

HENRYK KOWALOWSKI, HENRYK SŁUPIŃSKI

Katedra Technologii
Urządzeń Automatyki
Politechniki Śląskiej

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH MATERIAŁÓW MAGNETYCZNYCH
NA RDZENIE SAMONASYCÁLNYCH WZMACNIACZY MAGNETYCZNYCH
METODA ROBERTSA

Streszczenie. W artykule przedstawiono problemy kontroli materiałów magnetycznych w zastosowaniu do wzmacniaczy magnetycznych samonasycałnych. Artykuł opisuje podstawowe zasady metody Roberta, w nawiązaniu do kontroli rdzeni dla wzmacniaczy magnetycznych samonasycałnych oraz wyniki badań laboratoryjnych.

Podsumowanie uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, że adaptowana metoda Roberta, do przemysłowej kontroli rdzeni dla wzmacniaczy magnetycznych samonasycałnych, posiada zalety zapewniające osiągnięcie produkcji wzmacniaczy samonasycałnych o powtarzalnej charakterystyce sterowania.

1. Wstęp

Materiały magnetyczne używane na rdzenie winny spełniać szereg wymagań w zależności od typu i przeznaczenia urządzeń, których części składowe stanowią. Podstawowe wymagania stawiane na ogół konstrukcjom rdzenia, to z góry określone właściwości odnośnie stopnia nieliniowości krzywej magnesowania, prostokątności pętli histerezy i dużej przenikalności magnetycznej w słabych polach magnetycznych.

Rdzenie dla stosunkowo dużej liczby przyrządów winny gwarantować także określony przestrzenny rozkład, przepływów i strumieni od prądów uzwojeń obejmujących rdzenie lub od pól zewnętrznych. O spełnieniu stawianych wymagań decydują ostatecznie właściwości rdzenia w stanach statycznych i dynamicznych.

Dla określenia dynamicznych właściwości rdzenia w postaci dynamicznych charakterystyk, korzysta się najczęściej ze skomplikowanych układów umożliwiających takie pomiary.

2. Badanie parametrów materiałów magnetycznych

Powszechne stosowanie urządzeń zawierających obwody z materiałów magnetycznych, których procesy magnesowania nie są wystarczająco rozpoznane, stanowi stały bodziec ciągłych poszukiwań tak w zakresie analitycznych zależności opisujących działanie tych urządzeń, jak i metod oceny przydatności materiałów dla poszczególnych typów urządzeń. Należy zauważyć, że obie formy prowadzonych prac są ważne dla dalszego rozwoju i możliwości szerokiego zastosowania urządzeń zbudowanych na bazie elementów magnetycznych.

Oceniając osiągnięcia w tak wydzielonych dziedzinach można stwierdzić, że są one większej wagi w zakresie badań analitycznych zależności przebiegu procesów w urządzeniach aniżeli w zakresie doświadczalnych metod badań przydatności elementów magnetycznych dla poszczególnych typów urządzeń. Niewystarczająca znajomość procesów magnesowania oraz specyfika sposobu współczesnej organizacji produkcji wysuwają na czoło problemy kontroli właściwości materiałów magnetycznych. Wytwarzanie materiałów magnetycznych oraz ich montaż w zastosowaniu do urządzeń odbywa się najczęściej w różnych miejscach. Sposób kontroli materiałów magnetycznych często prowadzi się różnymi metodami. U wytwórcy materiałów magnetycznych stosowane są najczęściej sposoby badań statycznych, u producenta urządzeń, wobec konieczności spełniania niezbędnych parametrów, badania symulujące warunki pracy, obejmują najczęściej badania w zakresie dynamiki zjawisk. Niestety nie możemy stwierdzić związków łączących te dwa rodzaje badań ani ze strony jakościowej ani ze strony ilościowej. Pomijając nawet ten zasadniczy problem należy zauważyć, że badania określonego rodzaju przydatne dla pewnych warunków pracy są nieprzydatne dla innych. Istnieje jednak potrzeba przeprowadzania i rozwijania takich badań i mimo różnych braków, w warunkach przemysłowych, nie można ich zaniechać.

Proces dynamicznego magnesowania jest najbardziej złożony w materiałach z prostokątną pętlą histerezy przy równoczesnym magnesowaniu dwoma lub więcej polami magnetycznymi o różnych częstotliwościach i kształtach. Z drugiej strony liczne zastosowania materiałów magnetycznych pracujących w takich właśnie warunkach magnesowania, jako elementy urządzeń automatyki i elementy urządzeń cyfrowych oraz ich duże znaczenie przemysłowe, skłania do podejmowania badań nad przebiegami procesów w takich właśnie warunkach.

Rozważmy tutaj problematykę badania rdzeni na wzmacniacze magnetyczne, z wewnętrznym sprzężeniem zwrotnym. Charakterystyki magnesowania idealizowane przy rozważaniach teoretycznych, w praktyce wykazują znaczne rozbieżności. Zniekształcenia charakterystyk magnesowania decydują z kolei o charakterystykach sterowania, stałej czasowej, stabilności pracy i mają zasadniczy wpływ na współczynniki wzmocnienia wzmacniaczy magnetycznych. W procesie kontroli istnieje możliwość badania przydatności materiału magnetycznego lub rdzeni wzmacniaczy magnetycznych, pod kątem wybranych przez nas parametrów lub charakterystyk. Mogą one mieć wg naszej oceny większy lub mniejszy wpływ na poprawną pracę urządzenia. Wyszczególnimy tu takie parametry stamu magnetycznego, jak: pozostałość magnetyczną, indukcję nasycenia, siłę koercji, przenikalność początkową i in., względnie charakterystyki w specjalnych układach pomiarowych, bądź w układach imitujących warunki pracy. Generalnie rzecz biorąc, wydaje się że nie jest ważna okoliczność czy mierzymy takie lub inne parametry, natomiast istotne jest to, aby metoda badania dawała możliwość oceny przydatności materiału, a w ostateczności wykonanego rdzenia do zastosowania go w określonym typie wzmacniacza.

Oczywiście, że o powszechnym przyjęciu się metody w praktyce decydują przede wszystkim takie względy, jak: przydatność metody do oceny materiałów magnetycznych możliwie szerokiej grupy urządzeń, ekonomiczność, przepustowość, dokładność, łatwość stosowania, powiązanie z charakterystykami urządzeń. W zakresie metod badań dynamicznych obecnie wyróżniamy kilka takich, które znajdują zastosowanie przy określaniu przydatności materiałów i rdzeni magnetycznych,

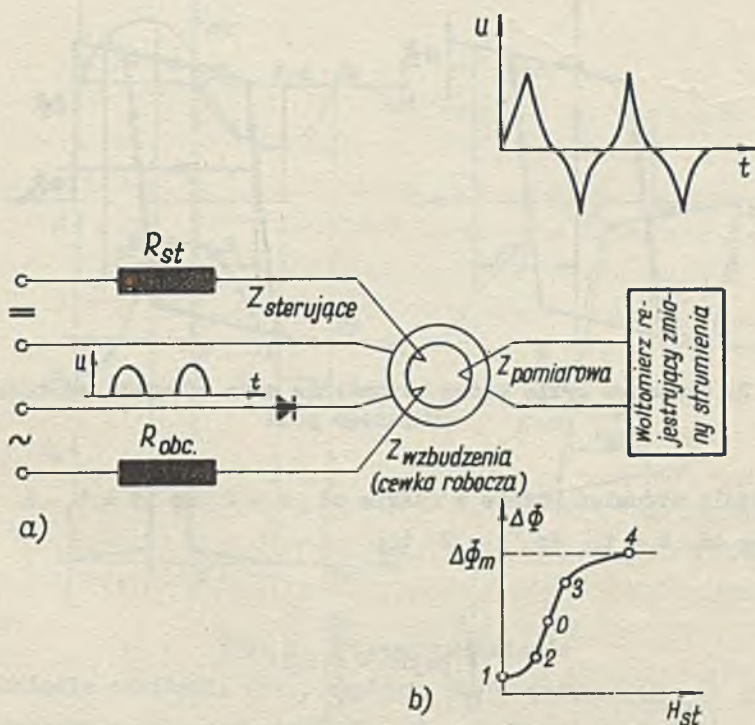
Wymienimy tu przede wszystkim metody kontroli dynamicznej pętli histerezy i przebiegu dynamicznej przenikalności rdzeni. Krzywe przenikalności dynamicznej oraz dynamicznej pętli histerezy zależą od kształtu napięcia zasilającego i elektrycznych parametrów obwodu. Praktycznie, kształt napięcia zasilającego i elektryczne parametry obwodu układu kontroli w których badamy właściwości elementów magnetycznych różnią się od kształtu napięcia zasilającego i elektrycznych parametrów obwodu urządzenia w którym badane elementy magnetyczne mają być stosowane. Ponadto metody wyróżniające pomiary samych elementów nie naśladują całej złożoności procesów dynamicznych przebiegających we wzmacniaczach magnetycznych. Zastosowanie tych metod dla badania i oceny przydatności rdzeni dla wzmacniaczy magnetycznych jest więc niewystarczające.

Wzmacniacze magnetyczne z wewnętrznym sprzężeniem, spośród innych typów wzmacniaczy magnetycznych, cechują najbardziej złożone procesy dynamicznego magnesowania, jednak ze względu na ich zalety należą one obok wzmacniaczy magnetycznych szybkodziałających do najczęściej stosowanych w układach automatyki. Dlatego właśnie w pracy podjęto tematykę metod określających przydatność rdzeni magnetycznych do wzmacniaczy samonasycalnych, bardziej pełnie i bardziej poprawnie.

W procesie dynamicznego magnesowania o uzyskiwanych charakterystykach wzmacniacza decydują właściwości materiału magnetycznego i parametry obwodu wzmacniacza. W dalszym ciągu jednak i właściwości materiału magnetycznego mają też decydujący wpływ na jego parametry. Dlatego metody badania i oceny przydatności materiałów magnetycznych dla wzmacniaczy samonasycalnych rozwinęły się w kierunku tworzenia układów symulujących warunki pracy. Wymienimy tu: metodę Roberta, Boyajina, a także dla wzmacniaczy szybko działających metodę Muldoona [3] [7] [8]. Ponieważ warunki pracy wzmacniaczy samonasycalnych są różne, poszczególne metody są przydatne dla określonych typów wzmacniaczy pracujących w z góry określonych warunkach.

3. Metoda Roberta

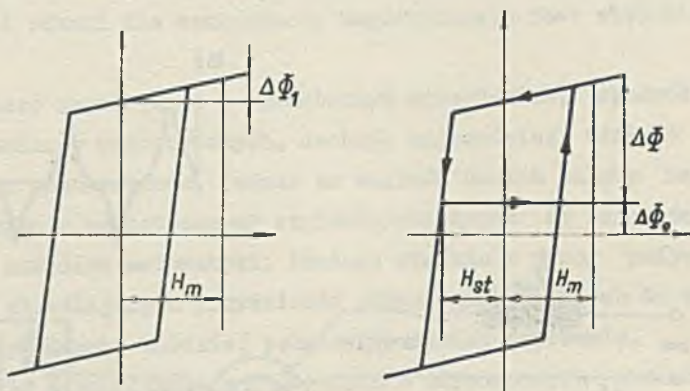
Ograniczymy się w tej pracy do rozpatrzenia przydatności metody Roberta do kontroli rdzeni wzmacniaczy magnetycznych z samonasyceniem w warunkach dużej oporności w obwodzie sterującym. Jak wykazemy może być ona stosowana do kontroli rdzeni wzmacniaczy zapewniających najwyższą jakość wypracowanych sygnałów. Metoda Roberta może być również stosowana do kontroli rdzeni wzmacniaczy magnetycznych przeznaczonych do pracy z małą opornością w obwodzie sterującym. W tym wypadku pogarsza się jednak znacznie odpowiedność pomiędzy zmierzonymi charakterystykami rdzeni a charakterystykami sterowania wzmacniaczy magnetycznych.



Rys. 1

a - Schemat układu Roberta, b - typowa charakterystyka zmian strumienia w rdzeniu

Przebieg zmiany strumienia $\Delta\Phi$ w funkcji natężenia pola sterującego oraz schemat metody Robertsa przedstawia rys. 1. Wielkość zmian strumienia za każdy okres określa się tutaj z pomiaru napięcia indukowanego w cewce pomiarowej nawiniętej na rdzeń wzmacniacza. Wyniki pomiarów nie będą zależą od wzbudzającego prądu, jeśli rdzeń w każdym okresie dochodzić będzie do stanu nasycenia. W ustalonych warunkach pracy strumień w czasie jednego okresu zmienia się od wartości początkowej Φ_0 do wartości nasycenia Φ_m . Zmiany strumienia $\Delta\Phi$ są uzależnione od wielkości sterującego pola, co ilustruje rys. 2.



Rys. 2. Okresowe cykle zmian strumienia przy różnych wartościach sterującego pola

Jeżeli strumień rośnie w czasie od $t = 0$ do $t = t_1$ i maleje w czasie od $t = t_1$ do $t = T$ to:

$$\int_0^{t_1} |u| dt = \int_{t_1}^T |u| dt \quad (1)$$

Wyrażenie (1) spełnia się także wówczas jeśli:

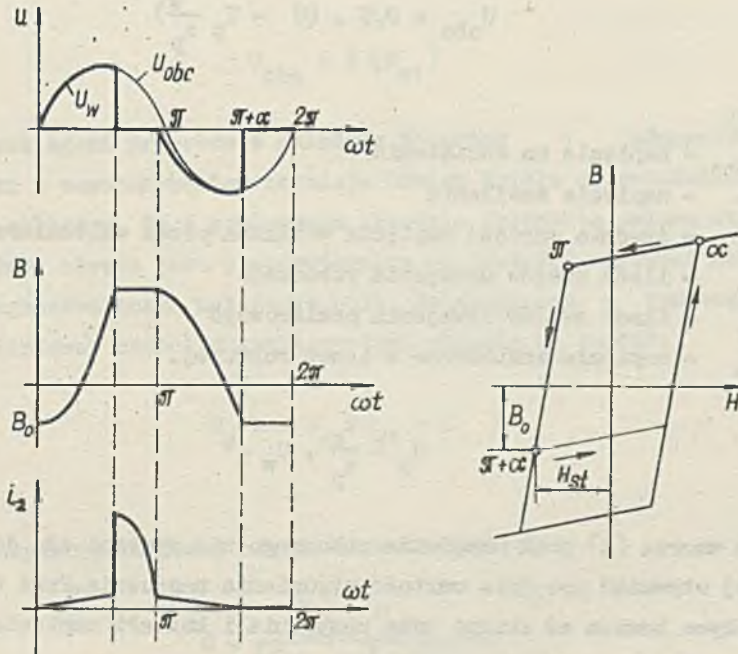
$$T - t_1 \neq t_1 - t_0$$

gdzie t_0 jest początkiem okresowych zmian napięcia pomiarowego.

Jeżeli woltomierz rejestrujący zmiany strumienia mierzy na wyjściu średnie wartości, to wskazania przyrządu będą związane ze zmianą strumienia równaniem:

$$U_p = 2f \cdot z_p \Delta\phi \quad (2)$$

Przebiegi zmian napięcia zasilania napięcia indukowanego w cewce roboczej, indukcji w rdzeniu oraz prądu w obwodzie roboczym ilustruje rys. 3.



Rys. 3. Wykresy przebiegów

a - napięcia zasilania (U_w), napięcia na obciążeniu (U_{obc}) i napięcia indukowanego w cewce roboczej (U_w), b - indukcji w rdzeniu, c - prądu w obwodzie roboczym

W półokresie roboczym ($0 - \pi$) napięcia na obciążeniu (U_{obc}) będzie równe różnicy napięcia zasilania (U_{\sim}) i napięcia indukowanego (U_w) w cewce roboczej. Dla średnich wartości można napisać, że napięcie za roboczy półokres:

$$U_{obc} = U_{\sim} - U_w \quad (3)$$

Przyjmując, że prąd w okresie sterowania jest równy zero, równanie średniej wartości napięcia na obciążeniu będzie:

$$U_{obc} = 0,5 \cdot (U - U_p \frac{z_w}{z_p}) \quad (4)$$

gdzie:

- U_{obc} - napięcie na obciążeniu
- U_{\sim} - napięcie zasilania
- U_p - średnia wartość napięcia wskazana przez woltomierz pomiarowy
- z_w - ilość zwojów uzwojenia roboczego
- z_p - ilość zwojów uzwojenia pomiarowego
- U_w - napięcie indukowane w cewce roboczej.

$$U_p = \frac{z_w}{z_p} \cdot U_w \quad (5)$$

We wzorze (4) prąd uzwojenia roboczego nie wystąpi aż do chwili, w której strumień przyjmie wartość strumienia nasycenia. Prąd do tej chwili wpływa bowiem na zmianę kąta nasycenia i kształt napięcia na obciążeniu, ale nie na średnią wartość napięcia.

W okresie sterowania w cewce obciążenia może się pojawić prąd wsteczny, który może wpłynąć na zmianę średniej wartości napięcia obciążenia

Na początku okresu sterowania strumień w rdzeniu jest prawie równy wartości nasycenia, a w uzwojeniu roboczym płynie prąd starający się podtrzymać go na tym poziomie. W miarę zwiększania się ujemnej wartości napięcia źródła zasilania, prąd w obwodzie roboczym zmniejsza się

do zera, a na rdzeń zaczyna działać tylko rozmagnesowujące pole sterujące.

Ze względu na to, że szybkość zmian strumienia w wzmacniaczach magnetycznych jest za wolna, aby doprowadzić stan magnesowania rdzenia do określonego punktu pętli histerezy, należy przyłożyć większe pole sterujące niż byłoby to wymagane w stanie statycznym. Procesy opóźnienia zmian pola wywołują różnicę w wynikach badań statycznych i badań procesów dynamicznych zachodzących we wzmacniaczach magnetycznych.

Należy zaznaczyć, że określając w tym układzie pomiarowym przebieg $U_p = f(H_{st})$ można równocześnie wnioskować o charakterystyce wzmacniacza "wejście - wyjście".

$$U_{obc} = f(H_{st}) \quad (6)$$

Między przebiegami procesów w układzie Roberta i jednopółkowym wzmacniaczu z samonasyceciem istnieje bowiem ścisła odpowiedniość.

Jeżeli założymy, że w pomiarowym układzie całkowita zmiana strumienia za połowę okresu jest proporcjonalna do średniej wartości sterującego rozmagnesowującego natężenia pola, działającego w tym czasie to równanie liniowej części charakterystyki rdzenia ma postać:

$$U_p = G J_{st} z_{st} + C \quad (7)$$

gdzie:

G - nachylenie liniowej części charakterystyki.

$$G = \frac{U_{p3} - U_{p2}}{(J_{st3} - J_{st2}) z_{st}} \quad (8)$$

lub

$$G = \frac{0,8\pi \cdot f \cdot z \cdot S \cdot 10^{-8}}{1} \frac{\Delta B_3 - \Delta B_2}{H_{st3} - H_{st2}} \quad (9)$$

C - wielkość stała równa

$$C = U_{p2} - G J_{st2} \cdot z_{st} \quad (10)$$

Podstawiając wyrażenie (7) do (4) przy uwzględnieniu zależności (10) otrzymamy równanie charakterystyki sterowania jednopokówkowego wzmacniacza magnetycznego z samonasyceniem.

$$U_{obc} = 0,5 (U_w - G J_{st} z_{st} \frac{z_w}{z_p} - G_1) \quad (11)$$

gdzie:

$$G_1 = C \cdot \frac{z_w}{z_p}$$

Wpływ prądu wstecznego prostownika można uwzględnić obliczając wartość średnią wstecznego prądu w uzwojeniu roboczym w okresie sterowania.

Istotny wpływ na dokładność wyznaczenia magnetycznych parametrów rdzenia wywiera prąd w uzwojeniu sterującym i w cewce pomiarowej, wzbudzony napięciem indukowanym przez zmienny strumień rdzenia. Działanie pól wywołanych tym prądem obniża wartość sterującego pola rozmagnesowującego. W rezultacie działanie tych prądów następuje niekorzystne zmniejszanie nachylenia roboczej części charakterystyki. Przybliżoną wielkość zmiany współczynnika G można określić przyjmując, że pełna zmiana strumienia za połowę okresu jest proporcjonalna do średniej wartości rozmagnesowującego pola sterującego. Przybliżenie to nie oddaje wprawdzie dokładnie istoty zjawiska, ale może służyć do określenia wpływu działania tych prądów.

Rozmagnesowujący przepływ $(Jz)_{st}$ działający na rdzeń po uwzględnieniu wpływu prądów wzbudzanych w sterującym uzwojeniu wyraża równanie:

$$(Jz)_{st} = J_{st} \cdot z_{st} - \frac{z_{st}^2 \cdot U_p}{R_{st} \cdot z_p} \quad (12)$$

gdzie:

R'_{st} - oporność obwodu sterowania

U_p - średnia wartość napięcia za półokres w obwodzie pomiarowym.

Podstawiając do równania (7) znalezione wyrażenie rozmagnesowującego przepływu $(J \cdot z)_{st}$ zamiast $J_{st} z_{st}$ otrzymujemy:

$$U_p = \frac{G \cdot J_{st} z_{st} + C}{1 + \frac{G \cdot z_{st}^2}{z_p \cdot R_{st}}} \quad (13)$$

Porównując wyrażenie (7) z (13) widzimy, że wpływ zmiennej składowej prądu obwodu sterowania na wskazania układu pomiarowego jest tylko wtedy znikomo mały, gdy:

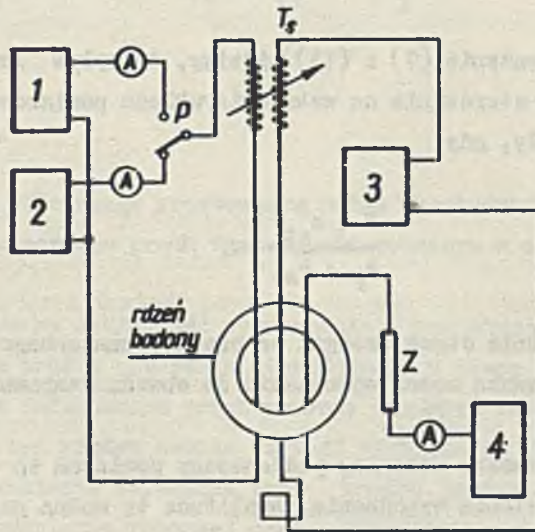
$$\frac{G \cdot z_{st}^2}{z_p \cdot R_{st}} \ll 1. \quad (14)$$

Dla pomniejszenia strat energii od prądu przemiennego, wzbudzanego w obwodzie sterowania można wprowadzić do obwodu sterowania dużą indukcyjność liniową.

Podstawowy parametr rdzenia, podlegający pomiarom to amplituda pola nasycającego uzwojenia wzbudzenia. Amplitudę tę można najlepiej określić na podstawie dynamicznej pętli histerezy.

Dla wybranej grupy wzorcowych rdzeni należy z kolei wykonać pomiary charakterystyk sterowania wzmacniaczy w funkcji sterującego pola. Jeżeli wzorcowe rdzenie zostały tak dobrane, że uwzględniają one możliwe odchyłki parametrów całego materiału, to można będzie określić z dostateczną dokładnością przedział rozrzutu charakterystyk. Korzystając z uzyskanej rodziny charakterystyk można będzie określić natężenie pola sterującego w pkt. 4 (Rys. 1) jako najmniejszą wartość niezbędną dla uzyskania pełnej zmiany indukcji w rdzeniu. W zależności od przebiegu tych charakterystyk punkty 2 i 3 (Rys. 1) wybiera się tak, aby wypadały one na końcu liniowej części charakterystyki tej krzywej, której liniowy odcinek jest najkrótszy. Wybór takich punktów jak 2 i 3

sprawa pewne trudności w przypadku materiału wykazującego duży rozrzut charakterystyk. Wielkości amplitud impulsów wzbudzających, nie powinny być zbyt duże, ponieważ czym większe są te amplitudy, tym większe uzyskujemy piki mierzonego napięcia i tym trudniej dokładniej pomierzyć zmiany indukcji w rdzeniu. Jednakże amplitudy impulsów powinny wystarczać, aby rzeczywiście doprowadzić rdzeń w każdym roboczym półokresie do stanu nasycenia. W schemacie Roberta, w wykonaniu dla stan



Rys. 4. Standardowy schemat kontroli rdzeni sposobem Roberta

1 - źródło prądu sinusoidalnego, 2 - źródło prądu wyprostowanego jednopółprzewodnikowego, 3 - woltomierz rejestrujący zmiany strumienia, 4 - źródło prądu stałego, T_S - transformator powietrzny regulujący sprzężenie, Z - oporność obwodu sterującego

dardowych badań, (rys. 4) wprowadzono dodatkowe źródło sinusoidalnego prądu, dla pomiarów indukcji nasycenia. Warto w tym miejscu zauważyć, że pomiary indukcji nasycenia w warunkach magnesowania sinusoidalnym prądem pod nieobecność pola sterującego, dają dokładniejsze wyniki aniżeli przy pomiarach w układzie Roberta, lepiej więc ten potrzebny parametr określić niezależnie lub modyfikować uzupełniać schemat Roberta sinusoidalnym źródłem napięcia. Pomiar całej charakterystyki rdze-

nia jest bardzo czasochłonny, dlatego dla skrócenia czasu kontroli można ograniczyć pomiary np. tylko do pkt. 1, 2, 3, 4 (rys. 1b). Punkty te wystarczająco dokładnie określają charakterystykę pomiarową rdzenia wzmacniacza magnetycznego. Przy ocenie jakości rdzeni wygodniej jest zastępować krzywe histerezy tymi punktami krzywej uzyskanej z badań. Związek pomiędzy danymi pomiarowymi punktów kontrolnych i odpowiadającymi im magnetycznymi wielkościami znajdujemy z zależności:

$$H = \frac{J \cdot z}{l} \quad (15)$$

$$\Delta B = \frac{U}{2f \cdot S \cdot z_p} \quad (16)$$

gdzie:

l , S - długość średnia drogi magnetycznej i przekrój rdzenia.

Wzajemne związki pomiędzy rezultatami pomiarów w punktach kontrolnych a danymi dynamicznej pętli histerezy rdzenia ilustruje rys. 5.

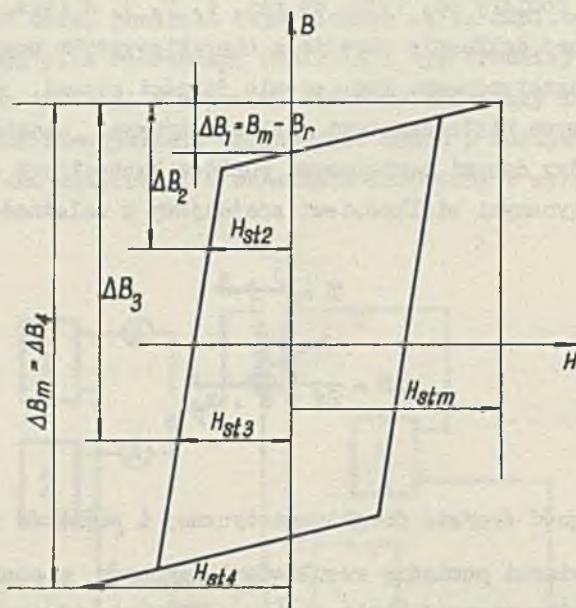
Przedstawione na (rys. 5) zależności określają równania:

$$B_m - B_r = B_1 = \frac{U_1}{2f \cdot S \cdot z_p} \quad (17)$$

$$\Delta B_m = \frac{U_4}{2f \cdot S \cdot z_p} \quad (18)$$

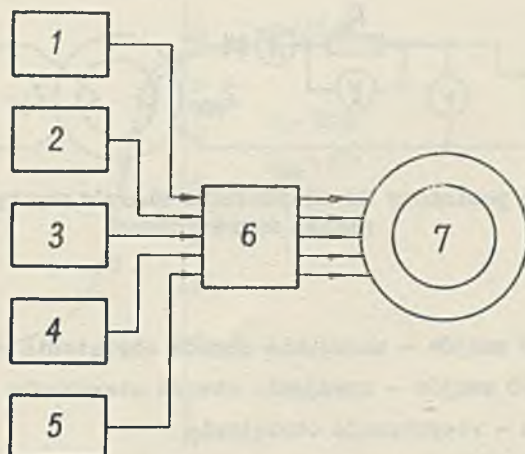
Schemat blokowy stanowiska do masowej kontroli rdzeni metodą Roberta przedstawia rys. 6.

Zmieniając układ przedstawiony na rys. 4, przez włączenie drugiego rdzenia, można określić równocześnie obok parametrów, grupy rdzeni o odpowiednich charakterystykach.



Rys. 5. Zależność między rezultatami pomiarów w punktach kontrolnych a pętlą histerezy. Masowa kontrola rdzeni wymaga określenia następujących wielkości:

- 1) H_{st2} - natężenie pola sterującego odpowiadające pkt. 2 (rys. 1),
- 2) H_{st3} - natężenie pola sterującego odpowiadającego pkt. 3 (rys. 1),
- 3) H_{sto} - natężenie pola sterującego odpowiadającego pkt. 0 (rys. 1), położonego w środku odległości między punktami 2 i 3,
- 4) $H_{st} = H_{st3} - H_{st2}$,
- 5) B_m - amplituda indukcji nasycenia odpowiadająca wartości sinusoidalnego pola wzbudzającego,
- 6) $B_m - B_r$ - wartość charakteryzująca współczynnik prostokątności charakterystyki rdzenia,
- 7) G - nachylenie charakterystyki w pkt. 0 (rys. 1)



Rys. 6. Schemat blokowy stanowiska do masowej kontroli rdzeni metodą Roberta

1 - źródło prądu wzbudzenia, 2 - źródło prądu stałego (pkt. 1, rys. 1b), 3 - źródło prądu stałego (pkt. 2, rys. 1b), 4 - źródło prądu stałego (pkt. 3, rys. 1b), 5 - woltomierz rejestrujący zmiany strumienia, 6 - przełącznik kolejności pracy, 7 - badany rdzeń

4. Pomiary parametrów rdzeni zdjęte w adaptowanym układzie Roberta

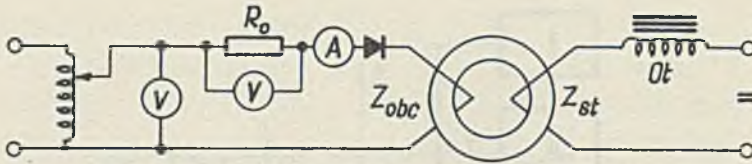
Ocenę przydatności metody Roberta do badań rdzeni dla samonasycalnych wzmacniaczy magnetycznych dokonano w warunkach laboratoryjnych Katedry Technologii Urządzeń Automatyki. Pomiary zostały wykonane dla rdzeni permalojowych produkcji ZPD i U - I.M.Ż. Gliwice, stosowanych we wzmacniaczu typu WM 30/50.

W pierwszej kolejności zostały zdjęte charakterystyki sterowania wzmacniaczy, a następnie wykonano pomiary w adaptowanym układzie Roberta.

4.1. Pomiar charakterystyki sterowania wzmacniacza

Układ pomiarowy przedstawia rys. 7.

Charakterystyki sterowania zdejmowano dla układu wzmacniacza magnetycznego samonasycalnego jednopółkowego.



Rys. 7. Układ pomiarowy do zdejmowania charakterystyki sterowania wzmacniacza magnetycznego

Dane układu:

Z_{obc} = 600 zwojów - uzwojenie obwodu obciążenia

Z_{ster} = 260 zwojów - uzwojenie obwodu sterowania

R_o = 30 om - rezystancja obciążenia

W.M. - rdzeń wzmacniacza magnetycznego (wymiary rdzenia 80x50x20).

Pr - prostownik

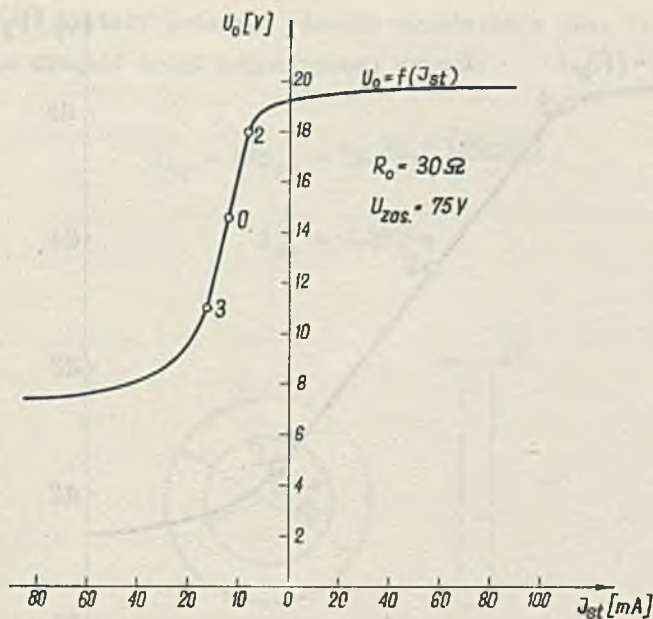
Dł - dławik.

Zdjętą doświadczalnie charakterystykę sterowania badanego wzmacniacza magnetycznego przedstawia rys. 8.

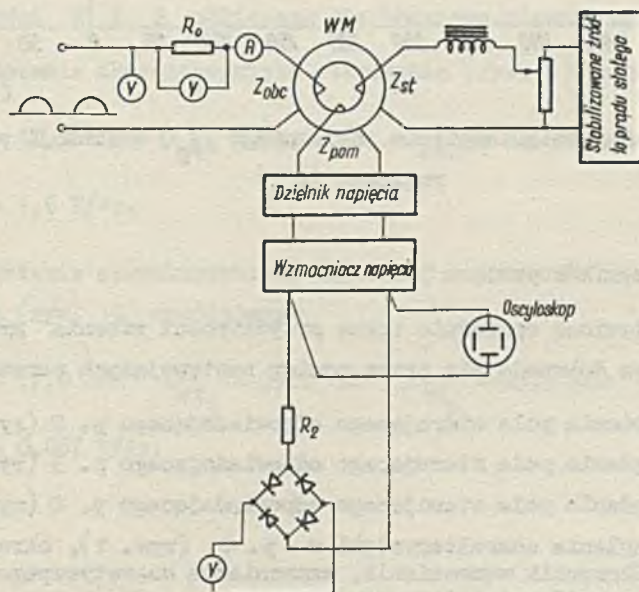
4.2. Pomiar w układzie Roberta

Zastosowany układ pomiarowy przedstawia rys. 9. Kontrolę poprawności przenoszonych sygnałów przeprowadzono przy użyciu oscyloskopu. Napięcie indukowane w uzwojeniu pomiarowym na początku wzmacniano a potem podawano na układ pomiarowy. Sygnał z wyjścia wzmacniacza podawany był na oscyloskop, celem zaobserwowania prawidłowości przenoszonego kształtu sygnału wzmacnianego.

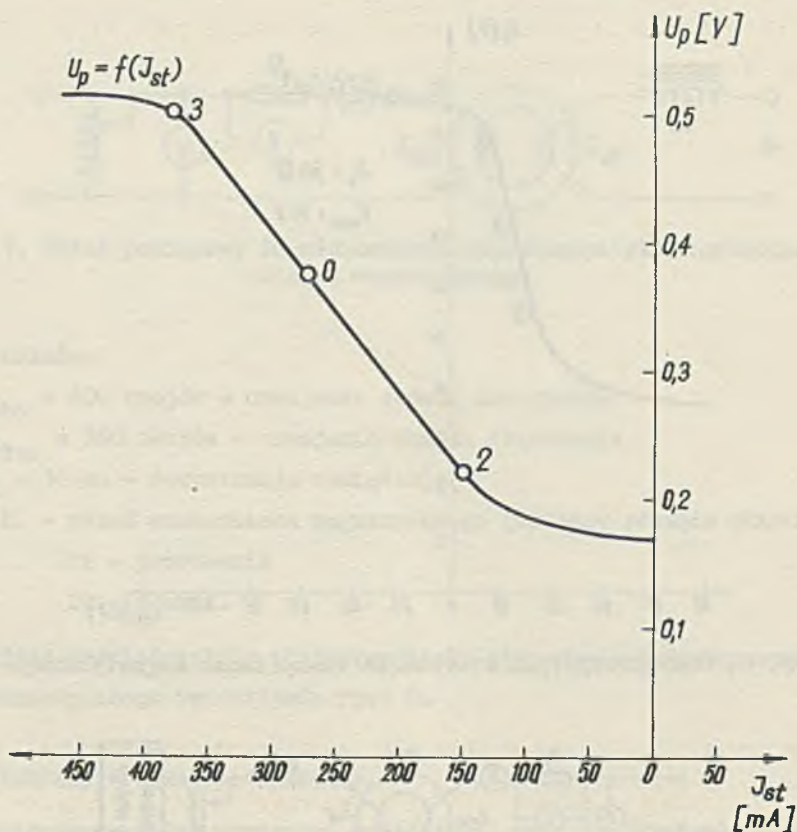
Przebieg zmian napięcia pomiarowego w funkcji zmian prądu sterującego przedstawia rys. 10.



Rys. 8. Charakterystyka sterowania wzmacniacza magnetycznego



Rys. 9. Układ pomiarowy adaptowanej metody Roberta



Rys. 10. Przebieg zmian napięcia pomiarowego (U_p) w funkcji prądu sterującego (J_{st})

4.3. Analiza wyników pomiaru

Jak przedstawiono uprzednio ocenę przydatności rdzenia przy użyciu metody Roberta dokomuje się przez pomiar następujących parametrów:

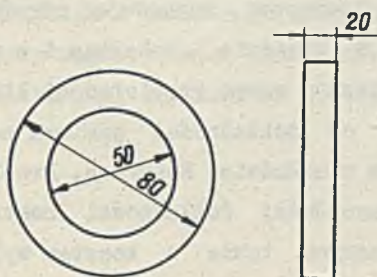
1. H_{st2} - natężenia pola sterującego odpowiadającego p. 2 (rys. 1).
2. H_{st3} - natężenia pola sterującego odpowiadającego p. 3 (rys. 1).
3. H_{sto} - natężenia pola sterującego odpowiadającego p. 0 (rys. 1).
4. G - nachylenia charakterystyki w p. 0 (rys. 1), określającego współczynnik wzmocnienia, wzmacniacza magnetycznego zbudowanego na rdzeniu mierzonym.

Wymiary i kształt badanego rdzenia przedstawia rys. 11.

Średnia długość drogi magnetycznej wynosi:

$$l_{\text{śr}} = 2\pi r_{\text{śr}} = 2\pi \frac{50 + (80-50)}{2} \quad (19)$$

$$l_{\text{śr}} = 0,252 \text{ m}$$



Rys. 11. Wymiary i kształt badanego rdzenia

Wielkości H i G obliczone dla badanego rdzenia są:

1. Na podstawie charakterystyki sterowania (rys. 8) znajdujemy:

$$H_{\text{st}2} = 17,5 \text{ A/m} \quad H_{\text{st}3} = 35,2 \text{ A/m} \quad H_{\text{sto}} = 26,8 \text{ A/m}$$

$$G_{\text{obc}} = 1,6 \text{ V/Az.}$$

2. Na podstawie charakterystyki uzyskanej z pomiarów w układzie Roberta (rys. 10) znajdujemy:

$$H_{\text{st}2} = 17,0 \text{ A/m} \quad H_{\text{st}3} = 29,2 \text{ A/m} \quad H_{\text{sto}} = 23,5 \text{ A/m}$$

$$G_{\text{Rob}} = 0,067 \text{ V/Az.}$$

5. Wnioski i zalecenia końcowe

Pomiary parametrów rdzeni wzmacniaczy magnetycznych w układzie Roberta z uwagi na symulowanie rzeczywistych warunków pracy, stanowią skuteczną i odpowiednią metodę oceny przydatności rdzeni do wzmacniaczy magnetycznych samonasycalnych. Jednak można stwierdzić, że pomiary współczynnika prostokątności rdzenia i indukcji nasycenia (B_{nas}), z uwagi na większą dokładność, lepiej jest wykonywać innymi metodami na przykład metodą oscyloskopową, magnesując rdzeń prądem sinusoidalnym.

Wyniki uzyskane w układzie Roberta i w układzie charakterystyki sterowania, wykazują pewne rozbieżności liczbowe. Wielkość tych rozbieżności zależy od dokładności pomiaru napięcia indukowanego w uzwojeniu pomiarowym w układzie Roberta. Problem ten, przy realizacji układu pomiarowego dużej dokładności nastęrcza wiele trudności technicznych, związanych także z kosztem wykonywania układu. Dużą trudność techniczną stanowi również problem zasilacza obwodu obciążenia szczególnie dla wzmacniaczy większej mocy. Opisane badania w układzie Roberta były wykonywane przy przyjęciu liczby zwojów 20 dla każdego z uzwojeń. Stanowi to górną granicę liczby zwojów do stosowania w przemysłowym układzie kontroli metodą Roberta przede wszystkim z uwagi na wymagany stopień przydatności badanych rdzeni i rozwiązywania układu pomiarowego.

Rozbieżność między uzyskanymi wielkościami w układzie Roberta i w układzie wzmacniacza magnetycznego, wynikają przede wszystkim z uzyskanego stopnia dokładności pomiarów wykonanych w układzie Roberta. Nie umniejsza to jednak wartości i przydatności tej metody, kontrolnych badań przemysłowych. Wielkości testujące H i G danej grupy wzmacniaczy możemy bowiem jednorazowo określić dla rdzenia wzmacniacza, o wymaganej charakterystyce sterowania, następne zaś, będą mogły być kontrolowane na zgodność parametrów z parametrami rdzenia wzorcowego. Jest to jak najbardziej słuszne, jeśli tylko występują powtarzalne warunki pomiarów.

Reasumując można stwierdzić, że chociaż badania i kontrola materiałów magnetycznych w warunkach przemysłowych, z uwagi na techniczne problemy realizacji układów pomiarowych napotyka na duże trudności, to ko-

rzyści osiągane ze stosowania kontrolowanego procesu doboru materiałów magnetycznych na rdzenie powinny zdecydować o tym, aby jak najszerszej wprowadzać te metody do praktyki przemysłowej.

Chodzi tu oczywiście o zapewnienie uzyskania optymalnych i powtarzalnych charakterystyk "wejście - wyjście" samonasyconych wzmacniaczy magnetycznych, których zastosowanie przemysłowe jest coraz to bardziej powszechne.

Analityczne i doświadczalne badania parametrów materiałów magnetycznych dla wzmacniaczy magnetycznych jak i charakterystyk wzmacniaczy magnetycznych nie stanowią zamkniętego problemu i wymagają dalszego kontynuowania.

LITERATURA

- [1] Ju. Awach - Kontrol parametrov i charakteristik serdecznikov magnitnykh usilitelej. Gosenergoizdad, Moskva 1960 r.
- [2] M.A. Rozenblat - Wzmacniacze magnetyczne. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965.
- [3] M.A. Rozenblat - Magnitnyje elementy avtomatiki i wyčislitelnoj techniki. Izdatelstwo "Nauka" Gławnaja Redakcija Fiziko-Matematycznej Literatury Moskva 1966 r.
- [4] R.W. Roberts - Magnetic characteristics pertinent of the operation of cores in selfsaturating magnetic amplifiers AJEE Trans. P.I. V. 73 1954 r.
- [5] R.W. Roberts - Present methods of core evaluation, grading and matching, Conference on Magnetic Amplifiers (Desing and Application) Proceedings, Syracuse, 1956 r.
- [6] H. Kowalowski red. - "Laboratorium elektromechanicznych i magnetycznych elementów automatyki" część II. Wyd. Pol. Śl. Gliwice 1967 r.
- [7] Boyajin C.L. - Low - impedance operational characteristics of toroidal cores used in magnetics amplifiers, Communication and Electronics, Nr 25, 1956.
- [8] Muldoon W.J. - Correlation of hysteresis loops, control characteristics, Conference on Magnetic Amplifiers (Desing and Application), Proceedings, Syracuse, 1956.

THE ROBERTS, METHOD OF TESTING THE DYNAMIC PROPERTIES
OF THE MAGNETIC MATERIALS FOR SELF - SATURATING TRANSDUCTOR
AMPLIFIERS CORES

S u m m a r y

In the article are shown problems of controlling the magnetic materials for self - saturating transductor amplifiers, the basic principles of the Roberts method, which can be used in that control and the results of the laboratory testing.

The results of testing allow for statement that the adapted. Roberts method in the industrial control of cores for selfsaturating transductor amplifiers secure production of the cores with reproducible steening characteristic.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИЛ. СЕРДЕЧНИКИ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ РОБЕРТСА

Р е з ю м е

В работе рассмотрено вопросы контроля магнитных материалов принимаемых для магнитных усилителей с внутренней обратной связью. Описываются основные принципы метода Робертса в применении к сердечникам самонасыщаемых магнитных усилителей а также итоги экспериментальных исследований. Полученные результаты позволяют заключить, что адаптированный метод Робертса применимый для заводского контроля обеспечивает получение повторяемых высококачественных характеристик исследованных усилителей.