

Ćwiczenie nr 7

Badanie wybranych elementów i układów z rdzeniami ferromagnetycznymi

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest badanie dławika jako elementu nieliniowego, wyznaczenie jego parametrów zastępczych oraz badanie trójfazowego potrajacza częstotliwości.

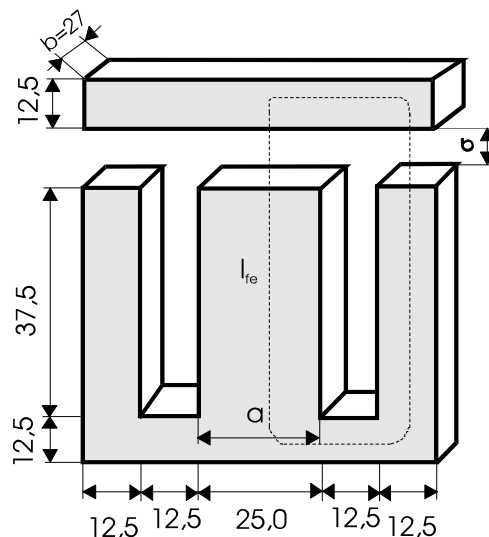
2. Program badań

2.1. Stosowane panele i przyrządy pomiarowe

- panel „ZASILACZ TRÓJFAZOWY”
- panel „DŁAWIK”
- panel „ODBIORNIK TRÓJFAZOWY”
- panel „POTRAJACZ CZĘSTOTLIWOŚCI”
- oscyloskop HP 54603B
- amperomierz elektromagnetyczny
- woltomierz uniwersalny, 2 szt.
- watomierz elektrodynamiczny
- autotransformator z transformatorem izolującym.

2.2. Określenie parametrów dławika

W tym punkcie należy wyznaczyć długość drogi strumienia w rdzeniu (l_{Fe}) oraz przekrój rzeczywisty środkowej kolumny rdzenia ferromagnetycznego (S_{Fe}).



Rys. 7.1. Dane geometryczne rdzenia dławika

Panel „DŁAWIK” zawiera dławik wykonany na rdzeniu ferromagnetycznym złożonym z kształtek E, I ze szczeliną między rdzeniem a zworą o długości $\delta=0,5$ mm. Na środkową kolumnę rdzenia są nawinięte dwa jednakowe uzwojenia o liczbie zwojów $z_1=z_2=400$ przewodem o średnicy 0,6 mm. Przez uzwojenia te może ciągle płynąć prąd $I=1$ A i odpowiednio w krótszym czasie $I(t=5 \text{ min.})=1,5$ A oraz $I(t=1 \text{ min.})=2$ A.

Wymiary rdzenia ferromagnetycznego są podane na rys. 7.1 (w milimetrach).

Długość drogi strumienia w rdzeniu l_{Fe} wynosi:

$$l_{Fe}=2\cdot 31,25+2\cdot 50,5=163,5 \text{ mm}=0,1635 \text{ m}$$

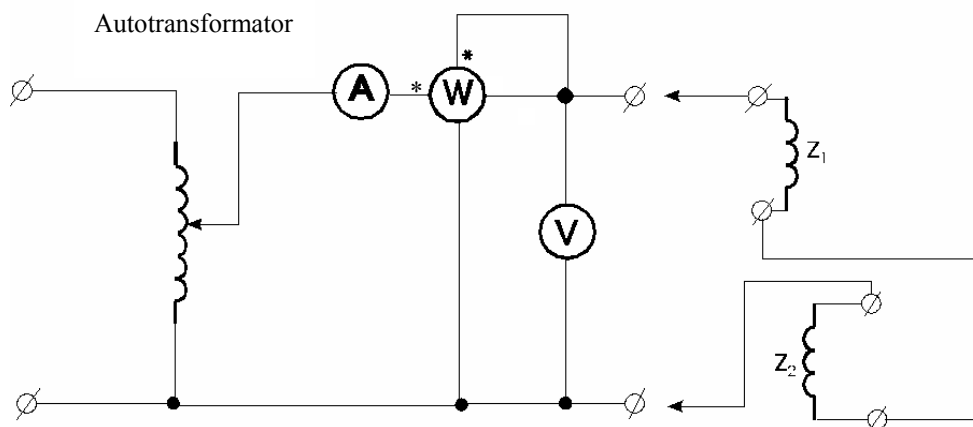
Przekrój środkowej kolumny rdzenia wynosi:

$$S_{Fe}=k\cdot a\cdot b=0,93\cdot 25\cdot 27=6,28\cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

gdzie $k=0,93$ jest współczynnikiem wypełnienia rdzenia.

2.3. Identyfikacja elementów schematu zastępczego dławika i pomiary własności magnetycznych rdzenia

Identyfikacja elementów schematu zastępczego dławika przedstawionego na rys. 7.1 sprowadza się do wyznaczenia charakterystyki magnesowania $B = f(H)$ oraz wartości R_{Cu} , X_L , B_μ i G_{Fe} . Schemat pomiarowy przedstawiony jest rys. 7.2.



Rys. 7.2. Schemat pomiarowy do identyfikacji parametrów schematu zastępczego (R_{Cu})

Wyniki pomiarów dla trzech wartości prądu I (np. 0,5;1;2 A) należy wpisać do tabeli 7.1.

Tabela 7.1

Lp.	Pomiary			Obliczenia		
	I [A]	U [V]	P [W]	R_w [Ω]	R_{sr} [Ω]	R_{Cu} [Ω]
1						
2						
3						

Cewkę z_1 traktujemy jako uzwojenie dławika, a cewkę z_2 - jako pomocniczą.

Całkowita moc mierzona jest mocą czynną strat w uzwojeniu, a R_w jest sumą rezystancji dwóch cewek połączonych szeregowo:

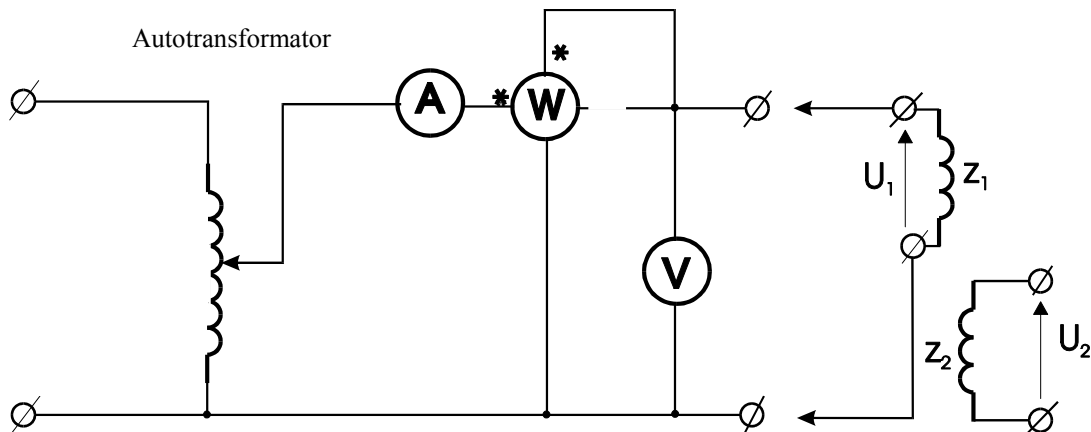
$$R_w = \frac{P}{I^2} \quad (7.1)$$

$$R_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n R_w}{n}, \quad \text{gdzie } n \text{ jest liczbą pomiarów.} \quad (7.2)$$

Rezystancję R_{Cu} obliczamy dzieląc R_{sr} przez 2 jako rezystancję jednej cewki:

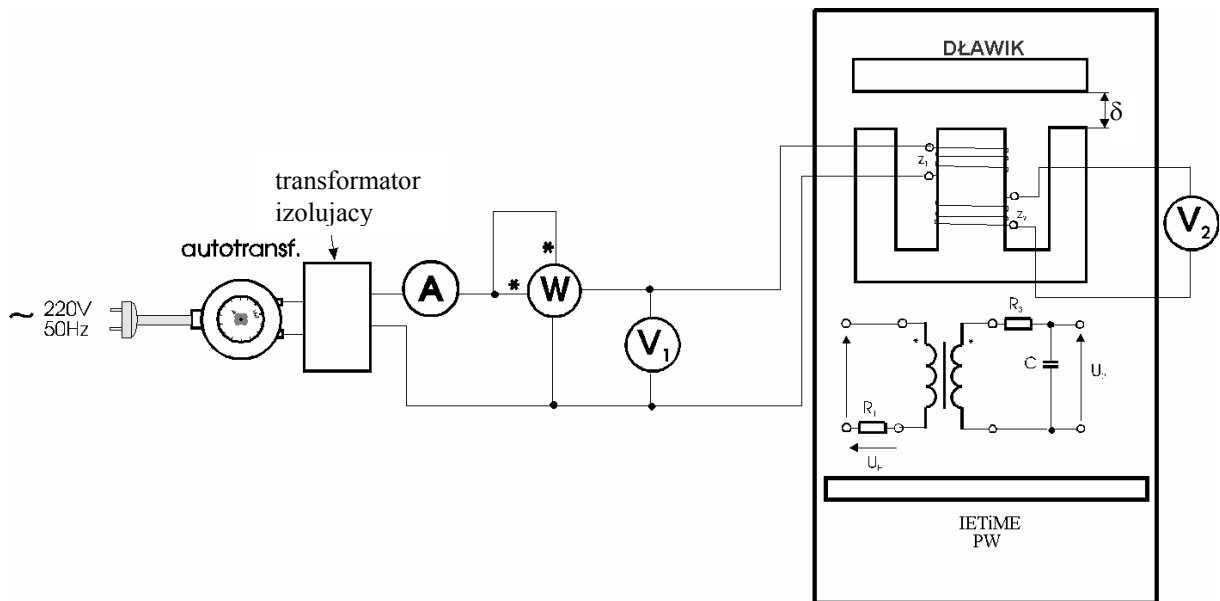
$$R_{Cu} = \frac{R_{sr}}{2} \quad (7.2)$$

Do wyznaczenia pozostałych elementów schematu zastępczego dławika wykorzystujemy pomiary wykonane w układzie pokazanym na rysunku 7.3.



Rys. 7.3. Schemat pomiarowy do wyznaczenia pozostałych parametrów dławika

Schemat połączeń panelu DŁAWIK przedstawiony jest na rys. 7.4.



Rys. 7.4. Układ pomiarowy do wyznaczenia parametrów zastępczych dławika

Wyniki pomiarów zamieszczamy w tabeli 7.2

Tabela 7.2

Lp.	Pomiary				Obliczenia								
	I	U ₁	P ₁	U ₂	B	P ₀	I _{Fe}	I _μ	H	G _{Fe}	B _μ	X _L	L
	A	V	W	V	T	W	A	A	A/m	Ω ⁻¹	Ω ⁻¹	Ω	H
1													
2													
...													

Pomiary należy wykonać dla dziesięciu wartości prądu I (0,2÷2 A).

Indukcję magnetyczną **B** obliczamy ze wzoru:

$$B = \frac{U_2}{4,44 f z_2 S} \quad (7.4)$$

Moc czynną traconą w rdzeniu P₀ wyznaczamy następująco:

$$P_0 = P_1 - R_{Cu} I^2$$

gdzie: P₁ - całkowita moc czynna stracona w dławiku
R_{Cu}I² - moc tracona w uzwojeniu.

Prądy obliczamy ze wzorów:

$$I_{Fe} = \frac{P_0}{U_2} \quad \text{- prąd strat w rdzeniu} \quad (7.5)$$

$$I_{\mu} = \sqrt{I^2 - I_{Fe}^2} \quad \text{- prąd magnesujący.} \quad (7.6)$$

$$\text{Z prawa przepływu: } I_{\mu} \sqrt{2} z_1 = H_{Fe} l_{Fe} + \frac{1}{\mu_0} B_p 2\delta \quad (\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}) \quad (7.7)$$

wyprowadzamy wzór na natężenie pola magnetycznego **H**:

$$H = \frac{I_{\mu} \sqrt{2} z_1 - 0,8 \cdot 10^6 B 2\delta}{l_{Fe}} \quad (7.8)$$

$$G_{Fe} = \frac{I_{Fe}}{U_2}, \quad B_{\mu} = \frac{I_{\mu}}{U_2} \quad (7.9)$$

X_L wyznaczamy z równania wynikaj¹cego z wykresu wektorowego dla cewki nie liniowej ze stratami:

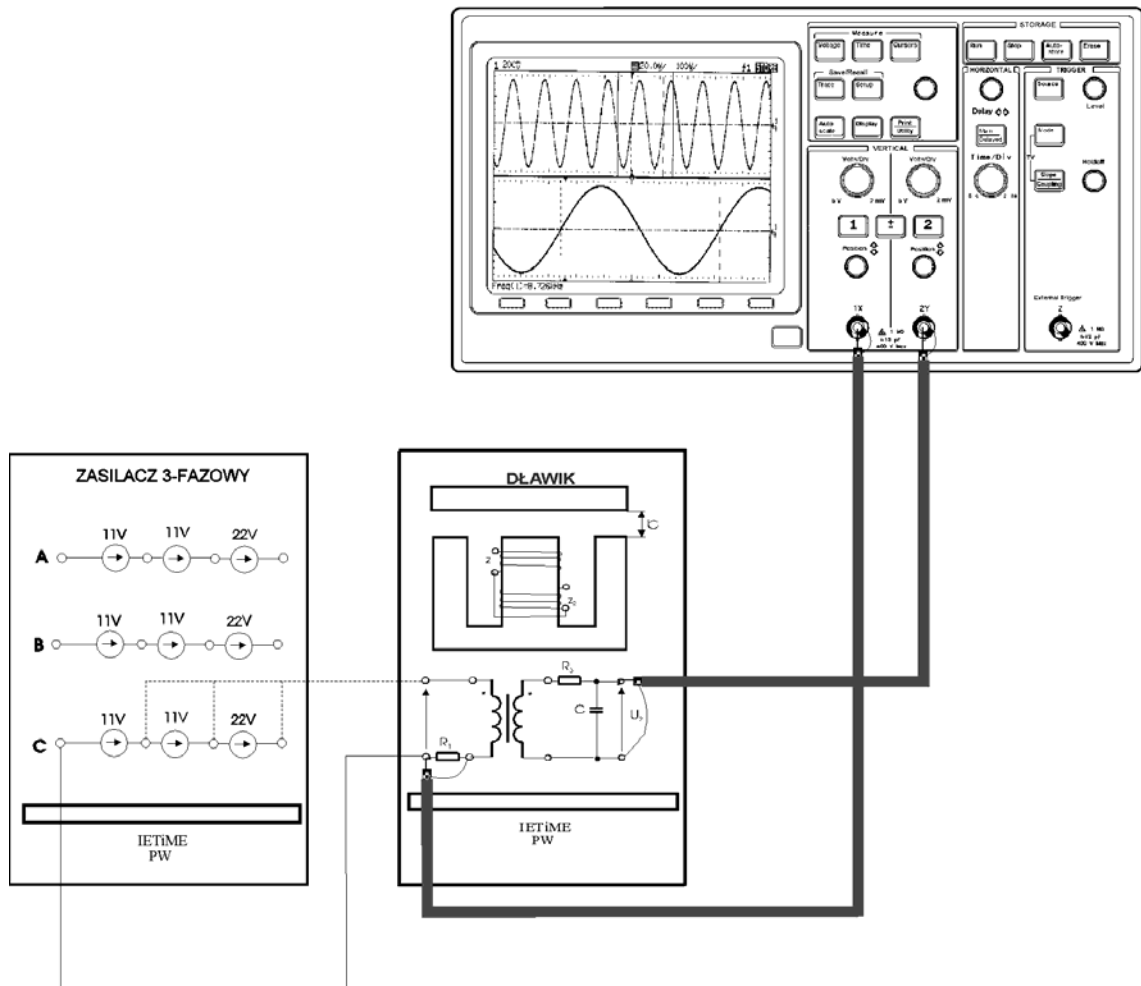
$$U_1^2 = (R_{Cu} I_{\mu} - X_L I_{Fe})^2 + (R_{Cu} I_{Fe} + X_L I_{\mu} + U_2)^2 \quad (7.10)$$

Jedn¹ z obliczonych z równania kwadratowego wartości X_L (ujemn¹) należy odrzucić, a wykorzystując dodatnie X_L obliczyć indukcyjność L ze wzoru:

$$L = \frac{X_L}{\omega} \quad (7.11)$$

Na podstawie tabeli (indukcji B i natężenia H) dla wszystkich punktów pomierzonych należy wyznaczyć i narysować charakterystykę magnesowania $B = f(H)$.

2.4. Obserwacje na oscyloskopie zjawiska histerezy oraz przebiegów czasowych natężenia pola H i indukcji B.

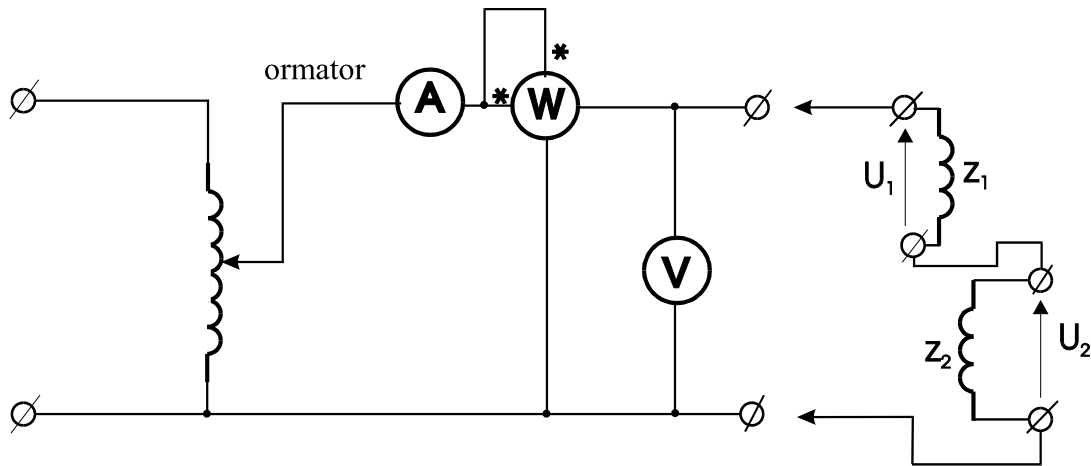


Rys. 7.5. Układ pomiarowy do obserwacji przebiegów czasowych natężenia pola magnetycznego H i indukcji B oraz dynamicznej pętli histerezy

Obserwacje przeprowadzamy dla trzech napięć zasilających U_z (11, 22 i 33 V).
 Obserwujemy kolejno przebiegi $H(t)$, $B(t)$ oraz pętlę histerezy.

/

2.5. Pomiary i obliczenia szczeliny dławika



Rys. 7.6. Schemat pomiarowy do wyznaczenia szczeliny powietrznej dławika

Pomiary wykonujemy według schematu na rys. 7.10 dla dławika, którego liczba zwojów wynosi:

$$z = z_1 + z_2 = 800, \quad R = R_1 + R_2 = 2R_1, \quad X = X_{L1} + X_{L2} + 2X_M = 4X_{L1}.$$

Wyniki wpisujemy do tabeli 7.3 dla prądu $I = 0,5; 1; 1,5; 2$ A.

Tabela 7.3

Lp.	Pomiary			Obliczenia									
	I	U	P	$B_{zał}$	H	U_{μ}	I_{Fe}	I_{μ}	I_D	U_R	U_L	U_D	δ
	A	V	W	T	A/m	V	A	A	A	V	V	V	m
1													
2													
...													

Szerokość szczeliny obliczamy dla jednego prądu, np. $I=1$ A.

Przed przystąpieniem do obliczeń należy zauważyć, że wartość napięcia na dławiku zależy proporcjonalnie od indukcji B:

$$\underline{U}_1 = R_{Cu} \underline{I} + jX_L \underline{I} + j(4,44 f z B S) \quad (7.13)$$

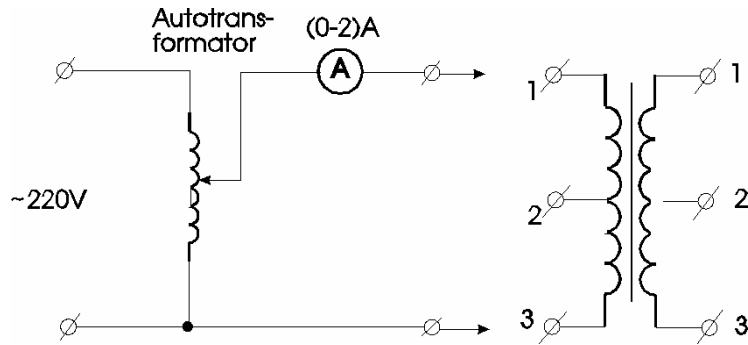
zaś prąd w dławiku- od szerokości szczeliny:

$$I_{\mu} \sqrt{2} z = H_{Fe} l_{Fe} + \frac{1}{\mu_0} B_p 2\delta \quad (7.14)$$

Obliczenia wykonujemy metodą prób. Polega ona na tym, że na początek zakładamy wielkość szczeliny δ oraz indukcję B. Następnie obliczamy U oraz I i porównujemy je z wynikami pomiaru. Jeżeli uzyskamy różnicę pomiędzy napięciem obliczonym a zmierzonym, zmieniamy założoną indukcję B, w przypadku różniącego się prądu, zmieniamy szerokość szczeliny δ .

Kolejne założenia wartości δ i B oraz kolejne cykle obliczeń powtarzamy aż do uzyskania zadowalających zgodności wielkości obliczonych U, I z pomierzonymi.

2.6. Pomiary zewnętrznych charakterystyk transformatorów potrajacza



Rys 7.7. Schemat pomiarowy zewnętrznych charakterystyk transformatorów

Panel trójfazowego potrójacza częstotliwości zawiera trzy transformatory jednofazowe o przekładni $n=1$ z uzwojeniami wykonanymi przewodem o średnicy 0,6 mm. Liczba zwojów między zaciskami 1-3 wynosi $z_{(1-3)} = 460$, z odczepem na $z_{(1-2)} = 300$ zwojów.

Przekrój rdzenia wynosi $S=2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, a średnia długość drogi strumienia w rdzeniu $l_{Fe} = 0,21 \text{ m}$ oraz szczelina $\delta = 0,1 \text{ mm}$.

Pomiary przeprowadzamy przyłączając kolejno układ zasilania do zacisków 1-3 transformatorów A, B i C. Wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli 7.4 przyjmując prądy $I=0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1; 1,5$ i 2 A .

Tabela 7.4

Lp.	Pomiary							Obliczenia					
	1-3	A		B		C		U_{2sr}	$B_p=f(H_p)$		$H_0=f(B_p)$	ϕ_p	ϕ_{obl}
	I	U_1	U_2	U_1	U_2	U_1	U_2	V	B_p	H_p	H_0		
	A	V	V	V	V	V	V	V	T	A/m	A/m	Wb	Wb
1													
2													
...													

U_{2sr} jest średnią wartością napięcia wtórnego ze wszystkich trzech transformatorów:

$$U_{2sr} = \frac{U_{2A} + U_{2B} + U_{2C}}{3} \quad (7.15)$$

Wartości B_p i H_p (uzyskane w oparciu o pomiary) obliczamy ze wzorów:

$$B_p = \frac{U_2}{4,44 f z_2 S} \quad (7.16)$$

$$H_p = \frac{I_\mu \sqrt{2} z_1 - 0,8 \cdot 10^6 B_2 \delta}{l_{Fe}}$$

Przyjmujemy $z_1 = z_2 = 460$ zwojów oraz $\delta = 0,1 \text{ mm}$.

Korzystając z powyższych obliczeń wykonujemy wykres charakterystyki pomierzonej magnesowania $B_p = f(H_p)$.

Aproksymacja hiperboliczna charakterystyki magnesowania.

Natężenie pola H_0 (obliczone) otrzymujemy ze wzoru aproksymacji hiperbolicznej:

$$H_0 = c_1 \sinh c_2 B \quad (7.17)$$

gdzie:

$$c_2 = \frac{\ln \frac{H_5}{H_4}}{B_5 - B_4} \quad c_1 = \frac{H_5}{\sinh c_2 B_5} \quad (7.18)$$

Do tych obliczeń wykorzystane zostały dwa punkty na pomierzonej charakterystyce magnesowania $B_p = f(H_p)$:

- $P_4 (H_4, B_4)$ - na początkowej części kolana charakterystyki,
- $P_5 (H_5, B_5)$ - w części odpowiadającej dużemu nasyceniu rdzenia.

Aproksymacja szeregiem potęgowym krzywej magnesowania.

Strumień ϕ_{obl} wyznaczamy korzystając z następującego wzoru aproksymacji szeregiem potęgowym nieparzystym.

$$\phi_{obl} = b_1 I - b_3 I^3,$$

obliczając b_1 i b_3 z układu równań:

$$\begin{cases} \phi_1 = b_1 I_1 - b_3 I_1^3 & \text{dla } P_6 (I_1, \phi_1) \\ \phi_2 = b_1 I_2 - b_3 I_2^3 & \text{dla } P_7 (I_2, \phi_2) \end{cases} \quad (7.19)$$

gdzie: $\phi_p = B_p S$

oraz przyjmując do obliczeń współrzędne punktów na uzyskanej z pomiarów charakterystyce magnesowania $\phi_p = f(I)$

odpowiednio:

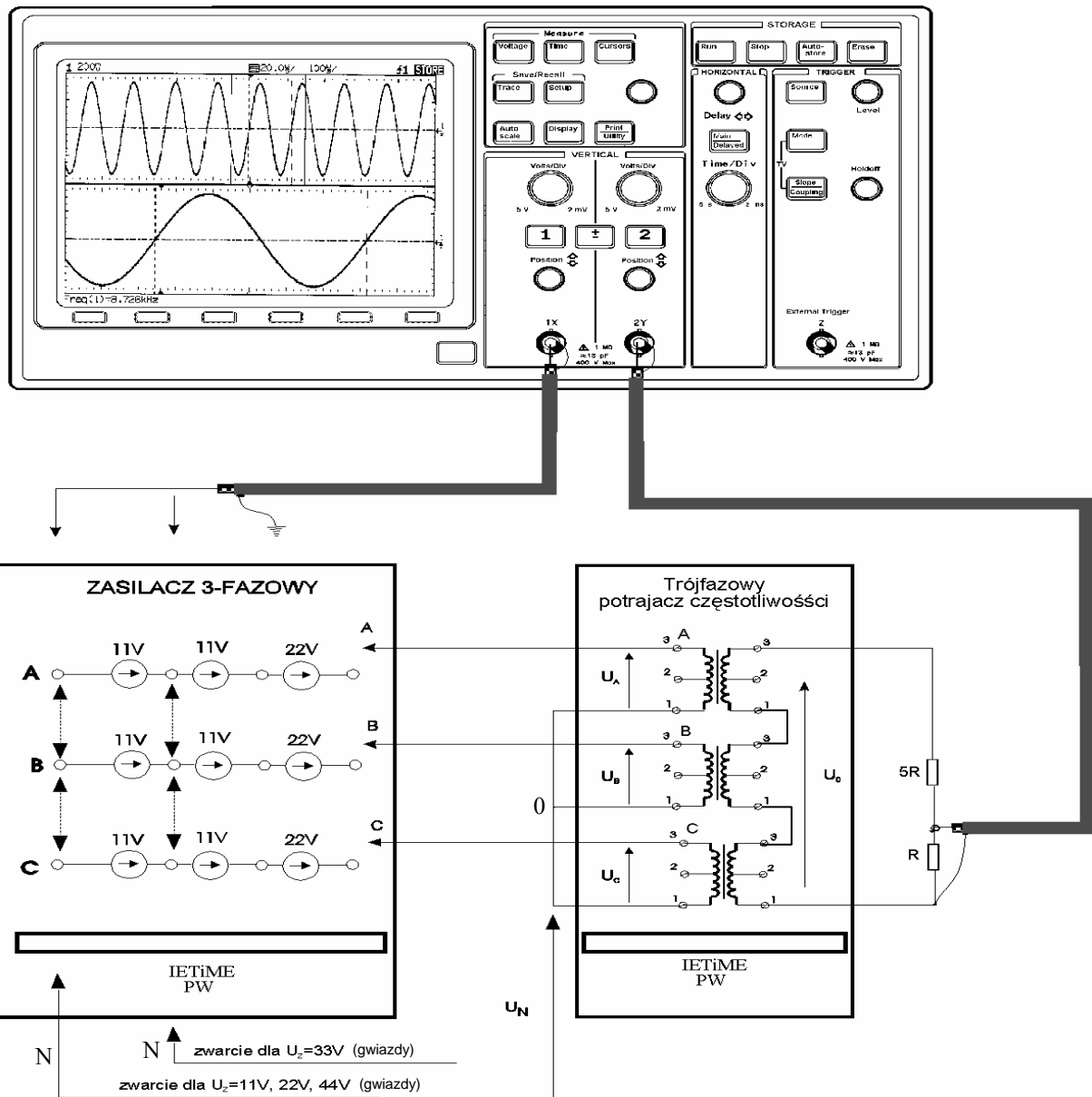
$P_6 (I_1, \phi_1)$ - na początkowej części kolana charakterystyki

$P_7 (I_2, \phi_2)$ - w części odpowiadającej dużemu nasyceniu rdzenia

Narysować obliczone w wyniku aproksymacji charakterystyki magnesowania i uzyskane w wyniku pomiarów, na jednym układzie współrzędnych.

2.7. Obserwacje na oscyloskopie napięć i prądów w potrajaczu częstotliwości

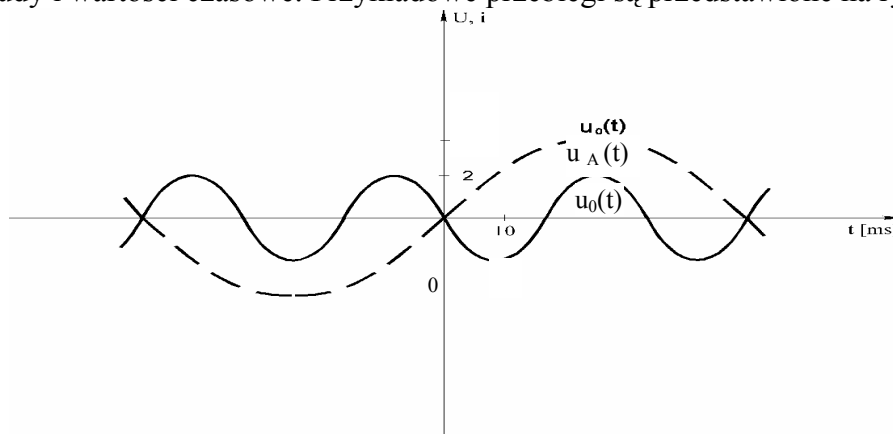
Obserwacji dokonujemy w układzie pokazanym na rys. 7.12.



Rys. 7.8. Układ pomiarowy do obserwacji napięć w potrajaczu napięcia

Należy zaobserwować przebieg napięcia U_A i napięcia wyjściowego U_0 w funkcji czasu, dla $U_z = 11, 22, 33$ i 44 V.

Oglądane przebiegi należy przerysować do protokołu na jednej osi czasu, zapisując amplitudy i wartości czasowe. Przykładowe przebiegi są przedstawione na rys. 7.13.



Rys. 7.9. Przykładowy przebieg czasowy napięcia potrajacza $u_0(t)$ na tle sinusoidy zasilającej $u_A(t)$.

3. Opracowanie wyników

1. W odniesieniu do p.4.1 należy obliczyć długość drogi strumienia w rdzeniu l_{Fe} i przekrój środkowej kolumny rdzenia S_{Fe} .
2. W odniesieniu do pomiarów wykonanych w p.4.2, w sprawozdaniu należy:
 - zamieścić obliczenia parametrów schematu zastępczego R_{Cu} , G_{Fe} , B_{μ} i X_L dla jednej wartości prądu I_z ;
 - narysować charakterystykę magnesowania $B=f(H)$ na papierze milimetrowym;
 - narysować wykres wektorowy dławika w skali na papierze milimetrowym dla zadanego prądu I_z ;
3. Odnośnie obserwacji pomocniczych w p.4.3, w sprawozdaniu należy:
 - zamieścić obserwowane przebiegi, $H(t)$, $B(t)$, $B(H)$.
 - uzasadnić analitycznie (na wzorach), że przebieg obserwowanego napięcia $u_{Rl}(t)$ jest proporcjonalny do przebiegu $H(t)$ oraz przebieg napięcia $u_C(t)$ jest proporcjonalny do przebiegu indukcji $B(t)$.
4. W p.4.4 ćwiczenia przeprowadzone obliczenia zmierzają do wyznaczenia takiej szczeliny δ_x , przy której napięcie i prąd w dławiku są równe zadanym, zmierzonym. W tablicy zamieszczamy obliczenia dla ostatniej próby, natomiast w sprawozdaniu należy: zamieścić wszystkie obliczenia dla dwóch ostatnich prób; porównać długość szczeliny rzeczywistej rdzenia δ z uzyskaną z obliczeń δ_x , i uzasadnić przyczyny ewentualnych rozbieżności.
5. W odniesieniu do p.4.5 należy:
 - dokonać obliczeń w tabeli 7.4;
 - narysować charakterystyki zewnętrzne $U_1=f(I)$ dla trzech transformatorów i zaznaczyć punkty dla $U_z = 11, 22, 33$ i 44 V;
 - wykonać wykresy charakterystyk $B_p=f(H_p)$ oraz $H_0=f(B_p)$ w jednym układzie współrzędnych na papierze milimetrowym;
 - wykonać wykresy charakterystyk $\phi_p=f(I)$ oraz $\phi_{obl}=f(I)$ na jednym układzie współrzędnych;
 - wyjaśnić ewentualne przyczyny rozbieżności charakterystyk.
6. W odniesieniu do p.4.6 w sprawozdaniu należy:
 - zamieścić obserwowane na oscyloskopie przebiegi (łącznie 16 oscylogramów);
 - omówić wyniki pomiarów i zamieścić własne spostrzeżenia.