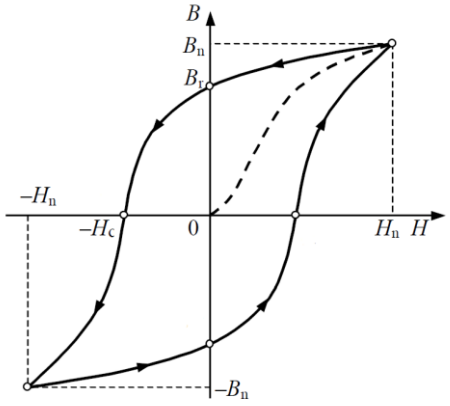
Badanie strat na przemagnesowanie rdzenia transformatora ferromagnetycznego

1. Wprowadzenie

W elektrotechnice, ferromagnetyki, składające się żelaza, niklu, kobaltu lub stopów tych metali ziem rzadkich, są szczególnie ważnymi grupami materiałów magnetycznych. Charakteryzują się one bardzo dużymi wartościami względnej przenikalności magnetycznej, której maksymalna wartość w pewnych specjalnych stopach przekracza ponad wartość 100 000. Przenikalność magnetyczna ferromagnetyków nie jest stała dla danego materiału, ponieważ związek pomiędzy wektorami indukcji magnetycznej ***B***, a natężeniem pola magnetycznego ***H*** nie jest liniowy. Indukcja magnetyczna i gęstość momentu magnetycznego ferromagnetyków są niejednoznaczne w funkcji natężenia pola magnetycznego i nie zależą wyłącznie od wartości natężenia pola magnetycznego w czasie obserwacji, ale również od natężenia pola, w którym materiał był uprzednio wprowadzony. Zjawisko to jest nazywane histerezą magnetyczną.

Związek pomiędzy indukcją magnetyczną, a polem magnetycznym w ferromagnetykach można przedstawić za pomocą pętli histerezy przedstawionej na rysunku 1. Istnieje kilka metod pomiarowych, powszechnie stosowanych do wyznaczania pętli histerezy ferromagnetyków, takich jak metody Roland'a i Juing'a, do pomiaru prądu stałego, a także katodowej - metodą pomiaru oscyloskopem, która wykorzystuje prąd zmienny.

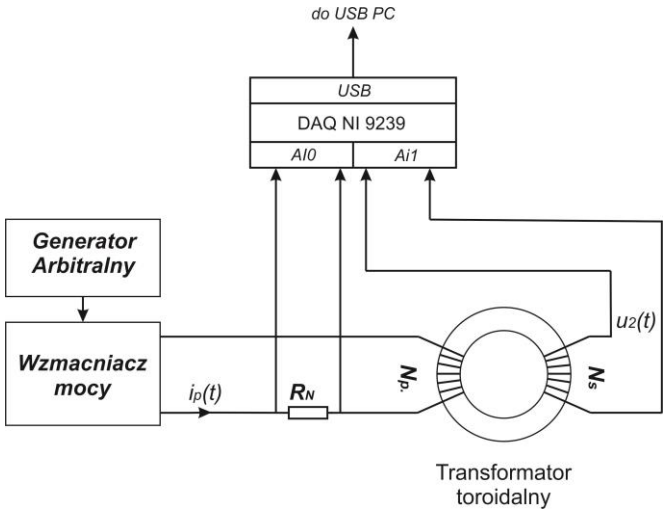


Rys. 1. Pętla histerezy dla materiału ferromagnetycznego

Znajomość pętli histerezy dla rdzenia ferromagnetycznego jest bardzo ważnym zagadnieniem. Wymiary i kształt rdzenia ferromagnetycznego szeroko wpływają na jego straty, które nie są bez znaczenia. Do pomiaru strat oraz rejestracji pętli histerezy wykorzystano ferromagnetyczny rdzeń o kształcie toroidalnym wspomaganym programowo przez środowisko LabVIEW.

2. Przyrządy pomiarowe i metody pomiarowe

System pomiarowy do wyznaczania strat na przemagnesowanie rdzenia ferromagnetycznego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiarowego do wyznaczania strat mocy transformatora ferromagnetycznego.

Sinusoidalny sygnał o regulowanej częstotliwości i amplitudzie jest generowany przez generator arbitralny **GEN**. Następnie sygnał ten jest wzmocniony przez wzmacniacz mocy, którego wyjście zasila pierwotne uzwojenie $\mathbf{N_p}$ transformatora toroidalnego. W obwód pierwotnego uzwojenia włączono rezystor pomiarowy $\mathbf{R_N}$, z którego mierzony jest spadek napięcia za pomocą karty pomiarowej akwizycji danych DAQ NI 9239 na pierwszym kanale **AI0**. Ze względu na przepływ prądu w uzwojeniu pierwotnym transformatora toroidalnego powstaje natężenie pola magnetycznego ***H(t)***. Jego wielkość może być obliczona w oparciu o prawo Ampera jako:

$$H(t) = \frac{N_p i_p(t)}{l}$$

gdzie: $\mathbf{N_p}$ jest liczbą zwojów uzwojenia pierwotnego, $\boldsymbol{i_p(t)}$ jest przepływającym prądem w tym uzwojeniu oraz **l** jest średnią drogą magnetyczną rdzenia. Wynikiem natężenia pola magnetycznego *H(t)* jest wytworzenie strumienia magnetycznego ***φ(t)*** wewnątrz rdzenia.

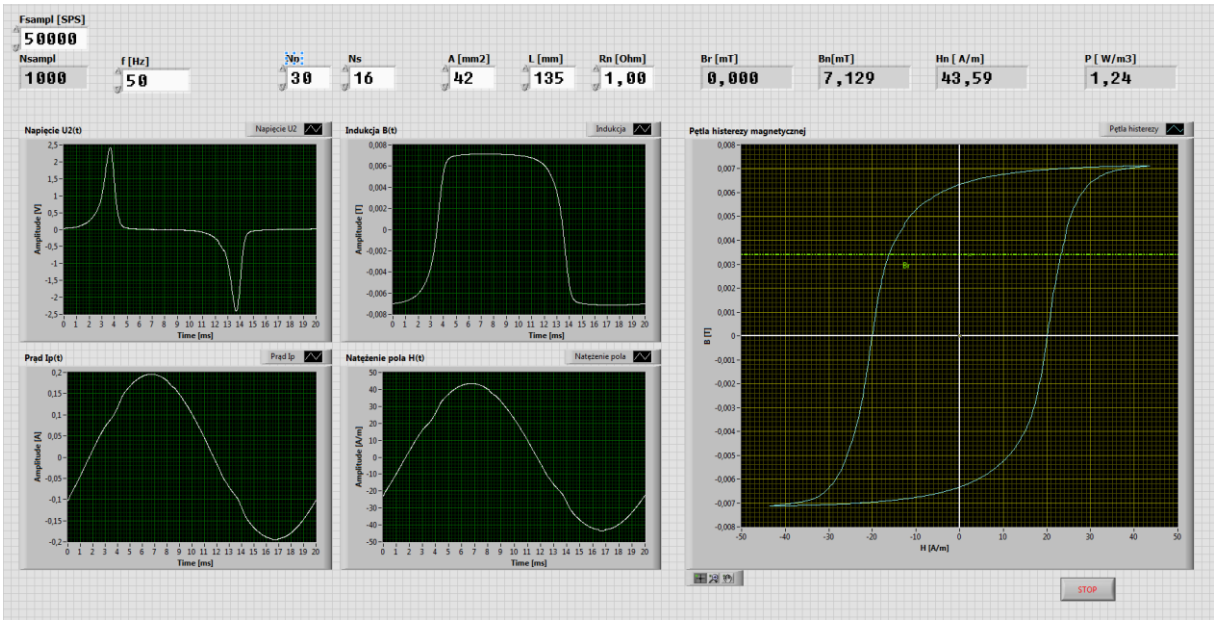
Następnie gęstość strumienia magnetycznego *B(t)* może być obliczona na podstawie napięcia wyindukowanego $u_2(t)$ na zaciskach uzwojenia wtórnego **Ns** zmierzonego za pomocą karty pomiarowej akwizycji danych DAQ NI 9239 na drugim kanale **AI1**:

$$B(t) = B_0 + \frac{1}{AN_S}\int_0^t u_2(\tau)d\tau$$

gdzie: $\mathbf{N_S}$, jest liczbą zwojów w uzwojeniu wtórnym, $u_2(t)$ jest napięciem indukowanym w uzwojeniu wtórnym, **A** jest przekrojem poprzecznym rdzenia toroidalnego i B_0 jest przesunięciem.

3. Opis i korzystanie z aplikacji w LabVIEW do pomiaru strat

Przedstawiony na rysunku 3 wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania strat w rdzeniu transformatora został utworzony w środowisku programistycznym LabVIEW. W celu uruchomienia aplikacji należy kliknąć na przycisk , po uprzednim wprowadzeniu wartości w odpowiednie pola. Wirtualny przyrząd pomiarowy, oprócz wyświetlania wartości strat ***P*** dla danej częstotliwości pracy, umożliwia graficzną prezentację uzyskanych wyników pomiarów na czterech diagramach w postaci przebiegów czasowych napięć $\boldsymbol{u_{wy}(t)}$, $\boldsymbol{u_{Rn}(t)}$, indukcji magnetycznej ***B(t)***, natężenia pola magnetycznego ***H(t)***, a także rejestrację pętli histerezy magnetycznej.



Rys. 3. Panel czołowy wirtualnego przyrządu pomiarowego do wyznaczania strat mocy transformatora ferromagnetycznego

Opis poszczególnych elementów programu:

Fsampl [SPS] – częstotliwość próbkowania zastosowanej karty pomiarowej DAQ NI 9239. Należy ją ustawić na wartość 50000 SPS.

Nsampl – ilość próbek przypadająca na dany pełny okres przebiegu.

f [Hz] – częstotliwość zasilania transformatora toroidalnego. Jest to częstotliwość zadawana za pomocą generatora arbitralnego (patrz Tab. 1). Początkową wartość ustaw na 10 Hz.

Np – liczba zwoi uzwojenia pierwotnego badanego transformatora. Należy wprowadzić wartość 30 zwojów.

Ns **–** liczba zwoi uzwojenia wtórnego badanego transformatora. Należy wprowadzić wartość 16 zwojów.

A [mm2] – przekrój poprzeczny rdzenia badanego transformatora, należy ustawić na wartość 42 mm^2.

L[mm] – średnia droga magnetyczna rdzenia badanego transformatora. Należy wprowadzić wartość 134 mm.

Br[mT] – indukcja magnetyczna szczątkowa. Wartość tę należy odczytać i zanotować dla różnych wartości częstotliwości podanych w tabeli 1.

Bn[mT] – indukcja magnetyczna nasycenia rdzenia. Wartość tę należy odczytać i zanotować dla różnych wartości napięć zasilania U_{we} podanych w tabeli 2.

Hn[mT] – natężenie pola, przy którym następuje nasycenie rdzenia. Wartość tę należy odczytać i zanotować dla różnych wartości napięć zasilania U_{we} podanych w tabeli 2.

P[W/m3] – straty mocy w rdzeniu badanego transformatora. Wartość tę należy odczytać i zanotować dla różnych wartości częstotliwości podanych w tabeli 1.

Prąd Ip (t) – diagram przebiegu czasowego prądu przepływającego przez uzwojenie pierwotne badanego transformatora.

Napięcie U2(t) – diagram przebiegu czasowego napięcia wtórnego indukowanego w uzwojeniu wtórnym badanego transformatora.

Indukcja B(t) – diagram przebiegu czasowego indukcji magnetycznej.

Natężenie pola H(t) **–** diagram przebiegu czasowego natężenia pola magnetycznego.

Stop – przycisk stopu, zatrzymujący działanie programu.

4. Program ćwiczenia

a) Uruchom program do badania strat materiałów magnetycznych o nazwie „***Badanie strat rdzenia transformatora toroidalnego***”, znajdujący się na pulpicie monitora
b) Następnie włącz wzmacniacz mocy oraz generator arbitralny. Na generatorze wybierz przebieg sinusoidalny oraz ustaw amplitudę na 20 mV. Włącz kanał OUTPUT generatora przyciskiem ON
c) Wprowadź odpowiednie wartości parametrów rdzenia badanego transformatora i innych, jak podano w punkcie 3

d) Ustaw częstotliwość pracy na generatorze arbitralnym zgodą z częstotliwością wprowadzoną w programie. Częstotliwość ustawiona na generatorze musi się zgadzać z częstotliwością wprowadzoną w programie.
e) Uruchom aplikację za pomocą przycisku 
f) Odczytaj wartości strat mocy rdzenia ***P*** oraz indukcję szczątkową $\boldsymbol{B_r}$ i wyniki zanotuj w tabeli 1
g) Wykonaj czynności z punktu e) oraz g) dla wszystkich częstotliwości podanych w tabeli 1
h) Wyznaczyć charakterystyki *P = f(f)* oraz $B_r = f(f)$
i) Wskazać częstotliwości, dla których uzyskuje się najmniejsze oraz największe wartości strat rdzenia ***P*** oraz indukcji szczątkowej $\boldsymbol{B_r}$
j) Ustawiając częstotliwość pracy na generatorze i w programie na 50 Hz, zmieniaj amplitudę sygnału w zakresie od 1 mV do 30mV z krokiem, co 2 mV. Odczytaj wartości indukcji magnetycznej nasycenia $\boldsymbol{B_n}$ oraz natężenia pola magnetycznego $\boldsymbol{H_n}$, przy którym następuje nasycenie rdzenia. Wyniki zanotuj w tabeli 2
k) Wyznaczyć krzywą magnesowania transformatora *B = f(H)*
l) Wyznaczyć odcinek, w którym rdzeń wchodzi w stan nasycenia. Określić maksymalną wartość indukcji nasycenia $\boldsymbol{B_{max}}$ oraz maksymalną wartość natężenia pola magnetycznego $\boldsymbol{H_{max}}$, przy którym występuje maksymalna indukcja nasycenia rdzenia
m) Określić wartość względnej przenikalności magnetycznej μ_r. Oszacować na jej podstawie, do jakiego gatunku materiału należy badany rdzeń ferromagnetyczny

Tab. 1 Wyniki pomiarów.

f [Hz]	P [W/mm3]	Br [mT]	Uwagi
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
110			
120			
130			
140			
150			
160			
170			
180			
190			
200			
210			
220			
230			
240			
250			
260			
270			
280			
290			
300			
310			
320			
330			
340			
350			
360			
370			
380			
390			
400			

Tab. 2 Wyniki pomiarów.

U_{we} [mV]	B_{max} [A/m]	H_{max} [mT]	Uwagi
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			