

8. BADANIE WŁASNOŚCI MATERIAŁÓW MAGNETYCZNIE MIĘKKICH ZA POMOCĄ APARATU EPSTEINA 25 CM

8.1. Wprowadzenie

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z materiałami magnetycznie miękkimi, ich właściwościami, zastosowaniem w elektrotechnice.

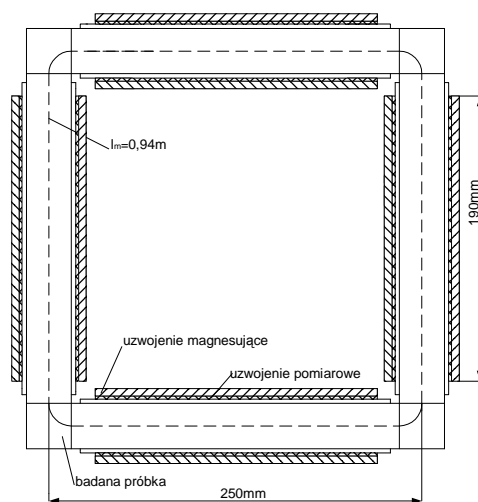
Podczas ćwiczenia studenci zapoznają się z metodą badania stratności blach transformatorowych za pomocą aparatu Epsteina 25 cm.

W celu poprawnego wykonania ćwiczenia należy zapoznać się z następującymi zagadnieniami przed przystąpieniem do ćwiczenia:

- pojęcie i podział materiałów magnetycznych,
- pochodzenie, sposób wytwarzania i właściwości materiałów magnetycznych,
- definicje pojęć i zjawisk opisujących pole magnetyczne (histereza magnetyczna, indukcja magnetyczna B , natężenie pola magnetycznego H , przenikalność magnetyczna μ , straty w materiale magnetycznym),
- sposób magnesowania i rozmagnesowania materiału magnetycznego (pętla histerezy magnetycznej, krzywa pierwotna magnesowania, parametry opisujące właściwości materiału magnetycznego: indukcja nasycenia B_n , indukcja remanentu (pozostałość magnetyczna) B_r , natężenie koercji (powściąagające) H_c , natężenie maksymalne H_m).

Aparat Epsteina jest układem służącym do wyznaczania stratności blach transformatorowych i prądnicowych. Znormalizowane próbki tych blach stanowią rdzeń nieobciążonego transformatora, którym jest aparat Epsteina.

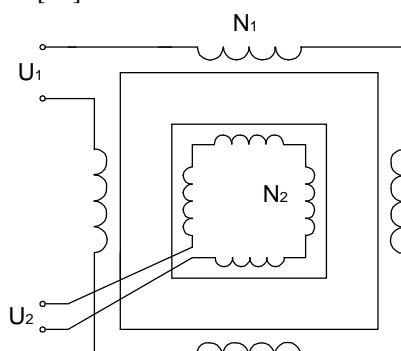
Składa się on z czterech jednakowych sekcji uzwojeń nawiniętych na płycie izolacyjnej (karkasie), z których każde ma uzwojenie magnesujące (pierwotne) i pomiarowe (wtórne), rys. 8.1.



Rys. 8.1 Budowa aparatu Epsteina 25 cm

Każde z uzwojeń zawiera po 175 zwojów z tym, że uzwojenie pomiarowe nawinięte jest bezpośrednio na karkasie i rozłożone w jednej warstwie, natomiast uzwojenie magnesujące nawinięte jest bezpośrednio na uzwojeniu pomiarowym i rozłożone w trzech warstwach. Między uzwojeniami zastosowano ekran elektrostatyczny. Karkasy, na których nawinięte są cewki wykonane są z twardego materiału izolacyjnego (tekstolit), mają prostokątny przekrój poprzeczny o wymiarach: 32x10mm. Poszczególne uzwojenia pierwotne jak i wtórne cewek połączone są szeregowo zgodnie z rysunkiem 8.2. Całkowita liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego wynosi 700.

Uzwojenie magnesujące zostało nawinięte dwoma równoległe połączonymi miedzianymi drutami o przekroju $1,8 \text{ mm}^2$ każdy, a uzwojenie pomiarowe miedzianym drutem o przekroju $0,8 \text{ mm}^2$ [13].



Rys. 8.2 Schemat połączeń uzwojeń aparatu

Całkowita rezystancja uzwojenia wtórnego wynosi $R_2=2,1\Omega$, a pierwotnego $R_1=0,7\Omega$

Uzwojenia ustawione są w czworobok na wspólnej płycie izolacyjnej tak, że ich osie tworzą kwadrat o boku 25 cm.

W skład aparatu Epsteina wchodzi także cewka indukcyjności wzajemnej do kompensacji strumienia rozproszenia w powietrzu. Cewka ta jest umieszczona w centrum przestrzeni zamkniętej przez cztery uzwojenia aparatu, a jej oś obrotu jest skierowana prostopadle do płaszczyzny osi tych cewek. Uzwojenie pierwotne ma 44 zwoje i wykonane jest drutem miedzianym o przekroju $2,2 \text{ mm}^2$, natomiast uzwojenie wtórne ma 275 zwojów i wykonane jest drutem o przekroju $0,4 \text{ mm}^2$. Cewka nawinięta jest na niemagnetycznym okrągłym rdzeniu o średnicy 55 mm. Uzwojenie pierwotne cewki indukcyjności wzajemnej połączone jest szeregowo z uzwojeniem pierwotnym aparatu, uzwojenie wtórne połączone jest szeregowo przeciwsobnie z uzwojeniem wtórnym aparatu.

8.2. Program ćwiczenia

8.2.1. ZAPOZNANIE SIĘ Z RODZAJAMI MATERIAŁÓW MAGNETYCZNIE MIĘKKICH

- 1) czyste odmiany żelaza,
- 2) stale krzemowe:
 - gorącowałcowana,
 - zimnowalcowana,
- 3) stopy żelazoniklowe,
- 4) stopy żelazokobaltowe,
- 5) magnetodielektryki i ferryty.

8.2.2. ZAPOZNANIE SIĘ Z PRÓBKAMI WYBRANYCH MATERIAŁÓW MAGNETYCZNIE MIĘKKICH

W czasie pomiarów jako rdzeń transformatora będzie wykorzystywana jedna z trzech dostępnych próbek. Należy zapoznać się z jej parametrami technicznymi.

Próbka nr 1 – blacha krzemowa anizotropowa zimnowalcowana, symbol ET 41-27, próbka składa się z 60 pasków o wymiarach 280x30 mm, wszystkie paski blachy zostały wycięte zgodnie z kierunkiem walcowania, średnia grubość jednego paska 0,27 mm.

Dane techniczne:

- klasa jakości 1;
- indukcja nasycenia $B_{n1}=1,89$ T;
- masa całej próbki $m_1=0,99$ kg;
- gęstość materiału próbki $\rho_{m1}=7650$ kg/m³.

Próbka nr 2 – blacha anizotropowa zimnowalcowana, próbka składa się z 48 pasków o wymiarach 280x30 mm, wszystkie paski blachy zostały wycięte wzdłuż kierunku walcowania, średnia grubość jednego paska 0,36mm.

Dane techniczne:

- indukcja nasycenia około $B_{n2}=1,5 - 1,6$ T;
- masa całej próbki $m_2=1,08$ kg;
- gęstość materiału próbki $\rho_{m2}=7673,6$ kg/m³

Próbka nr 3 – blacha izotropowa gorącowalcowana, której obecnie już się nie produkuje, próbka składa się z 48 pasków o wymiarach 280x30 mm, wszystkie paski blachy zostały wycięte zgodnie z kierunkiem walcowania, średnia grubość jednego paska 0,35 mm.

Dane techniczne:

- indukcja nasycenia około $B_{n3}=1,1-1,2$ T;
- masa całej próbki $m_3=1,00$ kg;
- gęstość materiału próbki $\rho_{m3}=7358,8$ kg/m³

Przygotowanie do pomiarów

Dla wybranej próbki obliczyć:

- masę czynną m_a z zależności:

$$m_a = \frac{l_m}{4 \cdot l} \cdot m \quad (8.1)$$

m – masa całkowita badanej próbki

l – długość paska badanej próbki

l_m – umowna efektywna droga strumienia magnetycznego ($l_m = 0,94m$)

- **powierzchnię przekroju poprzecznego: S_{Fe} :**

$$S_{Fe} = \frac{m}{4 \cdot l \cdot \rho_m} \quad (8.2)$$

ρ_m – gęstość materiału

- średnie napięcie uzwojenia wtórnego \bar{U}_2 dla maksymalnych wartości indukcji magnetycznej $B_m = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8$ T korzystając z zależności:

$$\bar{U}_2 = 4f \cdot N_2 \cdot S_{Fe} \cdot B_m \quad (8.3)$$

f – częstotliwość, N_2 – liczba zwojów uzwojenia wtórnego ($N_2=700$), B_m – indukcja maksymalna (dla odpowiedniej próbki)

Dane do obliczeń:

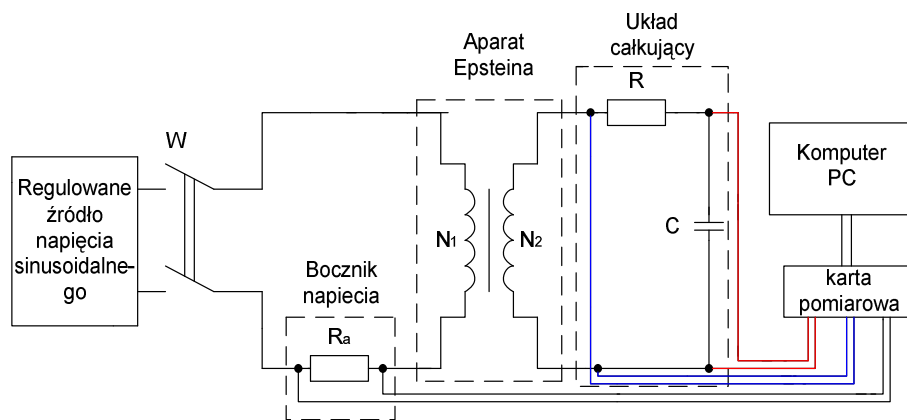
$m_1 = 0,99$ kg, $\rho_{m1} = 7650$ kg/m³; $B_{n1} = 1,89$ T;

$m_2 = 1,08$ kg, $\rho_{m2} = 7673,6$ kg/m³; $B_{n2} = 1,5 - 1,6$ T;

$m_3 = 1,00$ kg, $\rho_{m3} = 7358,8$ kg/m³; $B_{n3} = 1,1 - 1,2$ T;

$l = 0,28$ m

8.3. Badanie właściwości dynamicznych przy pomocy aparatu Epsteina 25cm



Rys. 8.3. Schemat układu do badania dynamicznych właściwości materiałów magnetycznych

Przed przystąpieniem do badań próbkę należy rozmagnesować zmiennym polem magnetycznym; polega to na zasileniu uzwojenia pierwotnego aparatu Epsteina prądem o wartości, dla której natężenie pola jest maksymalne i zmniejszaniu go aż do zera.

Dla obliczonych kolejnych wartości \bar{U}_2 zaobserwować przebiegi: prądu magnesującego, napięcia indukowanego oraz kształt pętli histerezy. Zapisać pomiary dla indukcji równej indukcji nasycenia B_n . Z wykresów pętli histerezy odczytać charakterystyczne parametry:

- indukcję remanencji B_r ,
- natężenie koercji H_c ,
- indukcja nasycenia B_n
- maksymalne natężenie pola magnetycznego H_m .

Obliczenia

- H_m – maksymalne natężenie pola magnetycznego z zależności:

$$H_m = \frac{N_1 \cdot I_m}{l_m} \quad (8.4)$$

gdzie: I_m – maksymalny prąd magnesujący, l_m – umowna efektywna droga strumienia magnetycznego ($l_m = 0,94\text{m}$)

- B_m - maksymalną wartość indukcji, (która dla maksymalnego natężenia pola równa jest indukcji nasycenia B_n), z zależności:

$$B_m = \frac{\bar{U}_2}{4f \cdot N_2 \cdot S_{Fe}} \quad (8.5)$$

gdzie: \bar{U}_2 - napięcie średnie strony wtórnej; f – częstotliwość

- stratność magnetyczną Δp_{Fe} badanych próbek z zależności:

$$\Delta p_{Fe} = \frac{P}{m_a} \quad (8.6)$$

P – moc czynna, m_a - masa czynna

- stratność pozorną S_s badanych próbek z zależności:

$$S_s = S \cdot \frac{N_1}{N_2 \cdot m_a} \quad (8.7)$$

$N_1 = N_2 = 700$ – liczba uzwojeń strony pierwotnej i wtórnej aparatu Epsteina; m_a - masa czynna

Otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń należy zamieścić w tabeli 8.

Tabela 8. Wyniki pomiarów dla próbki nr...

I_m [A]	I_{RMS} [A]	\bar{U}_2 [V]	U_{2RMS} [V]	P [W]	S [VA]	H_m [A/m]	B_m [T]	Δp_{Fe} [W/kg]	S_s [VA/kg]

Podczas pomiarów nie należy przekroczyć wartości skutecznej prądu magnesującego powyżej 1 A!

Jeżeli w trakcie pomiarów wyliczona wartość napięcia zostanie przekroczona to zabronione jest regulowanie napięcia do obliczonej wartości. **Raz ustawione napięcie**

nie może być zmniejszane. Jeżeli nastąpiło przeregulowanie, to wartość ustawionego napięcia należy zanotować, a następnie przeliczyć na wartość odpowiadającego mu natężenia pola magnetycznego.

8.4. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy umieścić:

1. Wnioski i spostrzeżenia z punktu 1, dotyczące różnic i zastosowań materiałów magnetycznie miękkich.
2. Opisać badane próbki oraz zamieścić obliczenia wykonane podczas ćwiczenia.
3. Sformułować i zapisać wnioski na temat badanego materiału magnetycznego na podstawie zaobserwowanej pętli histerezy magnetycznej.
4. Przedstawić wykresy pętli histerezy, krzywych komutacyjnych $B_m=f(H_m)$, wykresy $\Delta p_{Fe}=f(B_m)$, $S_s=f(B_m)$ oraz przebiegi prądu magnesującego i napięcia indukowanego.
5. Wnioski i spostrzeżenia zamieścić w sprawozdaniu

8.5. Literatura podstawowa

1. Celiński Z., Materiałoznawstwo elektrotechniczne. OWPW, Warszawa 2005
2. Nałęcz M. Jaworski J.: „*Miernictwo magnetyczne*” Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1968
3. Kuryłowicz J. „*Badanie materiałów magnetycznych*” Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1962
4. „*Poradnik inżyniera elektryka*” Tom 1 Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa 1996
5. Polska Norma PN- EN 60404-2: „*Metody pomiaru własności magnetycznych stalowych blach i taśm elektrotechnicznych przy użyciu aparatu Epsteina*” 1998
6. <http://www.kwnae.ee.pw.edu.pl/labmat/mat06.pdf>, „*Badanie własności materiałów Ferromagnetycznych*” Politechnika Warszawska 2006