	<p style="text-align: center;">Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie Wydział EAIiB Elektrotechnika Blok A</p>	<p>Zespół: 1. Zięba Paulina 2. Piotrowski Bartłomiej 3. Sędzik Daniel 4. Szewczak Przemysław 5. Wojtas Mateusz 6. Szczepański Jan 7. Malita Gabriel</p>
<p style="text-align: center;">Laboratorium maszyn elektrycznych</p>		
Rok akademicki: 2022/2023	Semestr V	Grupa: A
<p>Temat ćwiczenia:</p> <p style="text-align: center;">Transformator trójfazowy - pomiary parametrów</p>		
Data wykonania ćwiczenia 12.10.2022	Data oddania sprawozdania 19.10.2022	Ocena

1 Wstęp teoretyczny

1.1 Dane znamionowe badanego transformatora

- $S_N = 7,5[kVA]$
- $U_1 = 380[V]$
- $U_2 = 240[V]$
- $I_1 = 11,4[A]$
- $I_2 = 18,1[A]$
- układ: $Yy0$

1.2 Opis badanego transformatora

Podczas zajęć badaniom poddany został transformator trójfazowy, suchy. Uzwojenia transformatora nawinięte są cylindrycznie na wspólny, trój kolumnowy rdzeń. Zarówno uzwojenie górne i dolne transformatora połączone są ze sobą w układ gwiazdy. Przesunięcie fazowe pomiędzy napięciem górnym i napięciem dolnym wynosi 0° . Rdzeń transformatora zbudowany jest z blach pakietowanych. Poszczególne warstwy tego samego uzwojenia są od siebie oddzielone papierem izolacyjnym, a drut wykorzystany na uzwojenia jest lakierowany

2 Ćwiczenie

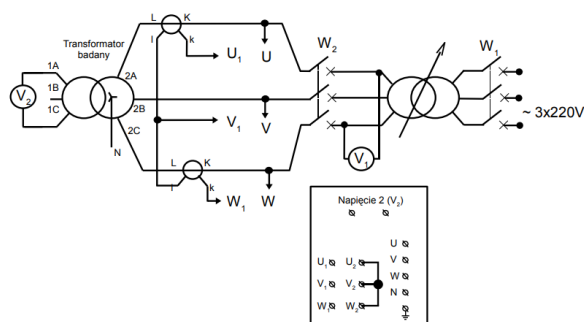
2.1 Opis metod pomiarowych

Do przeprowadzenia doświadczenia wykorzystaliśmy gotowe stanowisko laboratoryjne przy którym były wypro-
wadzone zaciski do transformatora woltomierza oraz przekładników napięciowych. Przygotowanie stanowiska rozpo-
częliśmy od załączenia szafy do urządzeń elektronicznych. Do badania napięć, prądów, oraz mocy wykorzystaliśmy
miernik N10. Pierwszym badaniem było przeprowadzenie pomiarów biegu jałowego. W tym celu podłączyliśmy zaciski
 $U_1, V_1, W_1, U_2, V_2, W_2, U, V, W$ podłączyliśmy zgodnie ze schematem znajdującym się na rysunku 1. Przekładnia
przekładników prądowych powinna wynosić 5/5 Następnie przeszliśmy do badania i zwiększaliśmy napięcie fazowe co
około 30V. Uzyskiwane wartości na mierniku N10 wpisywaliśmy do tabeli. Drugim celem doświadczenia było wykona-
nie pomiarów w stanie zwarcia. w tym celu ponownie podłączyliśmy zaciski $U_1, V_1, W_1, U_2, V_2, W_2, U, V, W$ zgodnie
ze schematem z rysunku 5. Przekładnia przekładników napięciowych powinna wynosić 30/150, natomiast prądowych

20/5. Następnie przeszliśmy do przeprowadzenia badania, odczyt wyników przeprowadzaliśmy zmniejszając prąd o 0.3 A zaczynając od 3 amperów i kończąc na 0.81. Do tabeli wpisywaliśmy średnie wartości napięć, prądów oraz mocy czynnej odczytane z miernika N10. Na ich podstawie wykreśliśmy niezbędne charakterystyki.

2.2 Pomiary oraz ich wyniki w stanie jałowym

Układ do pomiaru w stanie jałowym zestawiono według schematu.

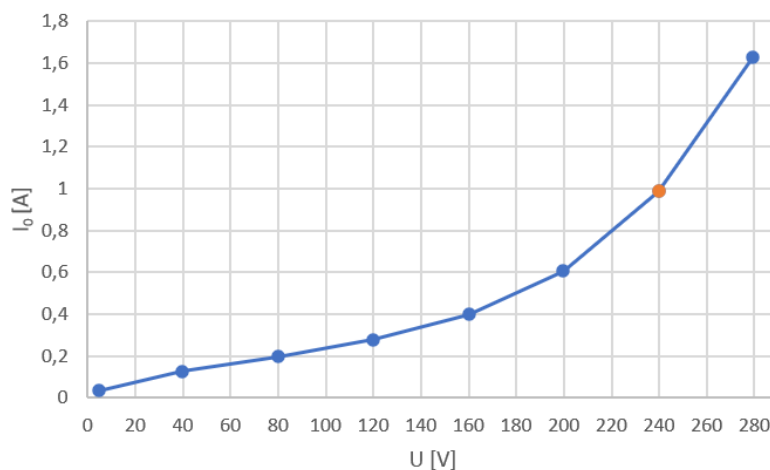


Rysunek 1: Schemat do pomiarów w stanie jałowym

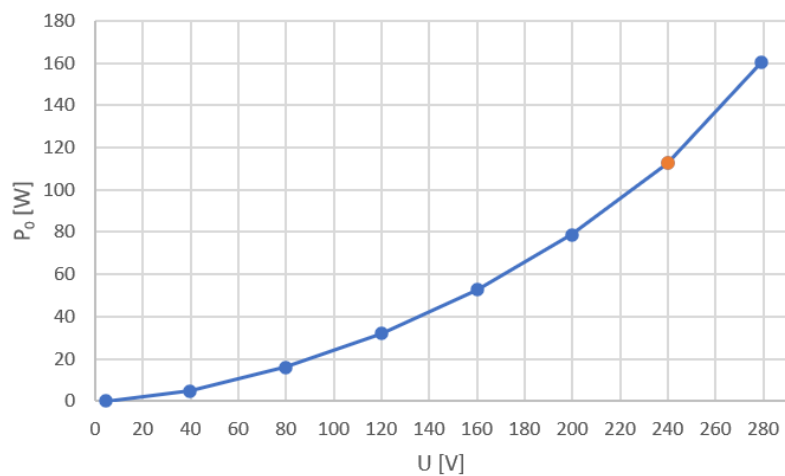
Wyniki pomiarów w stanie jałowym zebrano w tabeli.

$U_{1przewodowe}[V]$	$U_{1fazowe}[V]$	$U_{2przewodowe}[V]$	$U_{2fazowe}[V]$	$I [A]$	$P [W]$	$Q [VAr]$	$S [VA]$	$\cos\varphi_0$
8,4	4,85	4,6	2,66	0,036	0,066	0,35	0,3	0,220
67,5	38,97	39,8	22,98	0,128	4,67	7,35	8,8	0,531
135,5	78,23	79,8	46,07	0,197	15,8	21,7	27,2	0,581
203,6	117,55	119,9	69,22	0,279	31,8	47,4	57,8	0,550
272	157,04	160,1	92,43	0,4	52,6	95,8	110,7	0,475
339,9	196,24	199,8	115,35	0,607	78,6	191,6	210,2	0,374
407	234,98	239,8	138,45	0,987	112,6	388,7	410,4	0,274
472,2	272,62	279,4	161,31	1,63	160,4	760,6	790,6	0,203

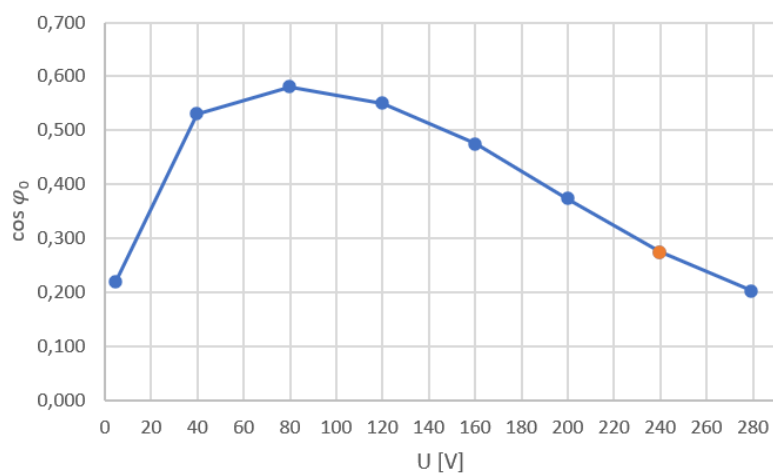
Następnie stworzono wykresy funkcji $I_0(U)$, $P_0(U)$ i $\cos\varphi_0(U)$.



Rysunek 2: Zależność natężenia prądu w stanie jałowym od napięcia



Rysunek 3: Zależność mocy w stanie jałowym od napięcia



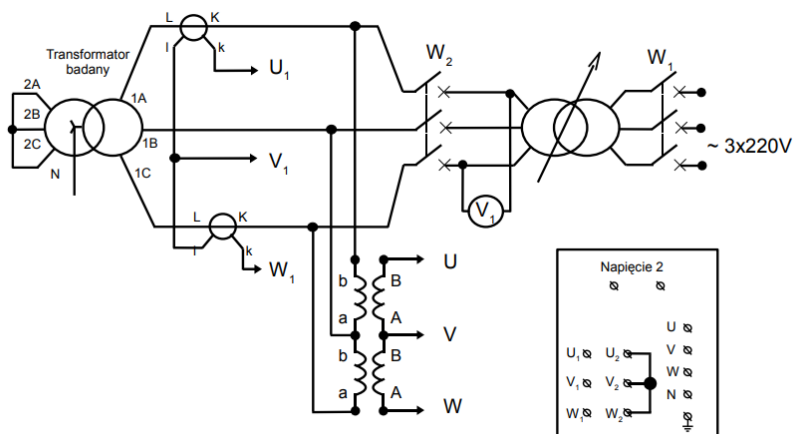
Rysunek 4: Zależność współczynnika mocy w stanie jałowym od napięcia

Wyznaczono również przekładnię transformatora.

$$\vartheta = \frac{234,98}{138,45}$$

2.3 Pomiary oraz ich wyniki w stanie zwarcia

Następnie układ przystosowano do pomiaru w stanie zwarcia według schematu.

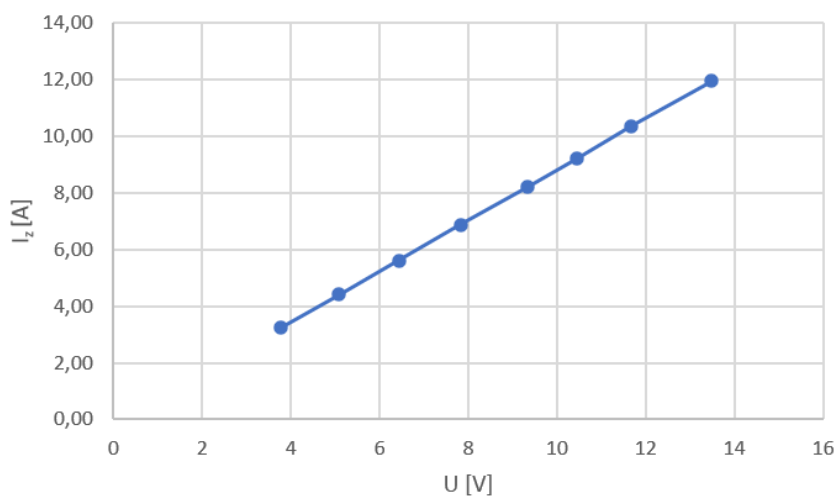


Rysunek 5: Schemat do pomiarów w stanie zwarcia

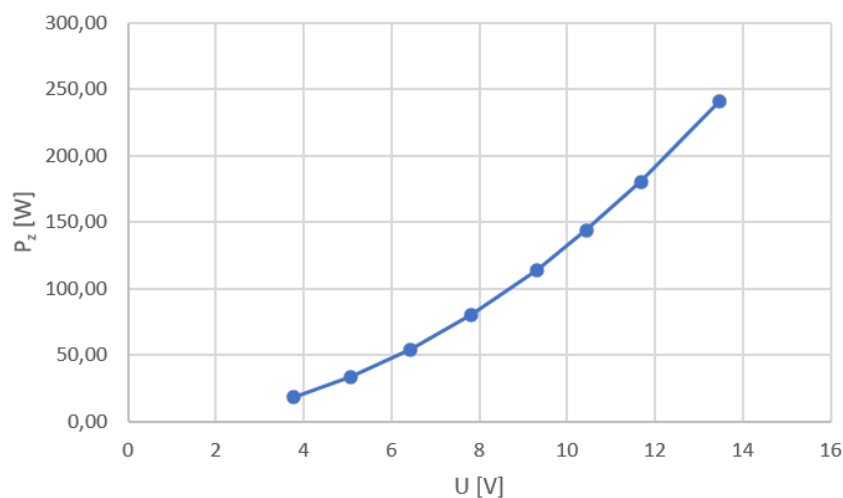
Wyniki pomiarów w stanie zwarcia zebrano w tabeli.

$U_p[V]$	Cu	$U_{z_p}[V]$	$U_{z_f}[V]$	I [A]	Ci	I _z [A]	P [W]	C _p	P _z [W]	S [VA]	C _s	S _z [VA]	$\cos\varphi_z$
67,4	0,2	13,5	7,78	2,99	4	11,96	301,1	0,8	240,88	350,1	0,8	280,08	0,860
58,4	0,2	11,7	6,74	2,59	4	10,36	225,5	0,8	180,40	262,1	0,8	209,68	0,860
52,2	0,2	10,4	6,03	2,30	4	9,20	179,6	0,8	143,68	207,9	0,8	166,32	0,864
46,6	0,2	9,3	5,38	2,05	4	8,20	142,3	0,8	113,84	165,2	0,8	132,16	0,861
39,1	0,2	7,8	4,51	1,72	4	6,88	100,2	0,8	80,16	116,4	0,8	93,12	0,861
32,2	0,2	6,4	3,72	1,40	4	5,60	67,6	0,8	54,08	78,5	0,8	62,80	0,861
25,4	0,2	5,1	2,93	1,10	4	4,40	41,7	0,8	33,36	48,4	0,8	38,72	0,862
18,8	0,2	3,8	2,17	0,81	4	3,24	22,7	0,8	18,16	26,4	0,8	21,12	0,860

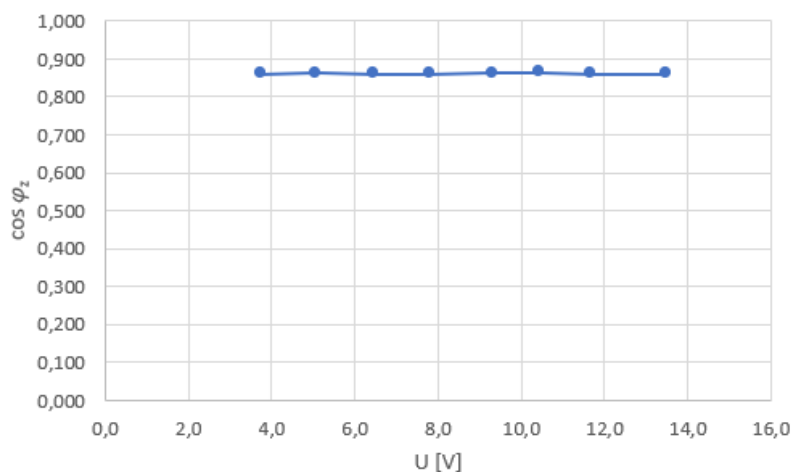
Następnie stworzono wykresy funkcji $I_Z(U)$, $P_Z(U)$ i $\cos\varphi_Z(U)$.



Rysunek 6: Zależność natężenia prądu w stanie zwarcia od napięcia.



Rysunek 7: Zależność mocy w stanie zwarcia od napięcia



Rysunek 8: Zależność współczynnika mocy w stanie zwarcia od napięcia

3 Obliczenia

3.1 Obliczenia parametrów schematu zastępczego dla napięcia 380 albo 240 V przy temperaturze 75°C

Znamionowe napięcie zwarcia jest równe:

$$U_{zN} = 239,8[V]$$

Parametry wyliczone na podstawie pomiarów w stanie zwarcia (transformator zasilany od strony pierwotnej):

$$R_z = \frac{P_z}{3 * I_z^2} = \frac{240,88}{3 * 11,96^2} = 0,56\Omega$$

$$Z_Z = \frac{U_{Nf}}{I_{Nf}} = \frac{7,78}{11,96} = 0,65\Omega$$

$$X_Z = \sqrt{Z_Z^2 - R_z^2} = 0,33\Omega$$

$$R_1 = R'_2 = 0,5 * R_z = 0,28\Omega$$

$$X_1 = X'_2 = 0,5 * X_z = 0,165\Omega$$

$$R_2 = R'_2 * \vartheta^2 = 0,8\Omega$$

$$X_2 = X'_2 * \vartheta^2 = 0,47\Omega$$

$$R_1^{(75)} = R_2'^{(75)} = R_1 * 1,21 = 0,34\Omega$$

$$R_2^{(75)} = R_2 * 1,21 = 0,968\Omega$$

$$R_Z^{(75)} = R_Z * 1,21 = 0,68\Omega$$

$$U_z^{(75)} = \frac{I_N}{U_N} \sqrt{R_z^{2(75)} + X_Z^2} = 0,0226 = 2,26\%$$

$$R'_1 = \frac{R_1^{(75)}}{\vartheta^2} = 0,11\Omega$$

$$X'_1 = \frac{X_1}{\vartheta^2} = 0,057\Omega$$

Parametry wyliczone na podstawie pomiarów na biegu jałowym (transformator zasilany od strony wtórnej):

$$P_{0Fe} = P_0 - 3 * R_2 * I_0^2 = 112,6 - 3 * 0,8 * 0,987^2 = 110,26W$$

$$R''_{Fe} = \frac{3 * U_{2Nf}^2}{P_{0Fe}} = \frac{3 * (\frac{239,8}{\sqrt{3}})^2}{110,26} = 521,53\Omega$$

$$R_{Fe} = \vartheta^2 * R''_{Fe} = 1,697^2 * 521,53 = 1501,9\Omega$$

$$I_{Fe} = \frac{U_{2Nf}}{R''_{Fe}} = 0,27A$$

$$I_\mu = \sqrt{(I_0^2 - I_{Fe}^2)} = \sqrt{0,987^2 - 0,27^2} = 0,949A$$

3.2 Obliczenie sprawności transformatora metodą strat poszczególnych dla warunków znamionowych

Wzór na sprawność transformatora uwzględniający wszystkie straty zapisano poniżej:

$$\eta = \frac{P_{odd}}{P_{odd} + P_{dFe} + P_{dCu}} [\%] \quad (1)$$

Z definicji sprawność to stosunek mocy oddanej do sumy mocy pobranej i oddanej. W przypadku transformatora i tego wzoru moc oddaną oznaczamy P_{odd} , natomiast P_{dFe} to straty w rdzeniu na histerezę oraz prądy wirowe, a P_{dCu} to straty w przewodach wynikające z ich rezystancji. Indeksy odpowiednio Fe i Cu odpowiadają żelazu i miedzi.

Wykorzystane w powyższym wzorze wielkości obliczono na podstawie tabliczki znamionowej oraz wartości elementów schematu zastępczego umieszczonych w punkcie 3.1:

$$P_{dCu} = 3 * I_{2fN}^2 * R_k'' = 3 * \frac{S_N}{3 * U_{2fN}} * R_k'' = 3 * \frac{S_N}{3 * \frac{240}{\sqrt{3}}} * \frac{R_k}{\vartheta^2} = 3 * \frac{7,5 * 10^3}{3 * \frac{240}{\sqrt{3}}} * \frac{0,56}{1,697^2} = 10,75[W]$$

$$P_{dFe} = 3 * \frac{U_{2fN}^2}{R_{Fe}''} = 3 * \frac{\frac{240}{\sqrt{3}}}{521,53} = 0,797[W]$$

Moc oddaną wyliczono na podstawie wzoru:

$$P_{odd} = 3 * I_{2fN} * U_{2fN} * \cos\varphi_2 = 3 * 18,04 * \frac{240}{\sqrt{3}} * 0,86 = 6449[W] \approx 6,45[kW]$$

Korzystając z powyższych rachunków, wyznaczono sprawność badanego transformatora równą:

$$\eta = \frac{P_{odd}}{P_{odd} + P_{dFe} + P_{dCu}} = \frac{6450}{6450 + 0,797 + 10,75} = 0,998 = 99,8\%$$

4 Wnioski

Aby osiągnąć stan jałowy podłączyliśmy napięcie wejściowe do jednej strony transformatora, druga pozostała rozwartą. Po przeprowadzeniu pomiarów zauważamy, że w stanie jałowym prąd jest proporcjonalny do napięcia w sposób podobny do wzrostu wykładniczego. W ten sam sposób zachowuje się moc strat, która również wzrasta wraz z napięciem. Tym samym moc pozorna również wzrasta razem z napięciem. Nieco inaczej wyszła zależność współczynnika mocy od napięcia. Współczynnik mocy najpierw wzrasta wraz ze wzrostem napięcia, następnie maleje. Wyznaczona w obliczeniach przekładnia w niewielki sposób odbiega od przekładni znamionowej, gdyż różnica wynosi około 0,12. Celem doprowadzenia do stanu zwarcia pierwszą stronę zasililiśmy napięciem wejściowym, natomiast drugą zwarliśmy. W tym stanie prąd zwarcia rośnie prawie liniowo do napięcia. Natomiast moc w sposób eksponencjalny. W przypadku zwarcia znowu inaczej zachowuje się współczynnik mocy, gdyż wykres przedstawia nieregularną krzywą o dwóch ekstremach. Następnie wyznaczyliśmy parametry schematu zastępczego transformatora, zatem kluczowym było wzięcie pod uwagę, iż transformator zasilany jest od strony wtórnej. Celem scalenia schematów z dwóch stron, wówczas należy doprowadzić siłę elektromotoryczną do tego samego potencjału. Na końcu wyliczyliśmy sprawność, która wynosi 99,8%, zatem możemy powiedzieć, że jest to transformator energetyczny.