


|  |   |               |                 |
|--|---|---------------|-----------------|
|  <b>Wydział:</b><br>EAIiB | <b>Imię i nazwisko:</b><br>Konrad Kaczmarczyk<br>Jakub Cios<br>Damian Krakowiecki<br>Dawid Blajer<br>Jakub Kiepas<br>Maksymilian Jura |               | <b>Rok: III</b> |
|  |   |               | <b>Blok: B</b>  |
|  |   |               | <b>Grupa: 1</b> |
| <b>Data wykonania:</b><br>06.11.23   | <b><u>LABORATORIUM MASZYN ELEKTRYCZNYCH</u></b><br><b>Ćw. T1 Transformator trójfazowy - pomiary parametrów</b>                        |               |                 |
| <b>Zaliczenie:</b>   | <b>Podpis</b><br><b>przewodzącego:</b>  | <b>Uwagi:</b> |                 |

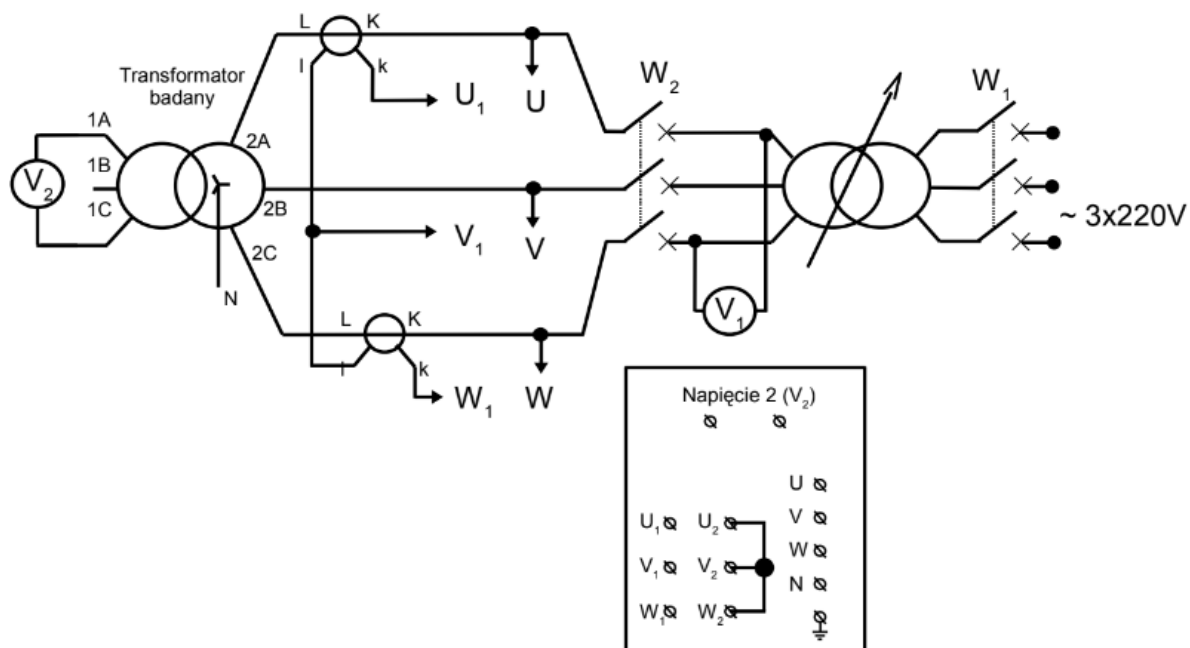
## Wstęp

Celem danego ćwiczenia było sprawdzenie działania transformatora w praktyce. Badania przeprowadzaliśmy na transformatorze trójfazowym 380/240V, 11,4/18,1A o mocy 7,5kVA i układzie połączeń Yy0 co oznacza, że strona górna oraz dolna jest połączona w gwiazdę, a napięcie wejściowe w stosunku do wyjściowego jest przesunięte o 0st.

## Pomiary

## Stan jałowy

Podłączyliśmy transformator do zasilania o napięciu 240V. Ustawiliśmy przekładnie przekładników prądowych na 5/5A. Korzystając z miernika N10, dokonaliśmy pomiaru średnich wartości napięć, prądów, mocy czynnej oraz mocy pozornej i  $\cos\varphi$ . Zmienialiśmy napięcie zasilania zgodnie z instrukcjami, zaczynając od wartości maksymalnej i stopniowo zmniejszając. Przeprowadziliśmy jeden z pomiarów przy nominalnej wartości napięcia w celu określenia przekładni napięciowej.



**Grafika 1** Układ połączeń do pomiarów w stanie jałowym

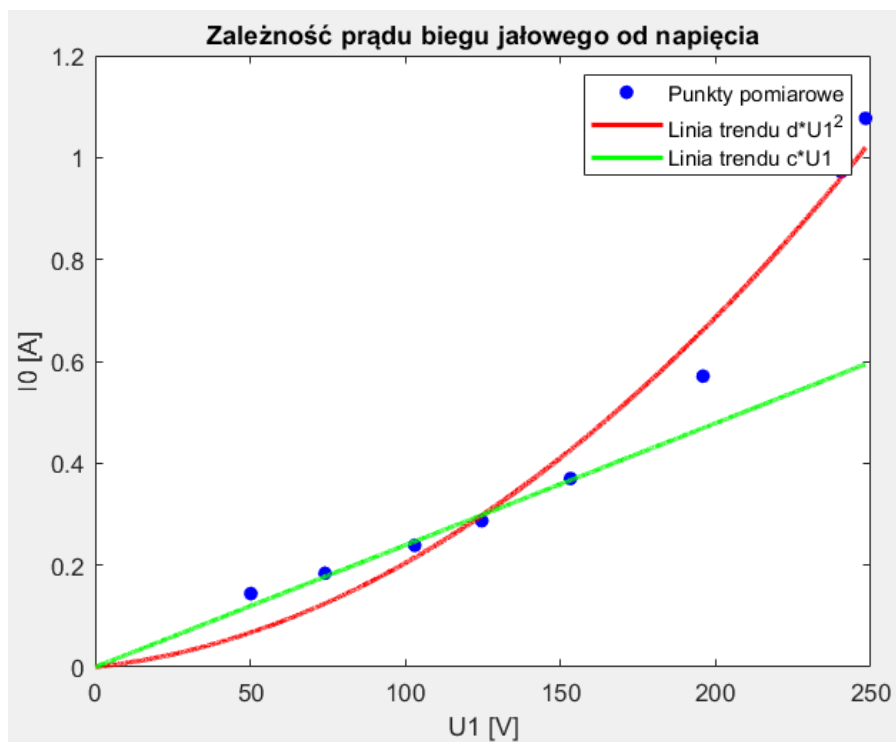
| U <sub>1</sub> [V] | U <sub>2</sub> [V] | I <sub>0</sub> [A] | P <sub>0</sub> [W] | S <sub>0</sub> [AV] | cos fi [-] |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------|
| 248,3              | 419,7              | 1,077              | 120,35             | 462,50              | 0,260      |
| 240,5              | 406,7              | 0,972              | 112,55             | 407,30              | 0,276      |
| 195,9              | 331,6              | 0,571              | 75,36              | 194,60              | 0,389      |
| 153,2              | 259,1              | 0,370              | 48,52              | 98,15               | 0,496      |
| 124,6              | 210,7              | 0,287              | 34,00              | 62,08               | 0,549      |
| 103,0              | 174,0              | 0,239              | 24,60              | 42,62               | 0,576      |
| 74,1               | 124,8              | 0,184              | 13,86              | 23,62               | 0,589      |
| 50,2               | 84,6               | 0,144              | 7,07               | 12,55               | 0,567      |

Przekładnia napięciowa obliczona kolejno z wartości nominalnych oraz przeprowadzonych pomiarów.

$$\vartheta = \frac{U_{N2}}{U_{N1}} = \frac{380}{240} \approx 1,58$$

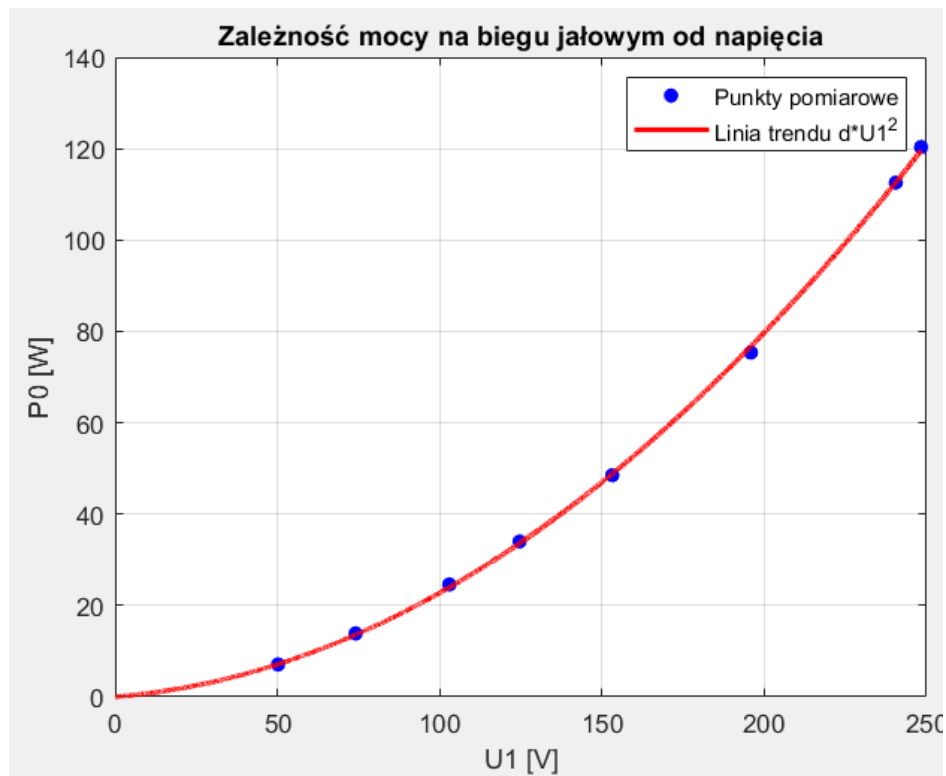
$$\vartheta = \frac{U_2}{U_1} = \frac{406,7}{240,5} \approx 1,69$$

Jak można zauważyć obliczona przez nas przekładnia wyszła większa.



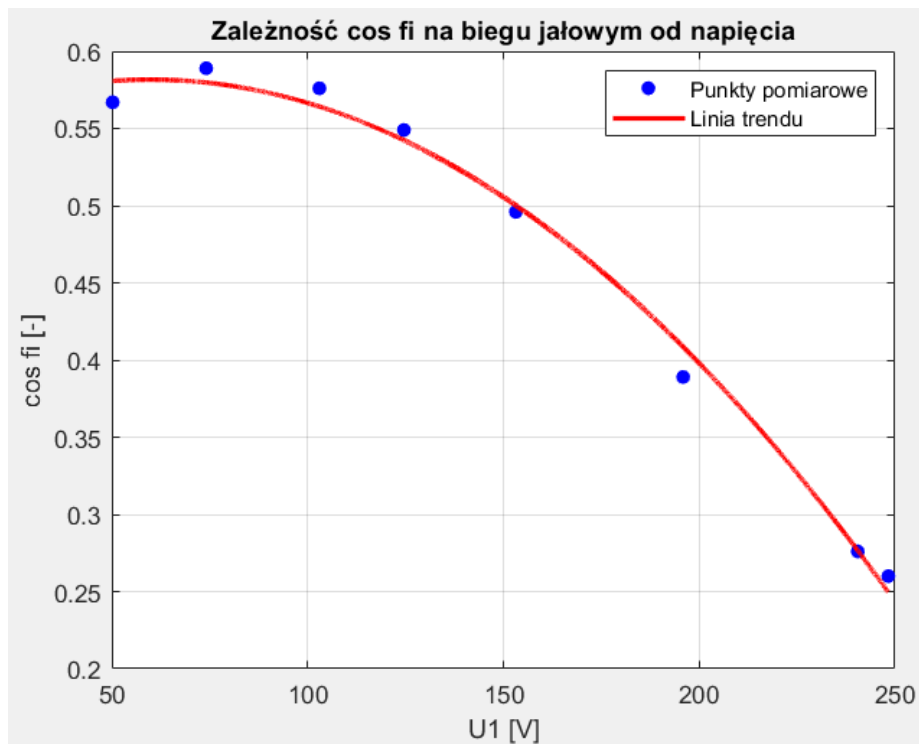
**Grafika 2** Zależność prądu biegu jałowego od napięcia

Związek między prądem jałowym a napięciem w przypadku wyższych wartości napięcia znacznie odbiega od liniowego przebiegu. W tym zakresie, przybliżenie tego związku za pomocą funkcji kwadratowej generuje mniejsze odchyłki w porównaniu do funkcji liniowej. Szybszy wzrost prądu niż w przypadku linii wynika z nasycenia się żelaza rdzenia przy większych wartościach indukcji. W rezultacie efektywna impedancja gałęzi magnesującej schematu zastępczego maleje.



**Grafika 3** Zależność mocy na biegu jałowym od napięcia

Wzrost strat mocy  $P_0$  jest dobrze przybliżony funkcją kwadratową. Taki kształt charakterystyki znajduje uzasadnienie w kwadratowej zależności strat w żelazie od indukcji magnetycznej. Straty mocy w uzwojeniu są niewielkie podczas pracy bez obciążenia.

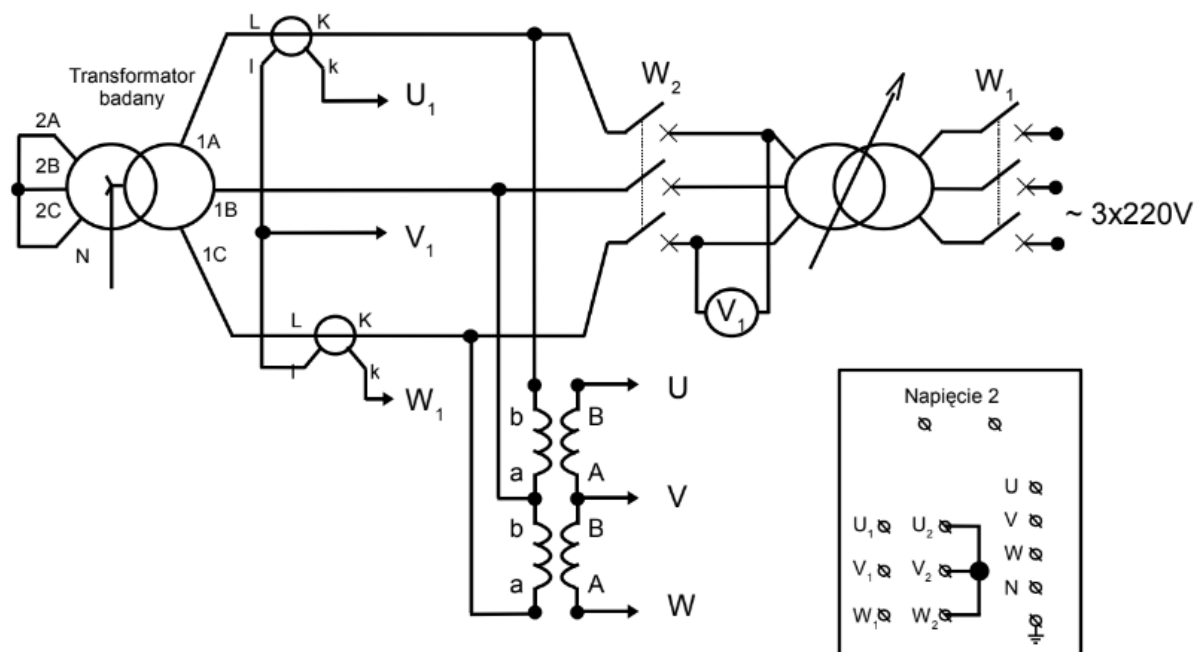


**Grafika 4** Zależność współczynnika  $\cos \varphi$  na biegu jałowym od napięcia

W miarę zwiększania głównie składowej biernej prądu, obserwujemy równoczesny spadek współczynnika mocy  $\cos \varphi$ .

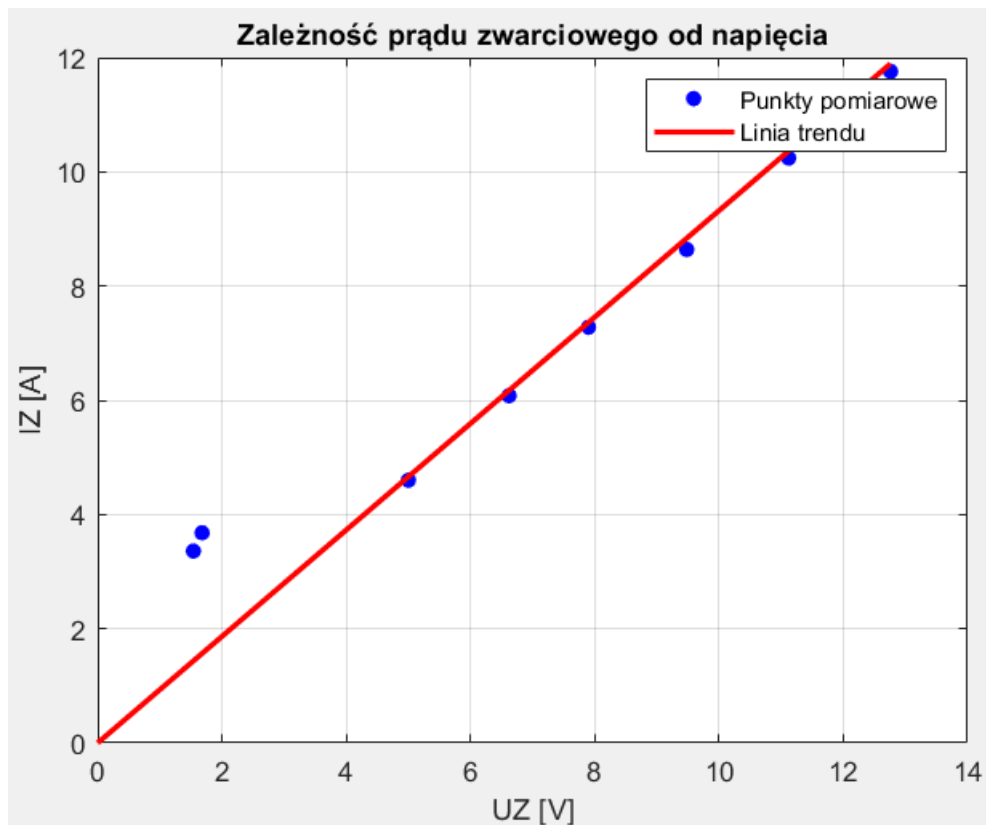
## Stan zwarcia

W tej konfiguracji zasilaliśmy stronę wysokiego napięcia transformatora, podczas gdy strona 240V była zwarcie. Ustawiliśmy przekładniki prądowe na 20/5. Zaciski prądowe, tj. U1, V1, W1, zostały połączone zgodnie z poniższym schematem, natomiast zaciski U2, V2, W2 zostały spięte. W celu podwyższenia napięcia, zaciski napięciowe U, V, W zostały połączone za pomocą przekładników napięciowych o przekładni 30/150. Otrzymane średnie wartości napięć, prądów, mocy czynnej oraz mocy pozornej i  $\cos \varphi$ , odczytane z miernika N10, zostały następnie pomnożone przez mnożniki określone przez przekładniki, aby uzyskać wartości rzeczywiste.



**Grafika 5** Układ połączeń do pomiarów w stanie zwarcia

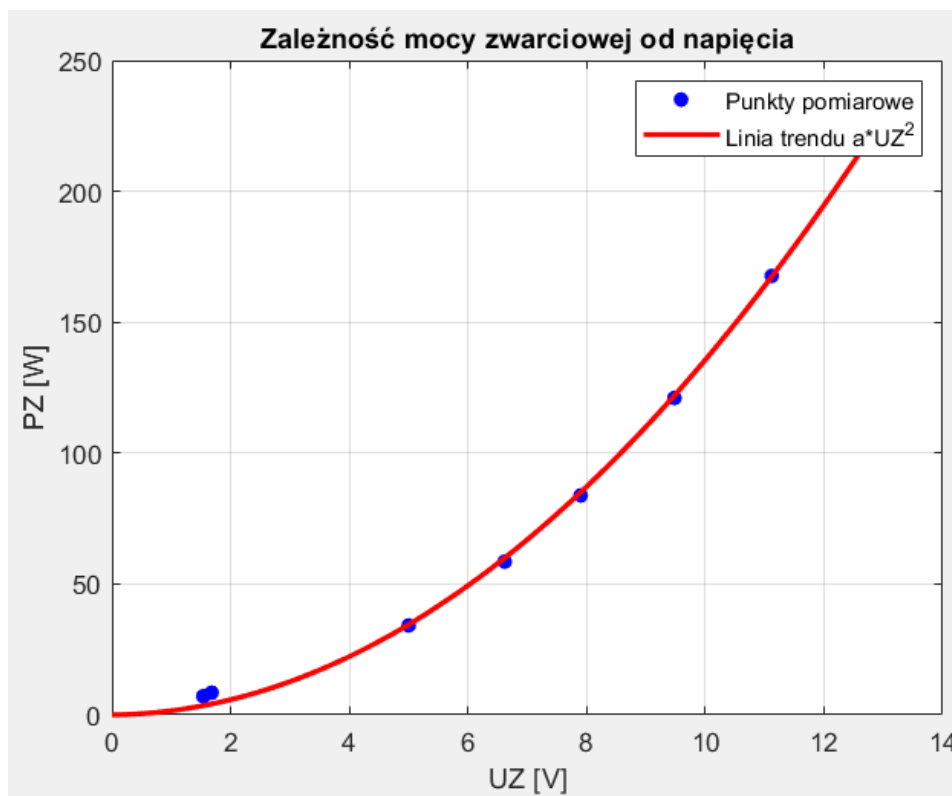
| U [V] | C <sub>U</sub> [-] | U <sub>Z</sub> [V] | I [A] | C <sub>I</sub> [-] | I <sub>Z</sub> [A] | P [W]  | C <sub>P</sub> [-] | P <sub>Z</sub> [W] | S [VA] | C <sub>S</sub> [-] | S <sub>Z</sub> [VA] | cos φ [-] |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|---------------------|-----------|
| 63,8  | 0,2                | 12,76              | 2,94  | 4                  | 11,76              | 276,4  | 0,8                | 221,12             | 326,3  | 0,8                | 261,04              | 0,846     |
| 55,6  | 0,2                | 11,12              | 2,56  | 4                  | 10,24              | 209,6  | 0,8                | 167,68             | 246,5  | 0,8                | 197,2               | 0,846     |
| 47,4  | 0,2                | 9,48               | 2,16  | 4                  | 8,64               | 151,34 | 0,8                | 121,072            | 179,2  | 0,8                | 143,36              | 0,846     |
| 39,5  | 0,2                | 7,9                | 1,82  | 4                  | 7,28               | 104,8  | 0,8                | 83,84              | 123,6  | 0,8                | 98,88               | 0,845     |
| 33,1  | 0,2                | 6,62               | 1,52  | 4                  | 6,08               | 73,2   | 0,8                | 58,56              | 86,7   | 0,8                | 69,36               | 0,845     |
| 25    | 0,2                | 5                  | 1,15  | 4                  | 4,6                | 42,7   | 0,8                | 34,16              | 51,3   | 0,8                | 41,04               | 0,843     |
| 8,4   | 0,2                | 1,68               | 0,92  | 4                  | 3,68               | 10,6   | 0,8                | 8,48               | 12,6   | 0,8                | 10,08               | -         |
| 7,7   | 0,2                | 1,54               | 0,84  | 4                  | 3,36               | 8,9    | 0,8                | 7,12               | 10,7   | 0,8                | 8,56                | -         |



**Grafika 6** Zależność prądu biegu zwarciovego od napięcia

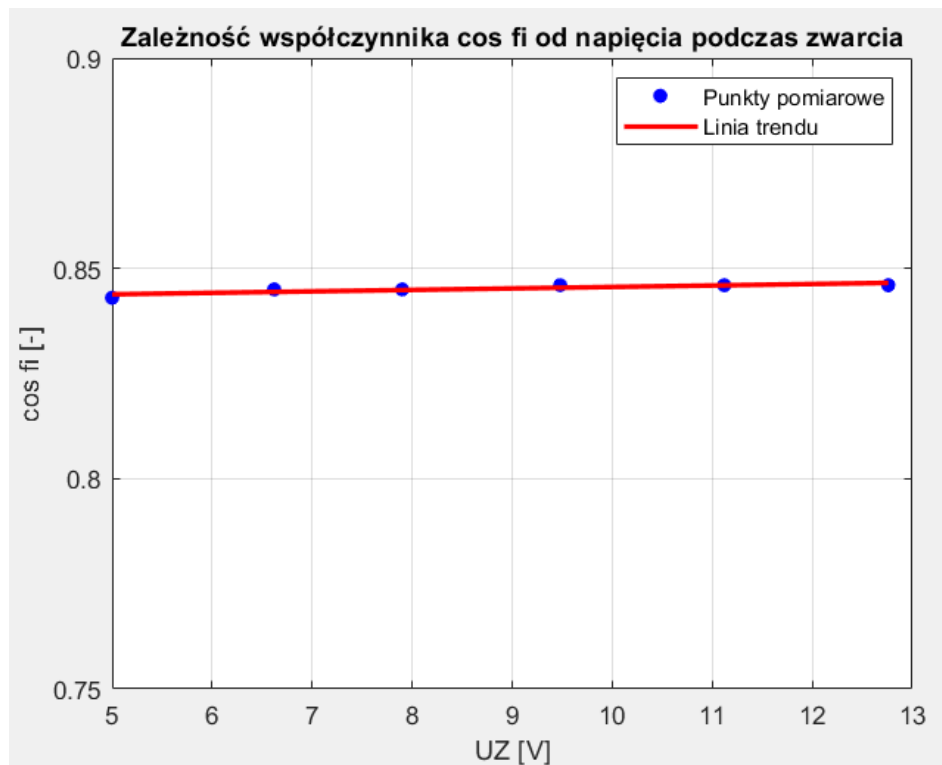
Prąd zmienia się niemalże liniowo wraz z napięciem. Ten efekt wynika z braku nasycenia rdzenia, gdyż prąd zwartego uzwojenia drugiej strony działa odmagnesowująco.





**Grafika 7** Zależność mocy zwarciowej od napięcia

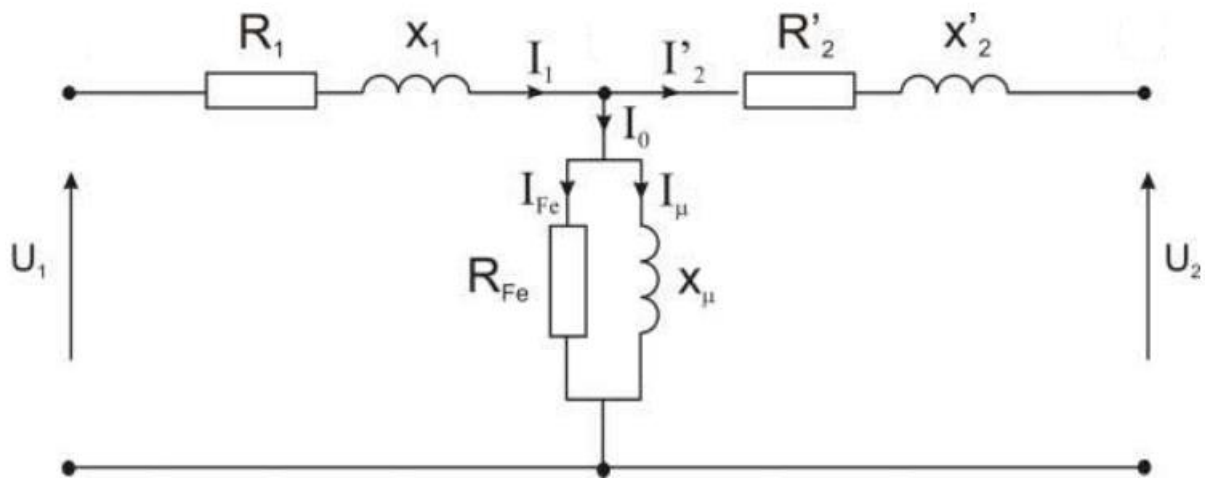
Dobrze oddając charakterystykę, moc została przybliżona funkcją kwadratową ze względu na to, że straty mocy głównie występują w uzwojeniu i są zatem proporcjonalne do kwadratu prądu.



**Grafika 8** Zależność współczynnika  $\cos \varphi$  od napięcia podczas zwarcia

Z uwagi na to, że parametry są niezależne od napięcia, współczynnik mocy  $\cos \varphi$  pozostaje praktycznie stały.

## Schemat zastępczy transformatora



Grafika 9 Schemat zastępczy transformatora

Dla uproszczenia obliczeń wartości schematu zastępczego przyjmujemy, iż transformator jest jednofazowy. Widok parametrów obliczamy od strony wysokiego napięcia, pamiętając o tym iż zwarcie było dla zasilania strony wysokiego napięcia, a stan jałowy dla zasilania strony niskiego napięcia.

Stan jałowy:  $U_{10}=240,5\text{V}$ ,  $I_0=0,972\text{A}$ ,  $P_0=112,55$

Stan zwarcia:  $U_{1k}=12,76\text{V}$ ,  $I_{1k}=11,76\text{A}$ ,  $P_k=221,12\text{W}$

$$Z_k = \frac{U_{1k}}{I_{1k}} = \frac{12,76}{\sqrt{3} * 11,76} \approx 0,63 [\Omega]$$

$$R_k = \frac{P_k}{3 * I_{1k}^2} = \frac{221,12}{3 * 11,76^2} \approx 0,53 [\Omega]$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{0,63^2 - 0,53^2} \approx 0,34 [\Omega]$$

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_k}{2} = \frac{0,53}{2} \approx 0,27 [\Omega]$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_k}{2} = \frac{0,34}{2} = 0,17 [\Omega]$$

$$R_2 = \frac{R_2'}{k_u^2} = \frac{0,27}{1,69^2} \approx 0,09 [\Omega]$$

$$P_{0Fe} = P_0 - 3 * R_2 * I_0^2 = 112,55 - 3 * 0,09 * 0,972^2 \approx 112,29 [W]$$

$$R_{Fe} = \frac{3 * \left(\frac{U_{10}}{\sqrt{3}}\right)^2}{P_{0Fe}} = \frac{240,5^2}{112,29} \approx 515,10 [\Omega]$$

$$I_{Fe} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} * R_{Fe}} = \frac{240,5}{\sqrt{3} * 515,10} \approx 0,27 [A]$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2} = \sqrt{0,972^2 - 0,16^2} \approx 0,93 [A]$$

$$X_\mu = \frac{U_{10}}{\sqrt{3} * I_\mu} = \frac{240,5}{\sqrt{3} * 0,93} \approx 149,30 [\Omega]$$

Zatem ostateczne wartości przyjętego schematu zastępczego są następujące:

$$R_1=R_2'=0,27 \Omega$$

$$X_1=X_2'=0,17 \Omega$$

$$R_{Fe}=1469,61 \Omega$$

$$X_\mu=244,85 \Omega$$