samym półokresie w uzwojeniach związanych z rdzeniem B powstaną siły elektromotoryczne:

$$e_{pB} = - z_p \frac{d \Phi_B}{dt} \quad \text{-- w uzwojeniu prądu przemiennego}$$

oraz:

$$e_{sB} = - z_s \frac{d\Phi_B}{dt} \quad - \text{ w uzwojeniu prądu stałego.}$$

Wykorzystując wzór (2.5) będzie:

$$e_{pB} = - U_{pm} \cos \omega t,$$

$$e_{sB} = \frac{z_s}{z_p} U_{pm} \cos \omega t.$$

W następnym półokresie, stan magnetyczny rdzeni będzie odwrotny i wówczas napięcia indukowane w uzwojeniach na rdzeniu B będą równe zeru, a w uzwojeniach skojarzonych z rdzeniem A będą

$$e_{pA} = U_{pm} \cos \omega t$$

oraz:

$$e_{sA} = \frac{z_s}{z_p} U_{pm} \cos \omega t.$$

Przebiegi SEM indukowanych w uzwojeniach przedstawiono na rys.2.6 i 2.7.

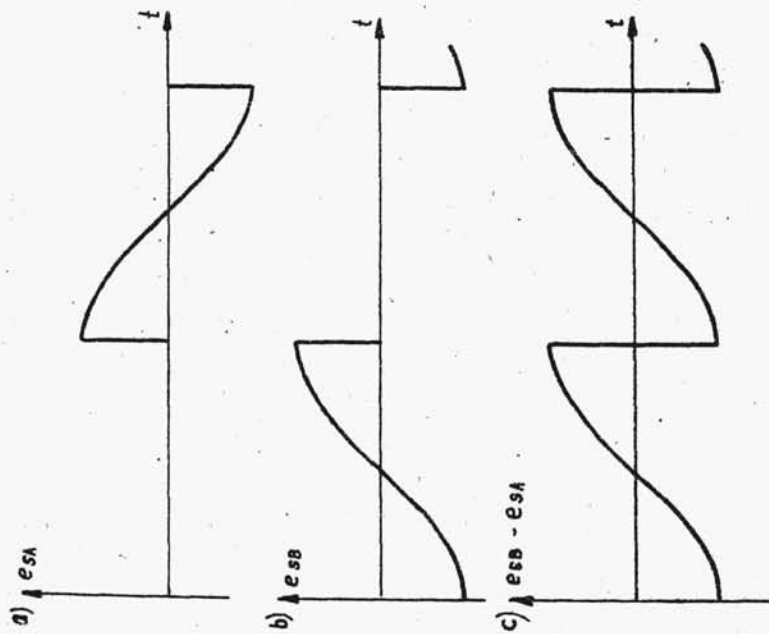
Przedstawiona powyżej analiza pracy transduktora była przeprowadzona w założeniu idealnej charakterystyki magnesowania rdzenia magnetycznego. Rzeczywista charakterystyka magnesowania, odbiegająca od idealnej, nie zmienia charakteru rozpatrywanych zjawisk, powoduje jednakże, że rzeczywiste przebiegi prądu w uzwojeniu prądu przemiennego będą inne niż na rys.2.3.

Dla wyznaczenia przebiegu prądu z uwzględnieniem rzeczywistej charakterystyki magnesowania, danej w postaci wykresu, wygodnie jest stosować metodę graficzną. Do tego celu buduje się wypadkową charakterystykę magnesowania uwzględniającą oba rdzenie jednocześnie i ujmując zależność:

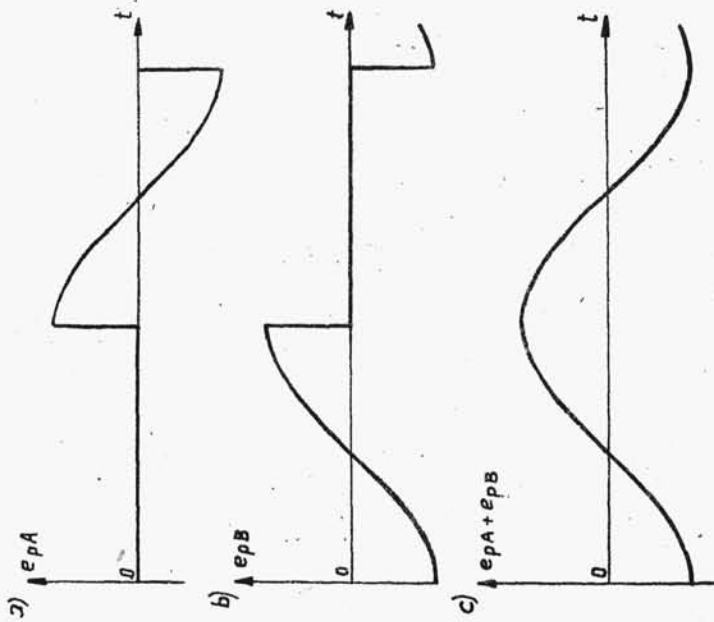
$$\Phi = \Phi_A + \Phi_B = f(i_p, z_p) \quad \text{przy} \quad \Theta = i_s, z_s = \text{const.}$$

Przykład takiej charakterystyki przedstawiono na rys.2.8.

Zakładając, że w obwodzie pomocniczym prądu przemiennego występuje wymuszenie napięciowe o sinusoidalnym przebiegu i pomijając dodatkowo spadki napięcia na rezystancji uzwojenia,

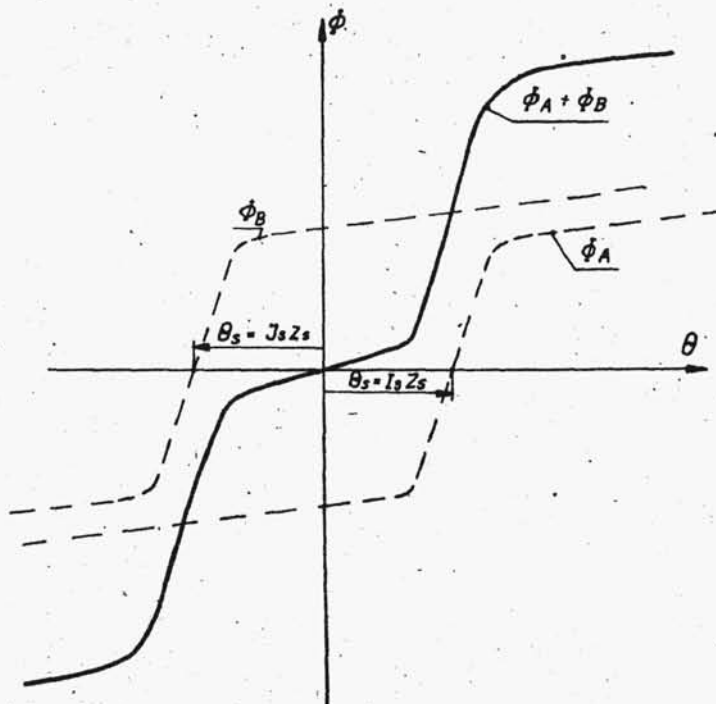


Rys.2.6. Przebiegi SEM indukowanych w uzwojeniach prądu przemiennego transduktora: a) w uzwojeniu rdzenia A, b) w uzwojeniu rdzenia B, c) w obu uzwojeniach łącznie



Rys.2.7. Przebiegi SEM indukowanych w uzwojeniach prądu stałego transduktora: a) w uzwojeniu rdzenia A, b) w uzwojeniu rdzenia B, c) w obu uzwojeniach łącznie

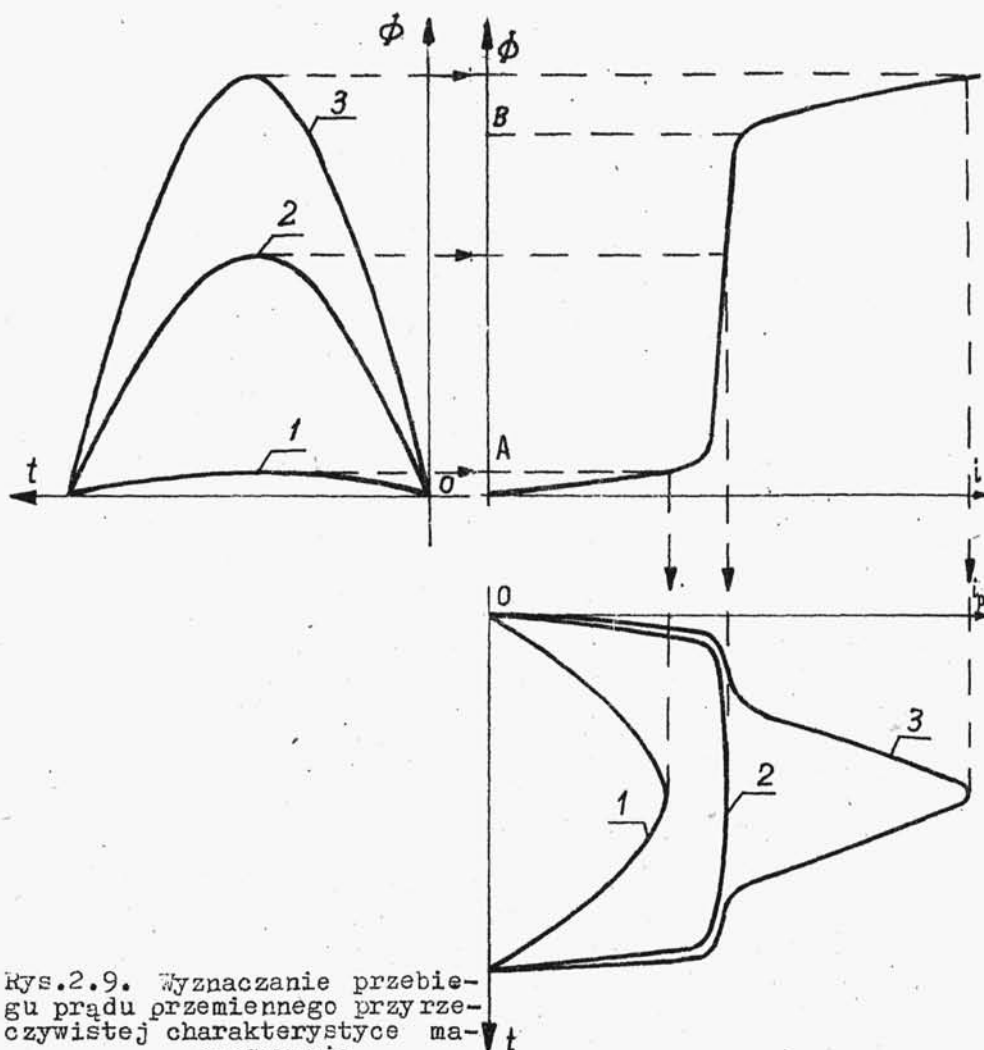
można przyjąć, że przebieg strumienia magnetycznego w rdzeniu będzie również sinusoidalny.



rys.2.8. Konstrukcja wypadkowej charakterystyki magnesowania

Na rys.2.9 przedstawiono wykreślną metodę wyznaczania przebiegu prądu w oparciu o wypadkową charakterystykę magnesowania i sinusoidalny przebieg strumienia. Ponadto, na rys.2.10 przedstawiono, dla ilustracji wykorzystania tej metody, wyznaczenie prądu w założeniu idealnej charakterystyki magnesowania.

Z przebiegów na rys.2.9 wynika, że kształt prądu odbiega od prostokątnego, a przy zbyt dużej wartości strumienia (napięcia) następuje wejście na zagięcie krzywej magnesowania (odpowiadające $\sim 2 \Phi_{nas}$), co powoduje wyraźne odkształcenie prądu (krzywa 3 na rys.2.9). Przy zbyt niskim napięciu U_p i odpowiadającym mu strumieniu (krzywa 1 na rys.2.9), przebieg prądu i_p jest sinusoidalny, a jego wartość nie zależy od wartości prądu stałego i_s . Prawidłowa praca występuje wówczas,

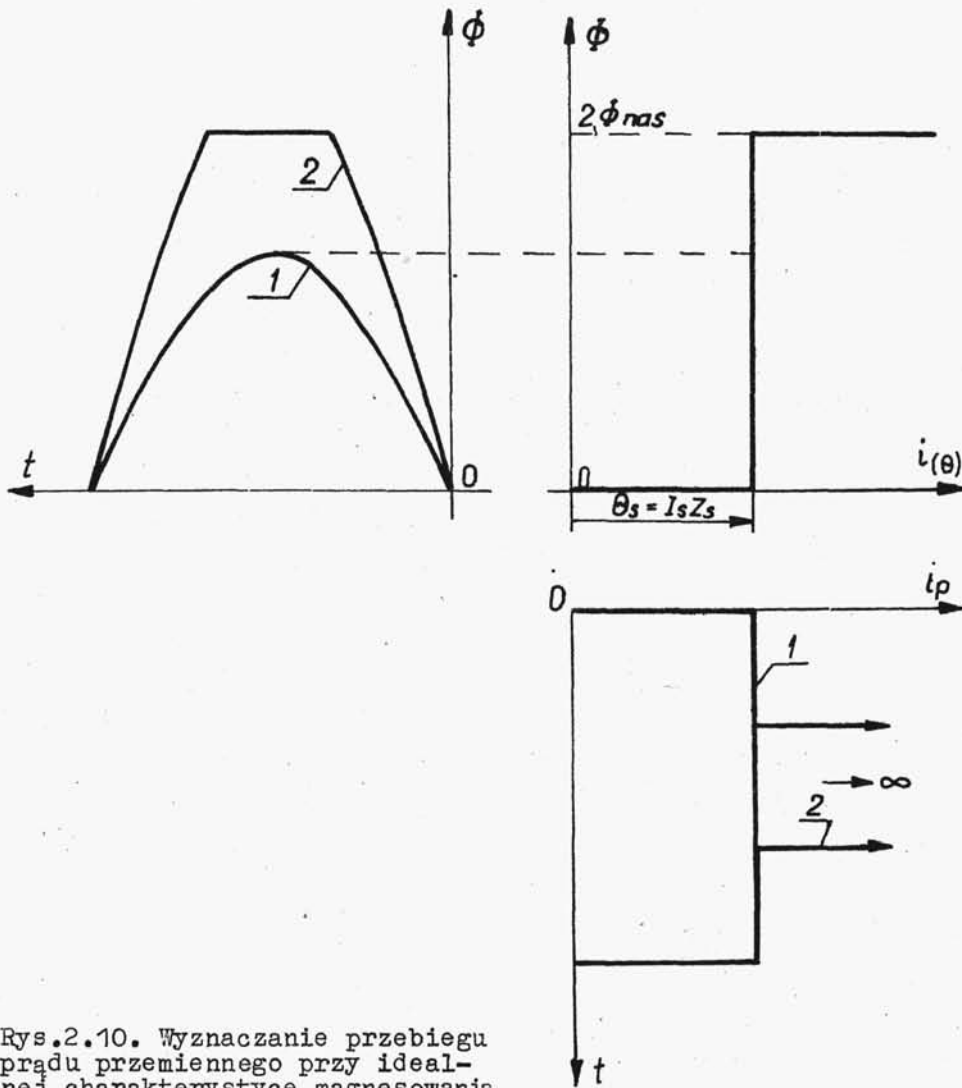


Rys.2.9. Wyznaczanie przebiegu prądu przemiennego przy rzeczywistej charakterystyce magnesowania

gdy strumień zmienia się w przedziale pomiędzy punktami A i B; przedział ten określa jednocześnie zakres dopuszczalnych wartości napięcia pomocniczego.

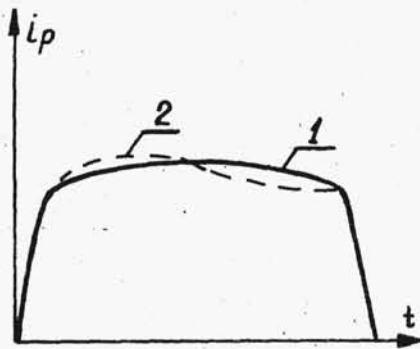
Uwzględniając dodatkowo wpływ pętli histerezy, krzywa prądu staje się niesymetryczna (rys.2.11). Przedstawione powyżej odkształcenia prądu i_p są źródłem błędów pomiaru prądu stałego.

Podstawowymi charakterystykami rzeczywistego przekładnika prądu stałego, informującymi o jego właściwościach pomiaro-

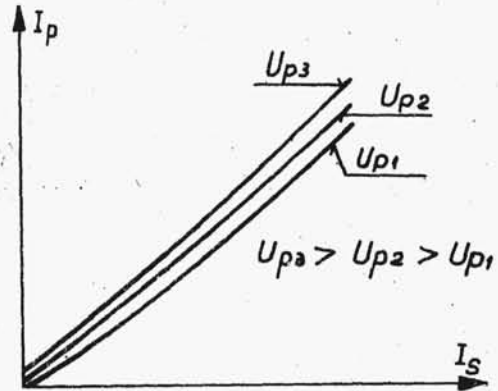


Rys.2.10. Wyznaczanie przebiegu prądu przemiennego przy idealnej charakterystyce magnesowania

wych, są krzywe $I_p = f(I_s)$ przy $U_p = \text{const}$ oraz przy stałym obciążeniu uzwojenia prądu przemiennego (rys.2.12). Praca przekładnika powinna przebiegać jedynie w obszarze prostoliniowej części charakterystyki. Własności pomiarowe przekładników prądu stałego mogą być poprawione przez skompensowanie np. prądu początkowego czy wpływu wahań napięcia pomocniczego U_p . Bliższe informacje na ten temat znajdzie Czytelnik w [8].



Rys.2.11. Wpływ strat na przebieg prądu przemiennego: 1-bez uwzględnienia strat 2 - z uwzględnieniem strat na histerezę i na prądy wirowe



Rys.2.12. Charakterystyki sterowania transduktora $I_p = f(I_s)$ dla różnych wartości napięcia przemiennego

Rzeczywiste rozwiązania konstrukcyjne przekładników prądu stałego są realizowane głównie dla potrzeb trakcji elektrycznej (3 kV) oraz dla potrzeb przemysłowej elektrolizy (niskie napięcia). Wartości prądów mierzonych mogą się zmieniać w zależności od zastosowań w bardzo szerokich granicach (od kilku do kilkudziesięciu kiloamperów). Są to z zasady rozwiązania opracowywane i wykonywane dla określonych potrzeb.

3. PRZEKŁADNIKI NAPIĘCIOWE

3.1. Wstęp

Przekładniki napięciowe (transformatory napięciowe) są przeznaczone do transformowania wysokich napięć pierwotnych na napięcia wtórne niskie, zasilające przyrządy pomiarowe i zabezpieczeniowe, izolując jednocześnie obwody pomiarowe i zabezpieczeniowe od obwodów głównych.

Przekładniki napięciowe są budowane w dwu odmianach, jako indukcyjne i pojemnościowe. Przekładniki pojemnościowe są budowane na napięcia ≥ 110 kV. Wprowadzenie przekładników po-