

## Ćwiczenie: "Obwody ze sprzężeniami magnetycznymi"

Opracowane w ramach projektu: "Informatyka – mój sposób na poznanie i opisanie świata" realizowanego przez Warszawską Wyższą Szkołę Informatyki.

### Zakres ćwiczenia:

- Cewki indukcyjne – sprzężenia dodatnie i ujemne
- Wyznaczanie zacisków jednoimiennych cewek
- Wyznaczanie parametrów schematu zastępczego cewek indukcyjnych
- Projektowanie transformatora
- Stan jałowy transformatora
- Stan zwarcia transformatora
- Transformator w stanie obciążenia
- Przekładnik prądowy
- Przekładnik napięciowy



Autor: Marcin Godziemba-Maliszewski

Radom 2013

## Scenariusz prowadzenia ćwiczenia

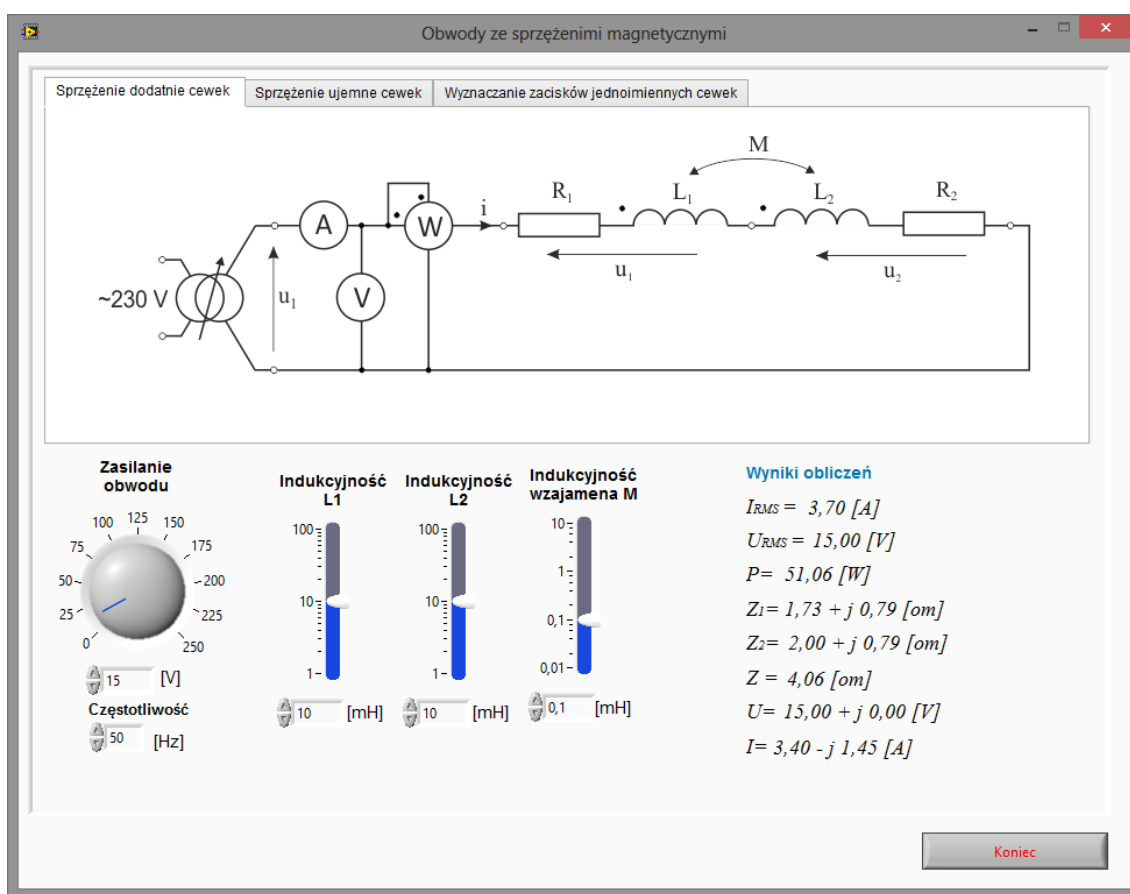
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami obwodów zawierającymi sprzężenia magnetyczne: cewki indukcyjne, transformatory sieciowe oraz przekładniki napięciowe i prądowe

### Obwody ze sprzężeniami magnetycznymi.

Celem modułu jest poznanie właściwości obwodów zawierających cewki bez rdzenia ferromagnetycznego sprzężone ze sobą magnetycznie oraz ze sposobami łączenia cewek mających wpływ na znak i wartość indukcyjności magnetycznej

#### Zadanie 1 - Pomiar impedancji układu z szeregowym połączeniem cewek – sprzężenie dodatnie.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 1 należy wykonać pomiary napięć, prądów i mocy dla parametrów układu podanego przez prowadzącego ćwiczenie. Pomiary przeprowadzić dla kilku wartości napięcia zasilającego układ a wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarowej nr. 1



Rys. 1. Wirtualny przyrząd pomiarowy do pomiaru impedancji cewek indukcyjnych połączonych szeregowo.

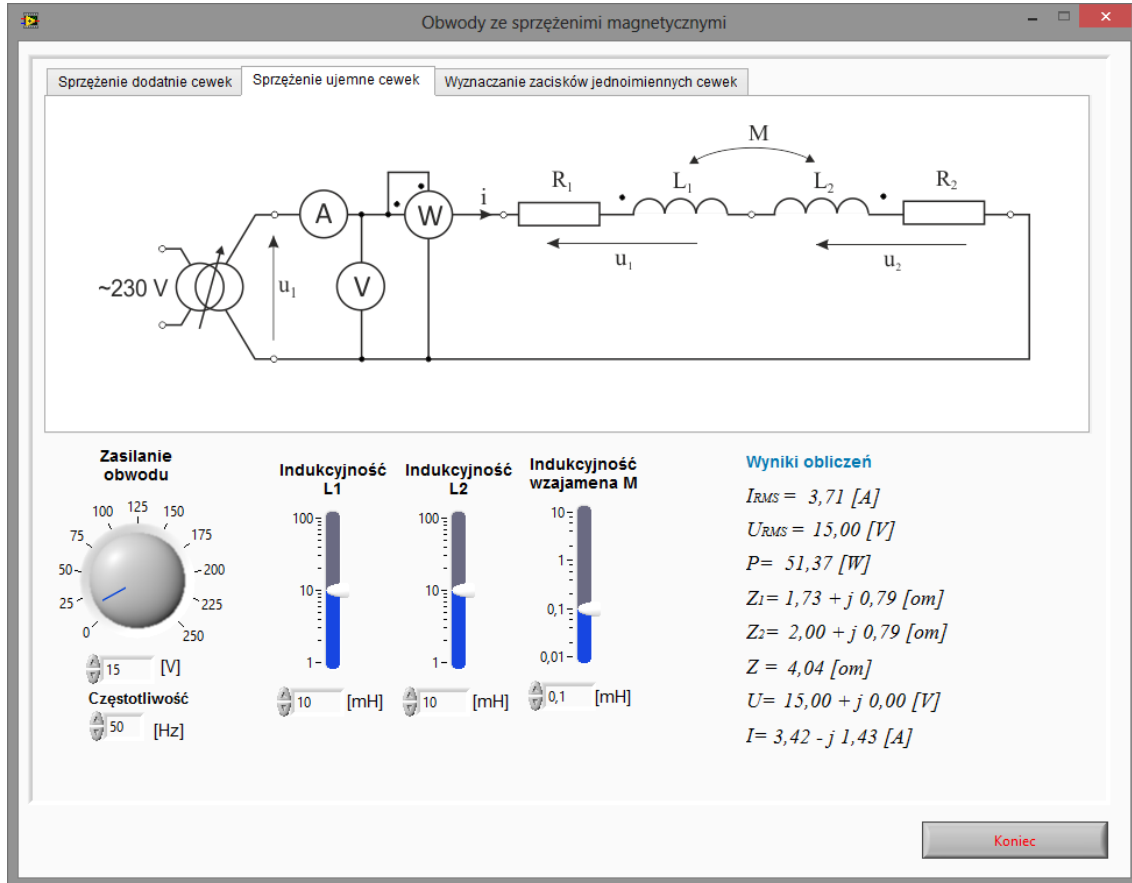
Tabela pomiarowa nr 1

| $L_p.$ | $I [A]$ | $U [V]$ | $Z_{zast} [\Omega]$ | $L_{zast} [H]$ |
|--------|---------|---------|---------------------|----------------|
|        |         |         |                     |                |



**Zadanie 2 - Pomiar impedancji układu z szeregowym połączeniem cewek – sprzężenie ujemne.**

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 2 należy wykonać pomiary napięć, prądów i mocy dla parametrów układu jak w zadaniu 1. Pomiary przeprowadzić dla kilku wartości napięcia zasilającego układ a wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarowej nr. 2



Rys. 2. Wirtualny przyrząd pomiarowy do pomiaru impedancji cewek indukcyjnych połączonych szeregowo.

Tabela pomiarowa nr 2

| <i>Lp.</i> | <i>I [A]</i> | <i>U [V]</i> | <i>Z<sub>zast</sub> [Ω]</i> | <i>L<sub>zast</sub> [H]</i> |
|------------|--------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|
|            |              |              |                             |                             |

**Zadanie 3 – Wyznaczanie impedancji cewek oraz schemat zastępczy cewek indukcyjnych.**

Na podstawie otrzymanych danych w zadaniu 2 i 3 należy policzyć impedancje zastępcze cewek dla układu ze sprzężeniem dodatnim oraz ujemnym o stałej wartości indukcyjności wzajemnej. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarowej nr 3.

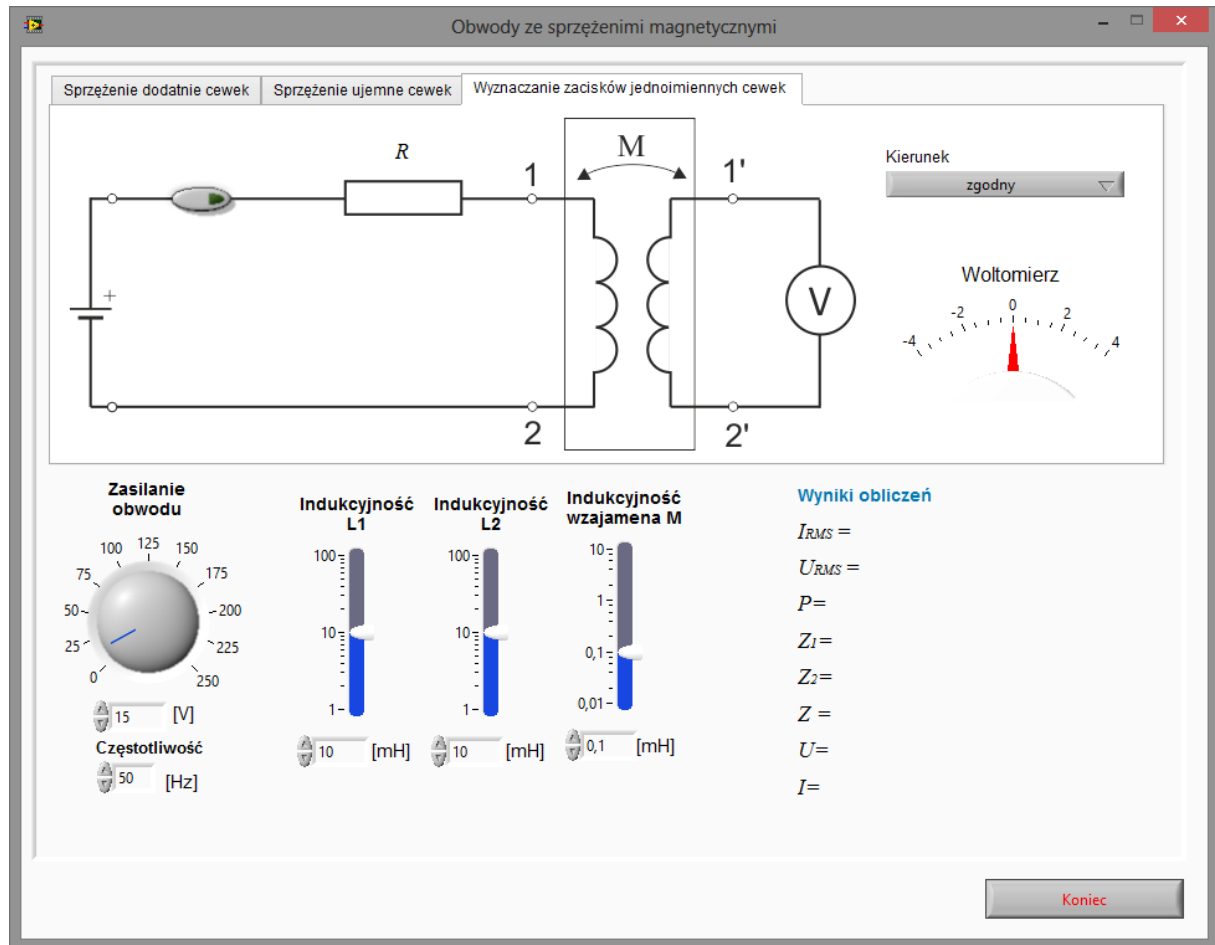
Tabela pomiarowa nr 3

| <i>Sprzężenie</i> |           | <i>Pomiary</i> |             |             | <i>Obliczenia</i> |              |                          |                            |
|-------------------|-----------|----------------|-------------|-------------|-------------------|--------------|--------------------------|----------------------------|
|                   | <i>lp</i> | <i>U [V]</i>   | <i>I[A]</i> | <i>P[W]</i> | <i>Z [Ω]</i>      | <i>X [Ω]</i> | <i>X<sub>M</sub> [Ω]</i> | <i>X<sub>Mdu</sub> [Ω]</i> |
| <i>dodatnie</i>   | 1         |                |             |             |                   |              |                          |                            |
|                   | 2         |                |             |             |                   |              |                          |                            |
|                   | 3         |                |             |             |                   |              |                          |                            |
| <i>ujemne</i>     | 1         |                |             |             |                   |              |                          |                            |
|                   | 2         |                |             |             |                   |              |                          |                            |
|                   | 3         |                |             |             |                   |              |                          |                            |



#### Zadanie 4 – Wyznaczanie zacisków jednoimiennych.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 3 należy wyznaczyć zaciski jednoimienne cewki indukcyjnej zamodelowanej w symulatorze.



Rys. 3. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania zacisków jednoimiennych.



## Transformator sieciowy.

Celem modułu jest poznanie parametrów, właściwości eksploatacyjnych oraz sposobu wyznaczania i pomiaru niektórych charakterystycznych parametrów oraz charakterystyk transformatora sieciowego.

**Projektowanie transformatora**

Stan jałowy transformatora    Stan zwarcia transformatora    Pomiar charakterystyki zewnętrznej

**Projektowanie transformatora sieciowego małej mocy**

**Parametry transformatora**

- Napięcie pierwotne: 230 [V]
- Napięcie wtórne: 150 [V]
- Indukcja magnetyczna  $B_m$ : 11000 [Gauss]
- Moc  $S$  po stronie wtórnej: 245 [VA]
- Straty w miedzi: 5 [%]
- Straty w żelazie: 6 [W]

**Parametry obliczone**

- Moc  $S$  strony pierwotnej = 275,50 [VA]
- Przekrój rdzenia = 19,92 [cm<sup>2</sup>]
- Liczba zwojów  $N = 2,06$  [zwołt]
- Liczba zwojów  $Z_1 = 473$  zwojów
- Liczba zwojów  $Z_2 = 308$  zwojów
- Prąd  $I_1 = 1,20$  [A]
- Prąd  $I_2 = 1,63$  [A]
- Średnica drutu  $\phi_1 = 0,71$  [mm]
- Średnica drutu  $\phi_2 = 0,83$  [mm]
- Przekładnia zwojowa  $V_Z = 1,53$

Koniec

Rys. 4. Projektowanie parametrów transformatora sieciowego małej mocy.

### Zadanie 5.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 4 należy zaprojektować transformator sieciowy o parametrach określonych przez prowadzącego ćwiczenie. Parametry nastawione oraz wynikające z uproszczonych obliczeń należy zapisać w tabeli pomiarowej. Dla nastawionych parametrów należy obliczyć rezystancję uzwojeń wynikającą ze średnicy rdzenia oraz liczby i średnicy drutu. Przyjąć że uzwojenie jest wykonane z miedzi.

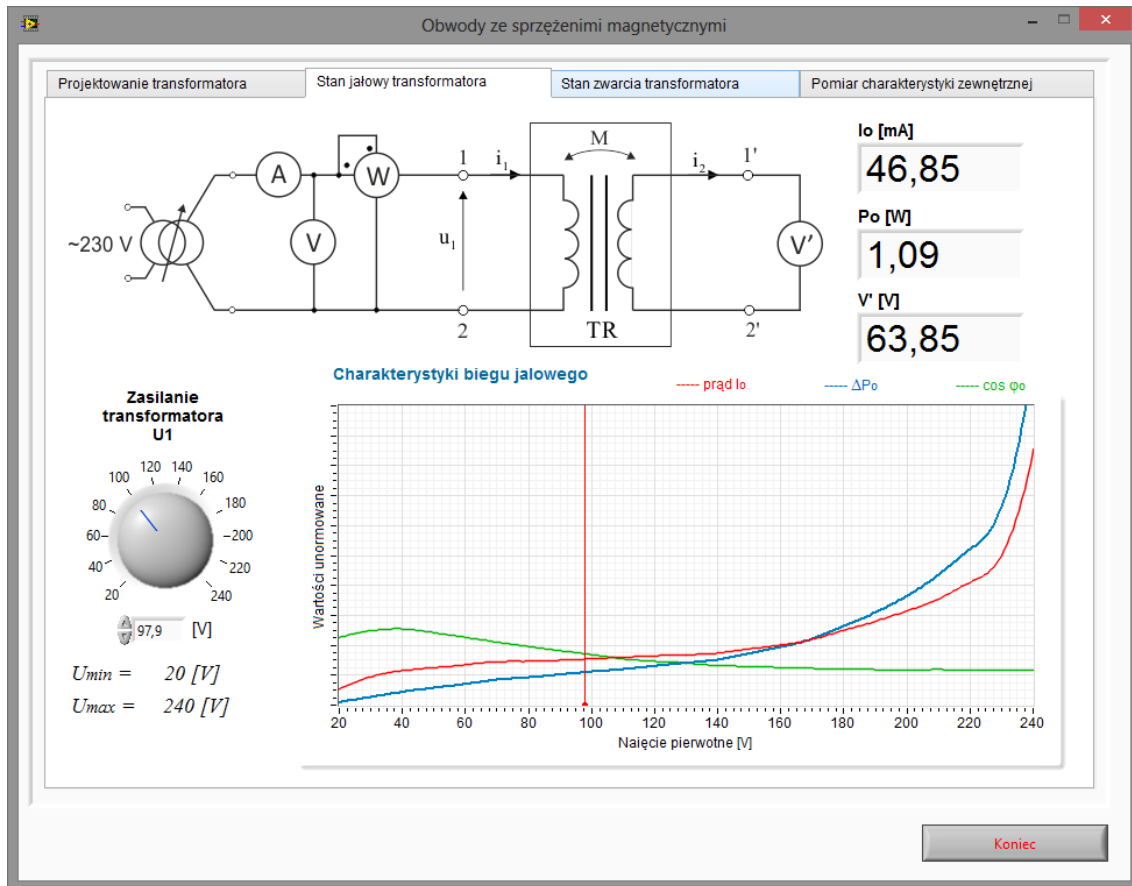
### Zadanie 6.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 4 należy zaobserwować wpływ parametrów transformatora na liczbę zwojów, przekładnię oraz różnicę mocy pomiędzy mocą pozorną uzwojenia pierwotnego i wtórnego.



**Zadanie 7.**

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 5 należy przeprowadzić tzw. próbę stanu jałowego polegającą na regulacji napięcia wejściowego (pierwotnego) transformatora w zakresie od 10% - 110% wartości napięcia znamionowego dla nieobciążonego uzwojenia wtórnego transformatora. Otrzymane dane należy zanotować w tabeli pomiarowej nr 4



Rys.5. Wirtualny przyrząd pomiarowy do przeprowadzania próby stanu jałowego transformatora.

Tabela pomiarowa nr 4.

| $Lp.$ | $U_1 [V]$ | $U' [V]$ | $I_o [A]$ | $P_o [W]$ |
|-------|-----------|----------|-----------|-----------|
|       |           |          |           |           |

**Zadanie 8.**

Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 4 należy wyznaczyć wartość znamionowych strat w żelazie dla wartości znamionowej napięcia zasilającego transformator.

$$R_{Fe} = \frac{U_{1N}^2}{P_o} = \dots\dots\dots [ \quad ] \quad X_{\mu} = \frac{U_{1N}}{I_1 \cdot \sin \varphi_{oN}} = \dots\dots\dots [ \quad ]$$

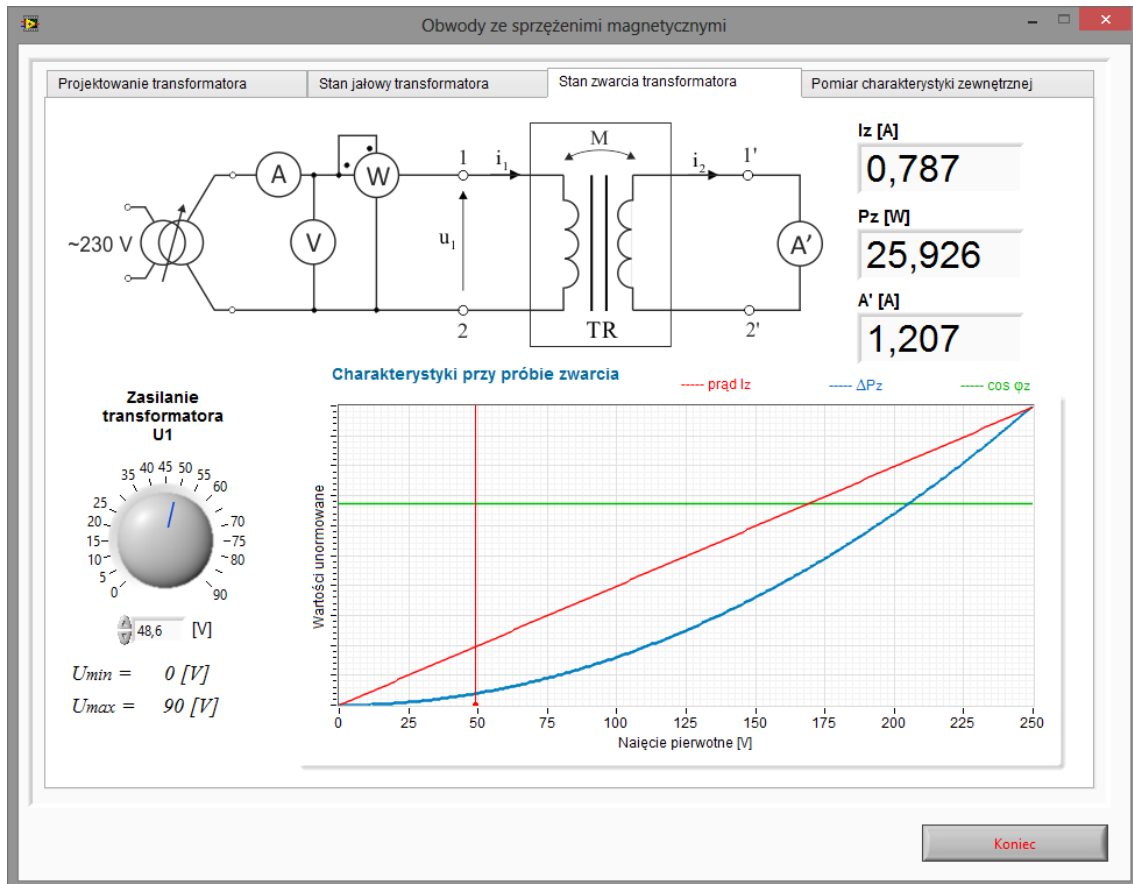
**Zadanie 9.**

Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 4 należy wykreślić charakterystyki:

- Zależność prądowo-napięciową stanu jałowego
- Zależność współczynnika mocy w funkcji napięcia zasilającego
- Zależność mocy w funkcji w funkcji napięcia zasilającego

### Zadanie 10.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 6 należy przeprowadzić tzw. próbę zwarcia polegającą na regulacji napięcia wejściowego (pierwotnego) transformatora w zakresie od 0 do takiej wartości napięcia, aby w uzwojeniach popłynął prąd o 20% większy od wartości znamionowych dla zwartego uzwojenia wtórnego transformatora. Napięcie graniczne wynosi zazwyczaj od kilku do kilkunastu procent napięcia znamionowego. Pomiar mocy pobranej przez transformator w stanie zwarcia pozwala w przybliżeniu określić straty mocy w jego uzwojeniach. Otrzymane dane należy zanotować w tabeli pomiarowej nr 5



Rys.6. Wirtualny przyrząd pomiarowy do przeprowadzania próby stanu jałowego transformatora.

Tabela pomiarowa nr 5.

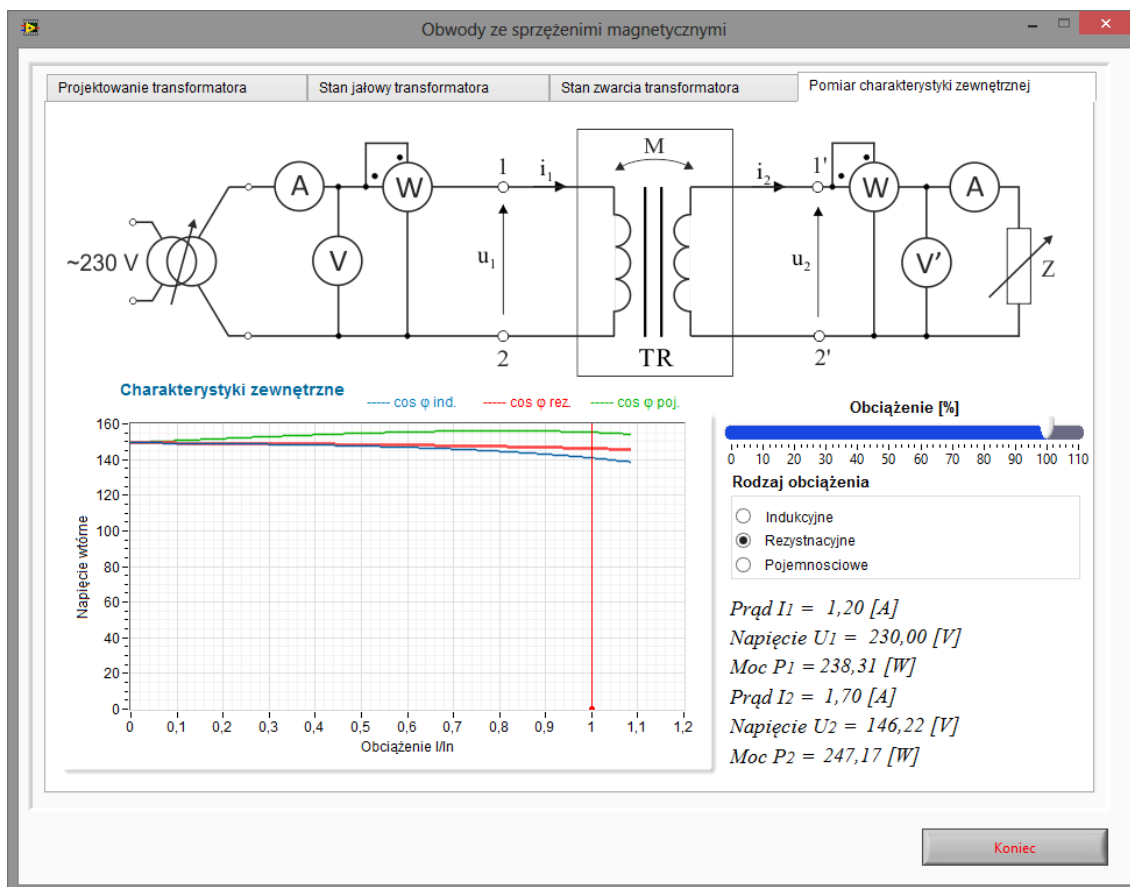
| $Lp.$ | $U_z [V]$ | $I_z [A]$ | $I' [A]$ | $P_z [W]$ | $\cos \varphi_z = \frac{P_z}{U_z \cdot I_z}$ |
|-------|-----------|-----------|----------|-----------|--|
|       |           |           |          |           |  |

### Zadanie 11.

Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 5 należy wykreślić w jednym układzie współrzędnych zależności  $P_z$ ,  $U_z$  oraz  $\cos \varphi_z$  w funkcji prądu zwarcia. Dla największego napięcia  $U_z$  odczytać z charakterystyki stanu jałowego wartość  $P_{Fe}=f(U_0)$  moc strat w obwodzie magnetycznym dla danego napięcia a następnie wyznaczyć ich udział w stratach przy próbie zwarcia, jako stosunek  $P_{Fe} / P_z$ .

### Zadanie 12.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 7 należy wyznaczyć charakterystykę zewnętrzną transformatora sieciowego polegającą na wyznaczeniu zależności napięcia wyjściowego i sprawności transformatora w funkcji prądu obciążenia i charakteru obciążenia przy stałym napięciu zasilającym transformator równym napięciu znamionowemu. Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli pomiarowej nr.6.



Rys.7. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania charakterystyki zewnętrznej transformatora sieciowego.

Tabela pomiarowa nr 6.

| Lp. | Wyniki pomiarów |           |           |           |           |           |                | Wartości obliczone |               |             |                |
|-----|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|--------------------|---------------|-------------|----------------|
|     | $U_1 [V]$       | $I_1 [A]$ | $U_2 [V]$ | $I_2 [A]$ | $P_1 [W]$ | $P_2 [W]$ | typ obciążenia | $U_{2ob} [V]$      | $P_{2ob} [W]$ | $\eta [\%]$ | $\cos \varphi$ |
|     |                 |           |           |           |           |           |                |                    |               |             |                |

### Zadanie 13.

Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 6 należy wykreślić w jednym układzie współrzędnych zależności napięcia wtórnego w funkcji prądu dla trzech typów obciążeń.

### Zadanie 14.

Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 6 należy wykreślić zależność sprawności transformatora w funkcji prądu dla trzech typów obciążeń.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

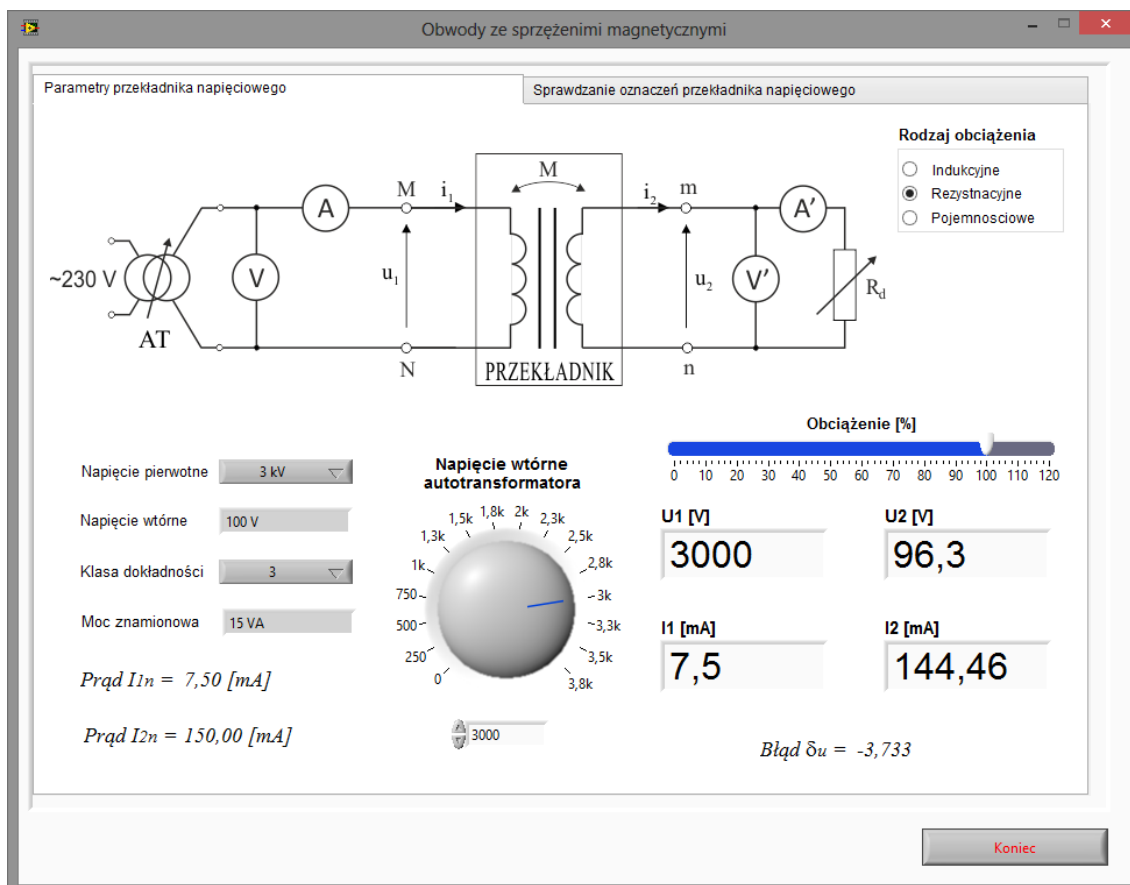


## Przekładnik napięciowy.

Celem modułu jest poznanie parametrów, właściwości eksploatacyjnych oraz sposobu wyznaczania i pomiaru niektórych charakterystycznych parametrów oraz charakterystyk przekładnika napięciowego.

### Zadanie 15.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 8 należy wykonać pomiar błędów przekładnika napięciowego w funkcji obciążenia dla różnych typów obciążeń i klas przekładnika. Obciążenie należy regulować od 0 do 120% wartości maksymalnej. Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli pomiarowej nr 7.



Rys.8. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania błędów przekładnika napięciowego.

Tabela pomiarowa nr 7.

| $Lp.$ | $\frac{U_1}{U_{1N}} \cdot 100\%$ | Obciążenie [%] | $U_1 [V]$ | $I_1 [A]$ | $U_2 [V]$ | $I_2 [A]$ | $\Delta U [\%]$ |
|-------|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
|       |                                  |                |           |           |           |           |                 |

### Zadanie 16.

Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 7 należy wykreślić na jednym wykresie wartość uchybu napięciowego w zależności od wartości obciążenia dla różnych typów obciążenia. Na wykres nanieść wartości dopuszczalne zgodnie z normą dla przekładników napięciowych.

### Zadanie 17.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 8 należy wykonać pomiar błędów przekładnika napięciowego w funkcji wartości napięcia pierwotnego dla kilku obciążeń z zakresu 5%-60% oraz z zakresu 80%-120%. Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli pomiarowej nr 8.



Tabela pomiarowa nr 8.

| $Lp.$ | $\frac{U_1}{U_{1N}} \cdot 100\%$ | Obciążenie [%] | $U_1 [V]$ | $I_1 [A]$ | $U_2 [V]$ | $I_2 [A]$ | $\Delta U [\%]$ |
|-------|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
|       |                                  |                |           |           |           |           |                 |

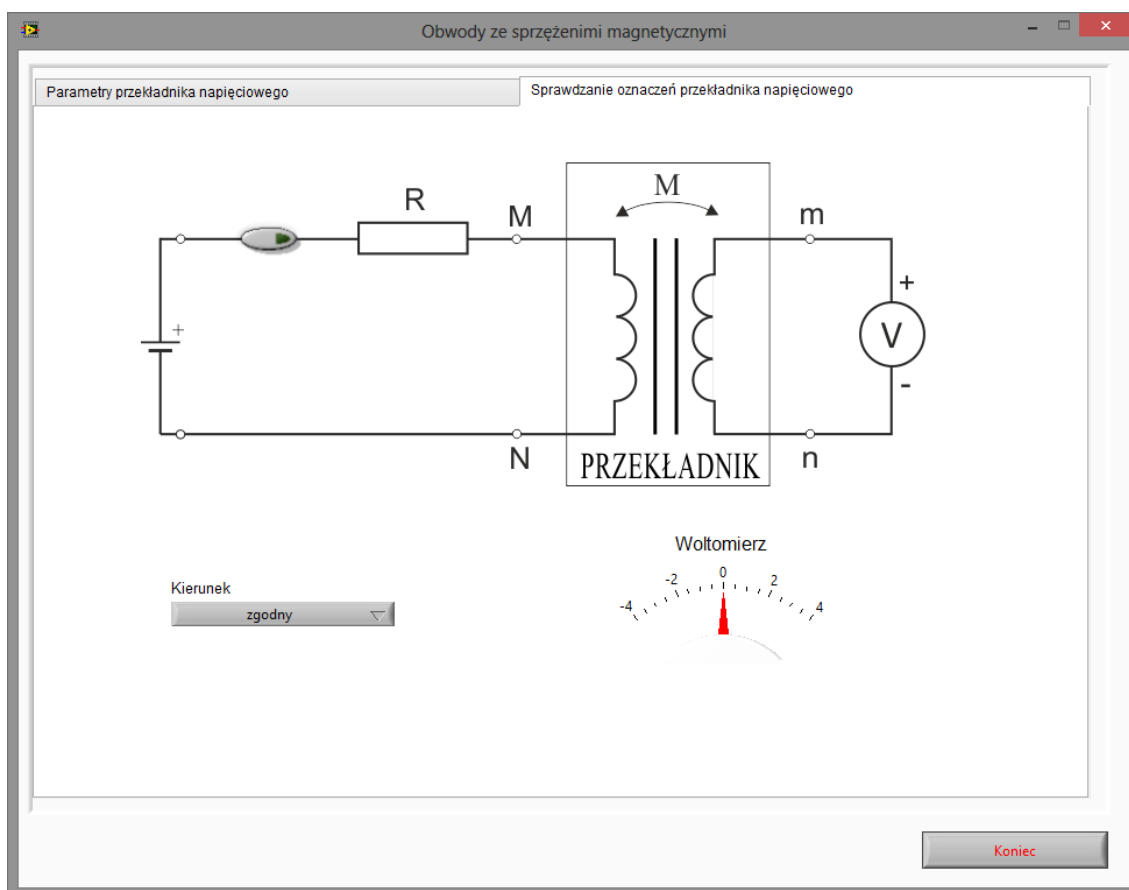
### Zadanie 18.

Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 8 należy wykreślić na jednym wykresie wartość uchybu napięciowego w zależności od wartości obciążenia dla danego napięcia pierwotnego. Na wykres nanieść wartości dopuszczalne zgodnie z normą dla przekładników napięciowych.

## Sprawdzanie oznaczeń zacisków przekładnika napięciowego

### Zadanie 19

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 9 należy sprawdzić poprawność oznaczenia zacisków przekładnika prądowego.



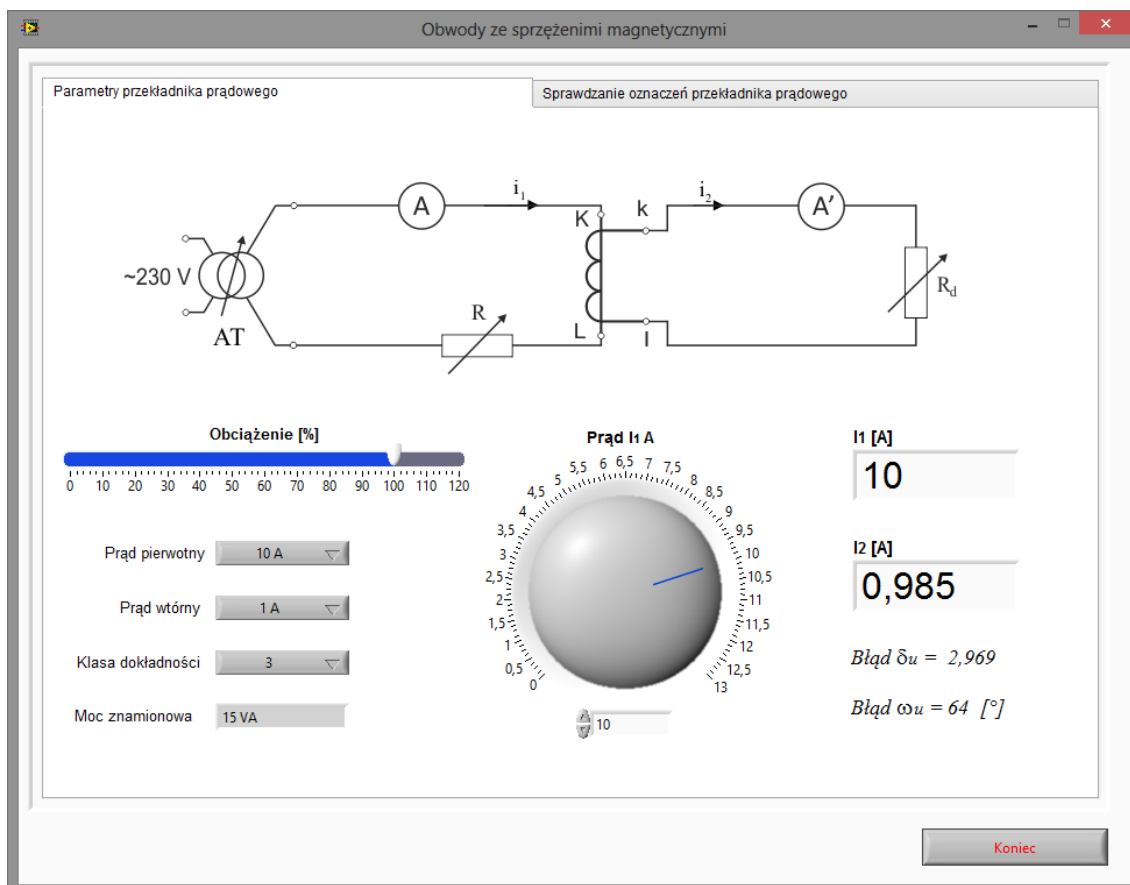
Rys. 9. Wirtualny przyrząd pomiarowy do sprawdzania oznaczenia zacisków przekładnika napięciowego.

## Przekładnik prądowy.

Celem modułu jest poznanie parametrów, właściwości eksploatacyjnych oraz sposobu wyznaczania i pomiaru niektórych charakterystycznych parametrów oraz charakterystyk przekładnika prądowego.

### Zadanie 20.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku nr 10 należy wykonać pomiar błędów przekładnika prądowego w funkcji obciążenia dla różnych klas przekładnika. Obciążenie należy regulować od 0 do 120% wartości maksymalnej. Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli pomiarowej nr 9.



Rys.10. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania błędów przekładnika prądowego.

Tabela pomiarowa nr 9.

| $Lp.$ | $\frac{I_1}{I_{1N}} \cdot 100\%$ | Obciążenie [%] | $I_1 [A]$ | $I_2 [A]$ | $\delta_u$ | $\omega_u [^\circ]$ | $\Delta I [^\circ]$ |
|-------|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|------------|---------------------|---------------------|
|       |                                  |                |           |           |            |                     |                     |

### Zadanie 21.

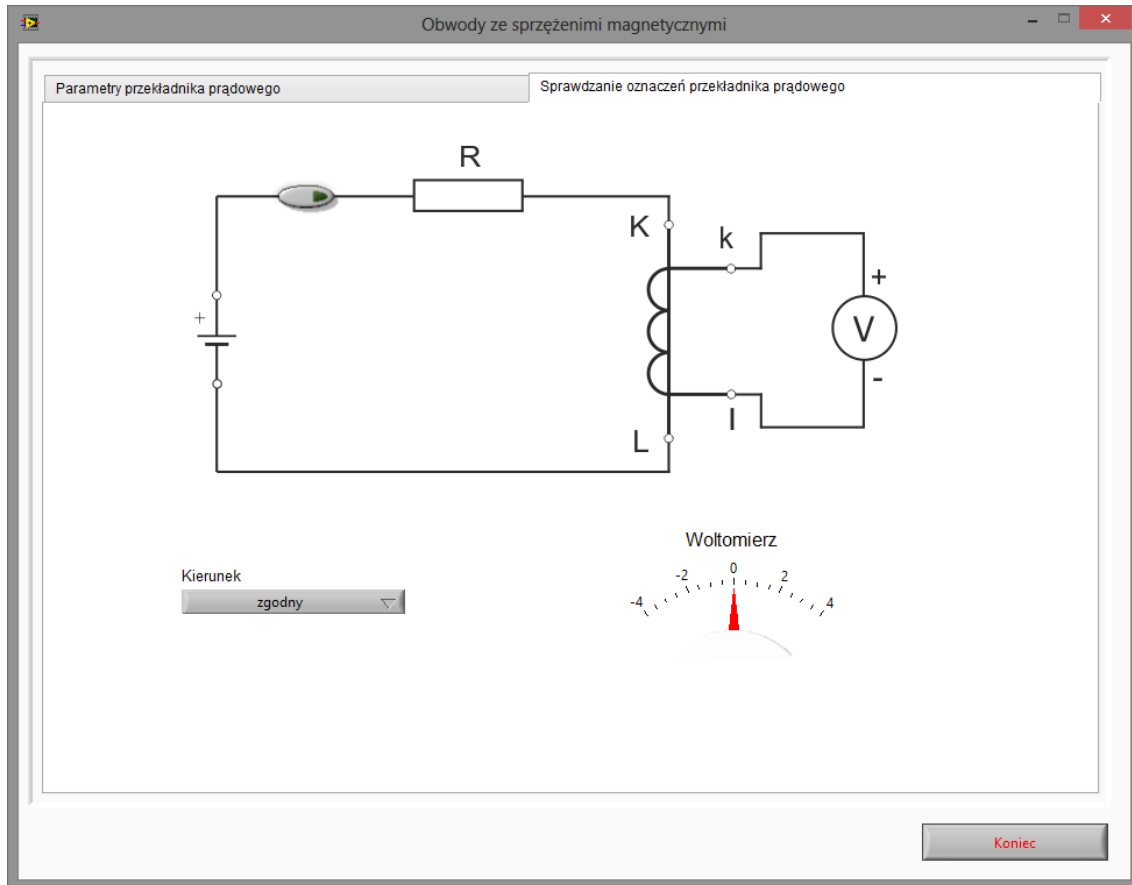
Na podstawie danych z tabeli pomiarowej nr 9 należy wykreślić wartość uchybu prądowego i kąтового w zależności od wartości obciążenia dla różnych typów obciążenia. Na wykres nanieść wartości dopuszczalne zgodnie z normą dla przekładników prądowych.



## Sprawdzanie oznaczeń zacisków przekładnika prądowego.

### Zadanie 22

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 11 należy sprawdzić poprawność oznaczeń zacisków przekładnika prądowego.



Rys. 11. Wirtualny przyrząd pomiarowy do sprawdzania oznaczenia zacisków przekładnika prądowego.