Ćwiczenie: "Silnik prądu stałego"

Opracowane w ramach projektu: "**Wirtualne Laboratoria Fizyczne nowoczesną metodą nauczania**" realizowanego przez **W**arszawską **W**yższą **S**zkołę **I**nformatyki.

Zakres ćwiczenia:

- Zasada działania silnika prądu stałego
- Projektowanie modelu silnika prądu stałego
- Wyznaczanie odpowiedzi skokowej silnika prądu stałego
- Charakterystyka mechaniczna silnika prądu stałego
- Pomiar charakterystyki mechanicznej silnika prądu stałego
- Charakterystyka momentu w funkcji prądu silnika prądu stałego
- Charakterystyka regulacyjna silnika prądu stałego
- Pomiar charakterystyki regulacyjnej silnika prądu stałego
- Pomiar strefy nieczułości silnika prądu stałego

Autor: Marcin Godziemba-Maliszewski

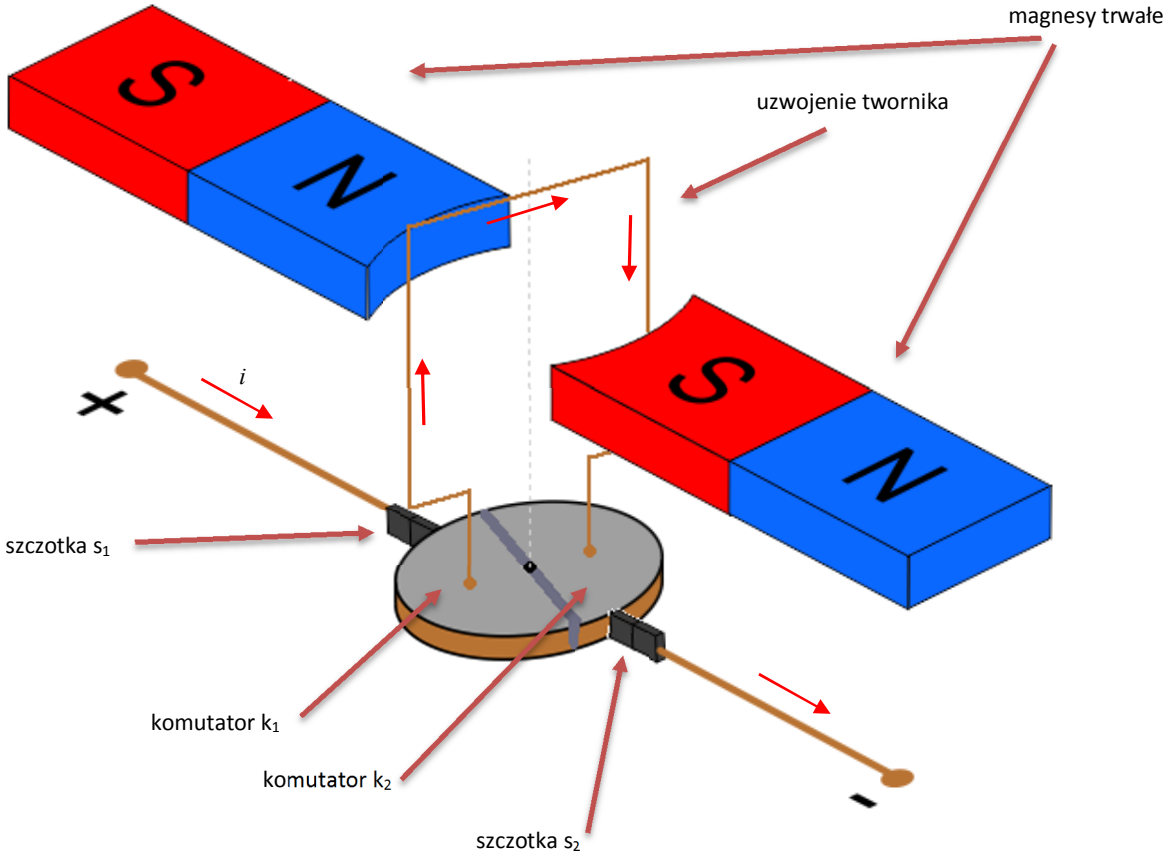
Radom 2013

Scenariusz prowadzenia ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z działaniem, właściwościami ruchowymi oraz ze sposobem wyznaczania podstawowych charakterystyk opisujących właściwości silnika prądu stałego.

Zasada działania silnika prądu stałego.

Celem modułu jest zapoznanie się z zasadą działania silnika prądu stałego oraz reprezentacją elektryczno – mechaniczną schematu zastępczego.



Rys.2. Model elementarnego silnika prądu stałego.

Na rysunku numer 1 przedstawiono działanie silnika prądu stałego mającego jedną parę biegunów oraz wirnik z uzwojeniem twornika składającego się z jednego zwoju przyłączonego do wycinków komutatora k1 i k2 wraz ze szczotkami S1 i S2 ślizgającymi się po komutatorze i doprowadzającymi napięcie z obwodu zasilania. Jeżeli wirnik obraca się z prędkością v to w każdym przewodzie twornika indukuje się siła elektromotoryczna E o wartości proporcjonalnej do indukcji magnetycznej B, długości czynnej przewodu (będącego w polu magnetycznym) wyrażonym w metrach oraz od prędkości v, z jaką przewód przecina w kierunku prostopadłym linie sił pola magnetycznego. Kierunek sem określa reguła prawej dłoni bądź śruby prawoskrętnej natomiast wartość sem E opisana jest wzorem:

$$E = B \cdot l \cdot v \quad [V]$$

W trakcie obrotu wału silnika komutator dokonuje przełączeń końców uzwojenia twornika z wykorzystaniem wycinków k_1 i k_2 w chwilach, gdy wartość sem E wynosi zero. Komutator spełnia rolę mechanicznego prostownika, dzięki któremu otrzymuje się siłę elektromotoryczną o stałym zwrocie.

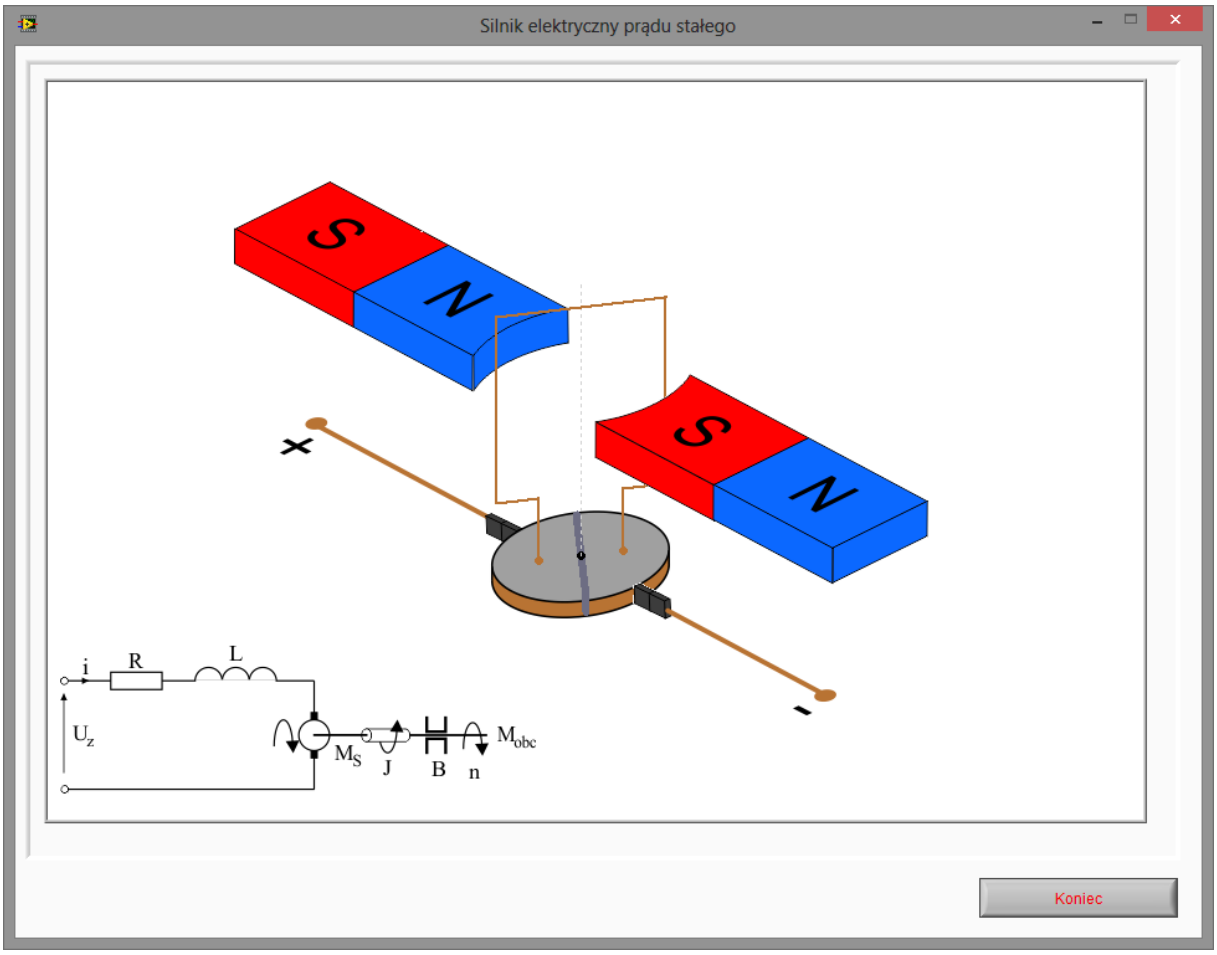
Przy przepływie prądu w uzwojeniu twornika działa na nie siła mechaniczna o wartości proporcjonalnej do wartości indukcji magnetycznej, prądu przepływającego przez uzwojenie oraz długości czynnej przewodu (długości przypadające na

prostopadłe położenie względem sił pola). Kierunek siły F określa reguła prawej dłoni bądź śruby prawoskrętnej natomiast wartość opisana jest wzorem:

$$F = B \cdot I \cdot l \quad [N]$$

Powstała siła mechaniczna F działająca na uzwojenie twornika powoduje powstanie momentu elektromagnetycznego M_e, którego kierunek jest zgodny z kierunkiem wirowania i jest momentem napędowym będącym transformacją energii elektrycznej na energię mechaniczną.

Na rysunku numer 2 przedstawiono wirtualny przyrząd pomiarowy symulujący działanie silnika prądu stałego.

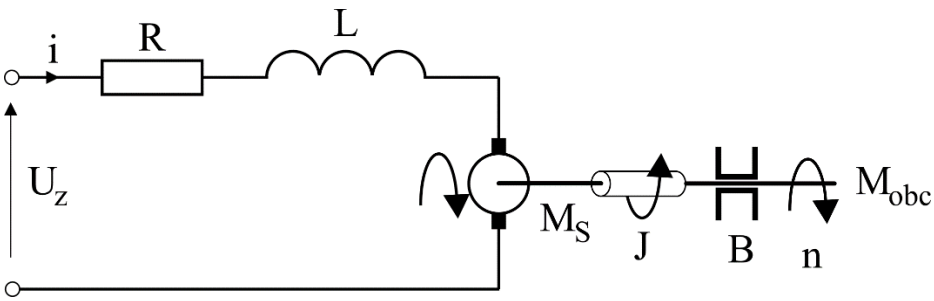


Rys. 2. Wizualizacja działania silnika prądu stałego.

Projektowanie modelu silnika prądu stałego.

Celem modułu jest zapoznanie się ze sposobem tworzenia uproszczonych modeli silnika elektrycznego oraz projektowania parametrów silnika na ich podstawie.

Model silnika użyty w ćwiczeniu oparto blokowy model silnika utworzony w oparciu o schemat zastępczy (przedstawiony na rysunku numer 3) silnika prądu stałego sprowadzonego do obwodu wirnika.



Rys.3. Schemat zastępczy silnika prądu stałego sprowadzony do obwodu wirnika.

Wielkości występujące na schemacie opisujące parametry elektryczne silnika:

- U_z – napięcie zasilania silnika
- i – prąd płynący w uzwojeniach silnika
- R – rezystancja zastępcza uzwojenia wirnika
- L – indukcyjność zastępcza uzwojeń wirnika
- n – prędkość obrotowa wirnika

Wielkości występujące na schemacie opisujące parametry mechaniczne silnika:

- M_s – moment obrotowy silnika
- M_{obc} – moment obciążenia
- n – prędkość obrotowa wirnika, ω – prędkość kątowa wirnika
- J – moment bezwładności wału silnika
- B – sumaryczny współczynnik tarcia

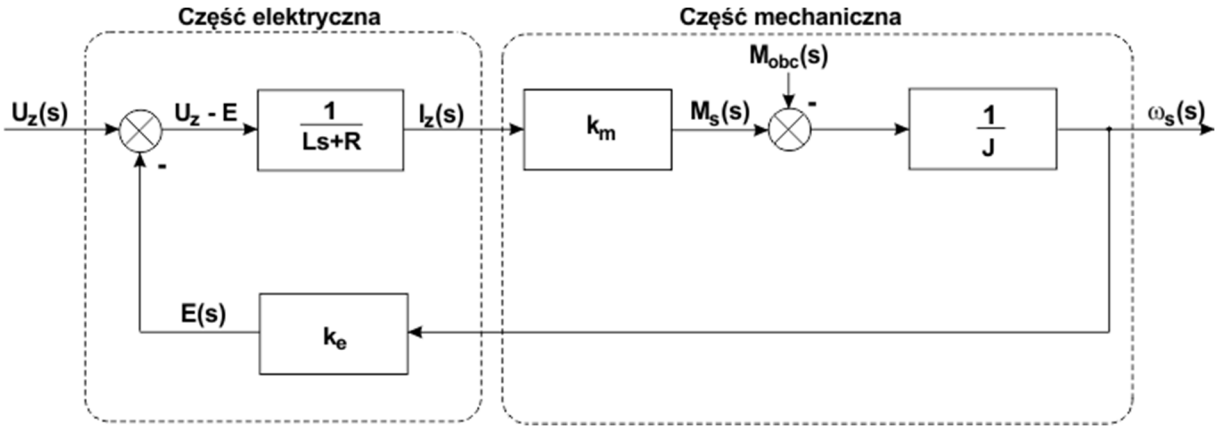
Analizując przedstawiony powyżej schemat zastępczy silnika prądu stałego można wydzielić dwa obwody reprezentujące odpowiednio część mechaniczną oraz elektryczną. Pozwala to na napisanie dwóch równań różniczkowych modelujących jego działanie:

$$\begin{cases} \dfrac{di}{dt} = \dfrac{1}{L} \cdot [v_u - k_e \cdot \omega - R \cdot I(t)] \\ \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{1}{J} \cdot [k_t \cdot I(t) - B \cdot \omega - M_{obc}] \end{cases}$$

Modelowanie silnika prądu stałego w środowisku LabVIEW najłatwiej wykonać w oparciu o operatorowy układ równań. W wyniku przekształceń otrzymujemy:

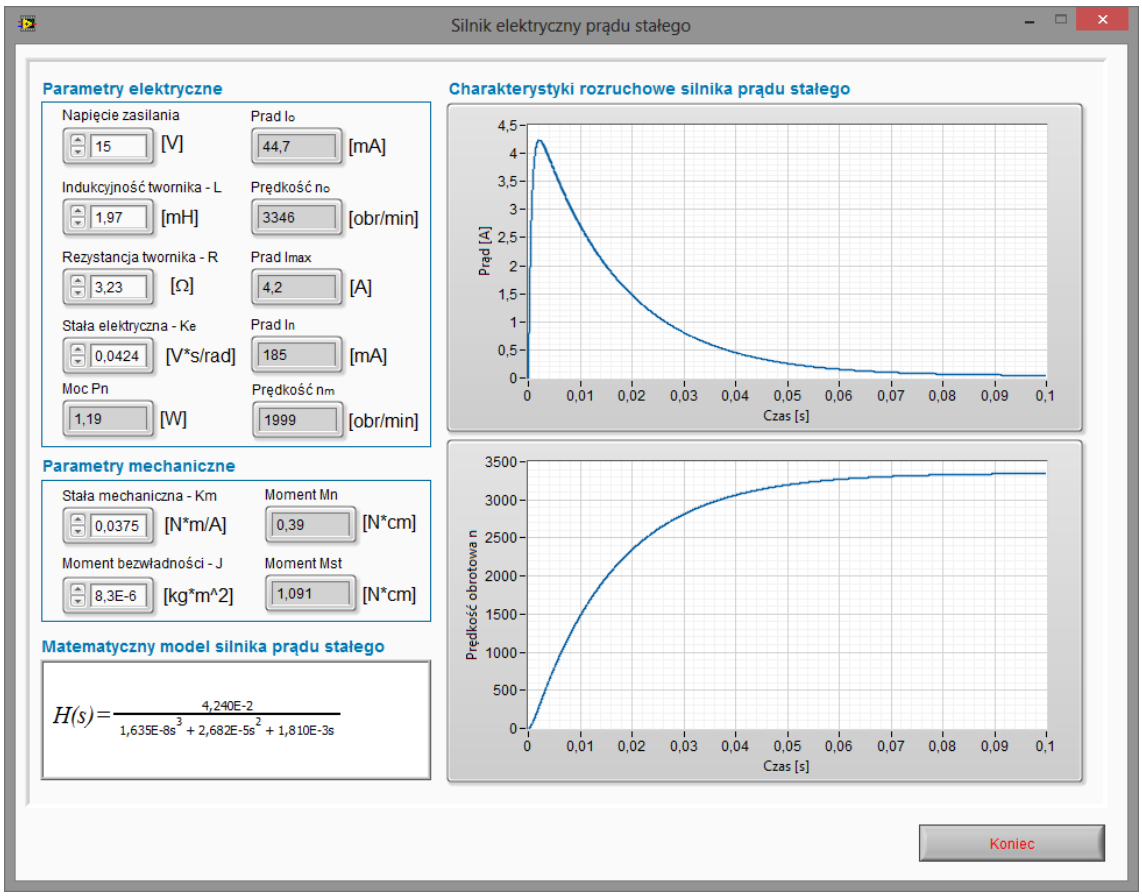
$$\begin{cases} M_s(s) = k_m \cdot I(s) \\ M_s(s) = M_{obc}(s) + s \cdot J \cdot \omega(s) \\ E_s = k_e \cdot \omega(s) \end{cases}$$

W wyniku otrzymujemy schemat blokowy uwzględniający część elektryczną oraz część mechaniczną oraz moment obciążenia:



Rys.4. Model silnika prądu stałego.

Poniżej przedstawiono wirtualny przyrząd pomiarowy, który na podstawie modelu umożliwia zaprojektowanie parametrów silnika prądu stałego w oparciu o podstawowe dane konstrukcyjne silnika.



Rys. 5. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika prądu stałego.

Zadanie 1.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 5 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów konstrukcyjnych silnika na jego właściwości eksploatacyjne:

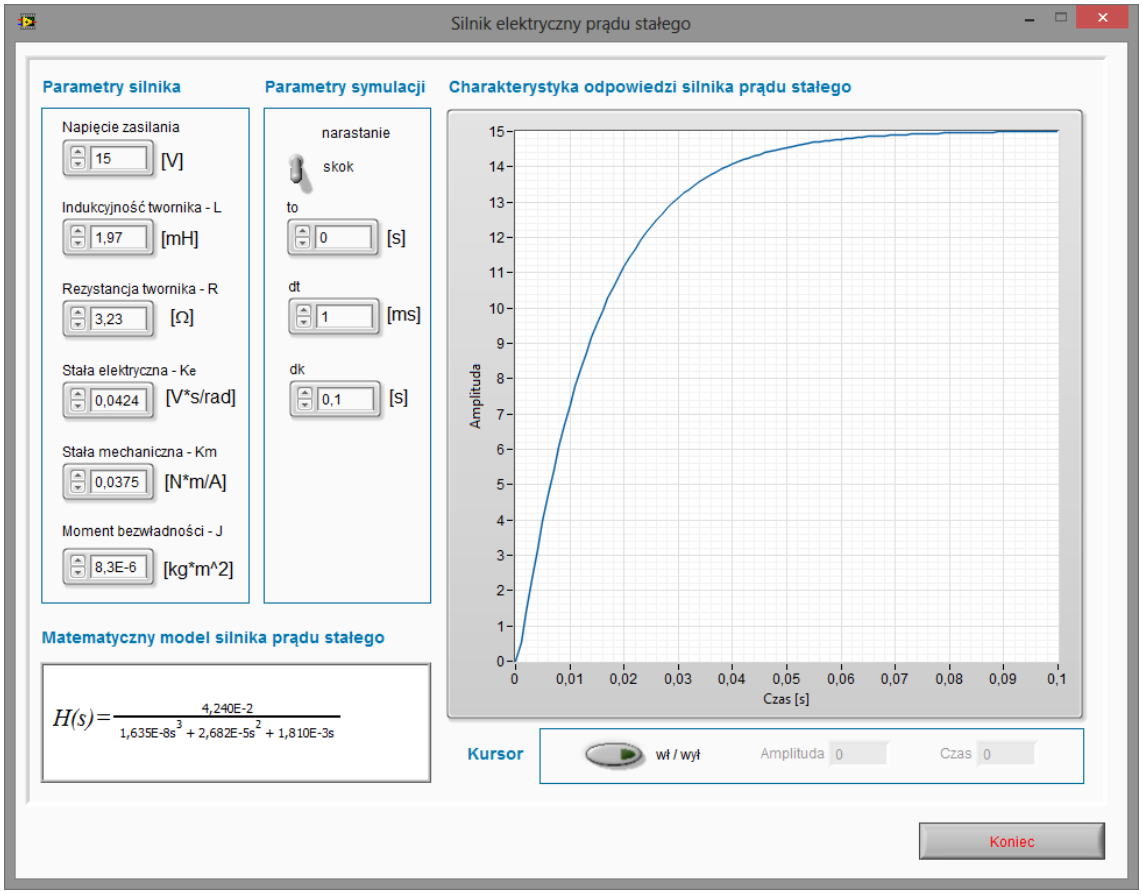
- Wpływ rezystancji uzwojenia na szybkość osiągania stanu ustalonego
- Wpływ rezystancji uzwojenia na wartość maksymalnego prądu płynącego w trakcie rozruchu silnika
- Wpływ rezystancji uzwojenia na wartość start w silniku
- Wpływ indukcyjności uzwojenia na szybkość osiągania stanu ustalonego
- Wpływ stałych na uzyskiwane parametry silnika

Zadanie 2.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 5 należy zaprojektować silnik prądu stałego o określonych przez prowadzącego parametrach użytkowych, np.: napięcie zasilania = 12V, czas rozruchu mniejszy od 80 ms, prędkość przy obciążeniu znamionowym 1600 obr/min i moment znamionowy minimum 0,2 N*cm.

Odpowiedź silnika na skok napięcia.

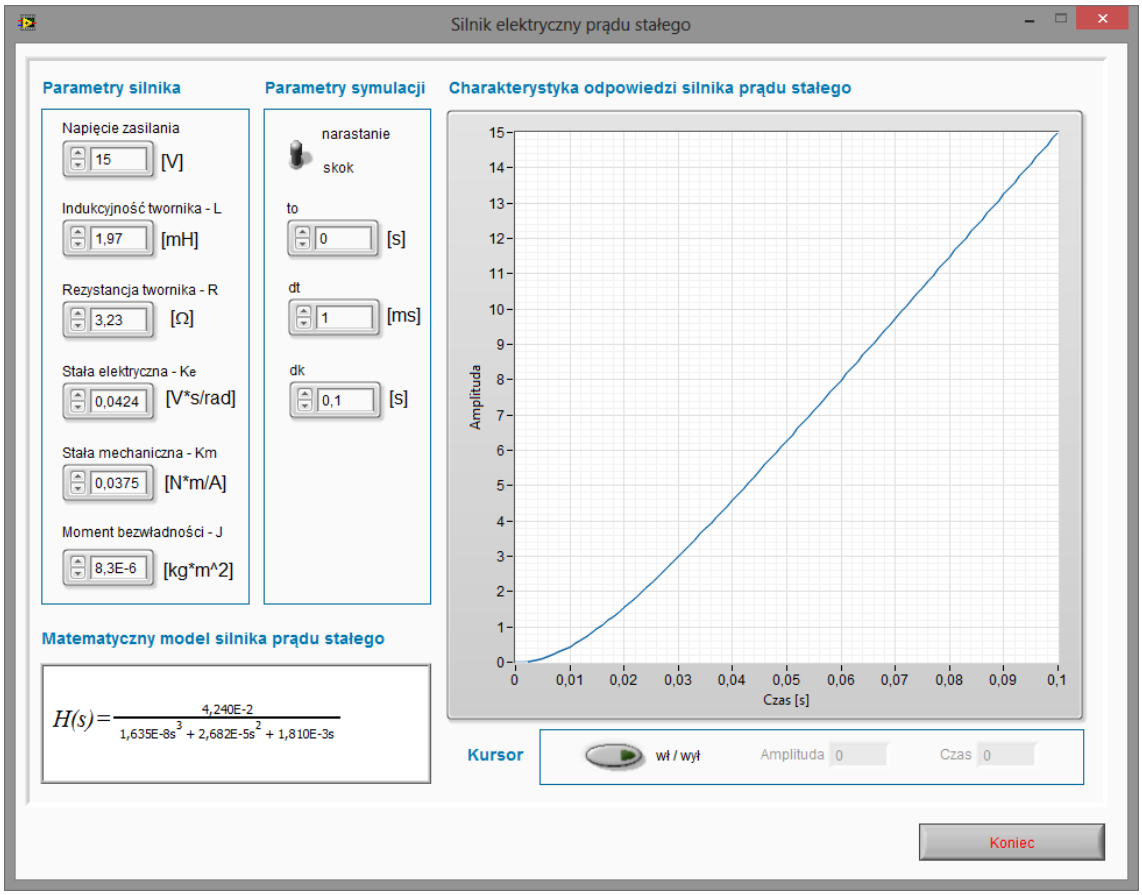
Celem modułu jest zapoznanie się ze sposobem wyznaczania i przebiegiem charakterystyki odpowiedzi na skok napięcia dla silnika prądu stałego.



Rys. 6. Wirtualny przyrząd pomiarowy do badania odpowiedzi na skok napięcia silnika prądu stałego.

Zadanie 3.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 6 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy wyznaczyć czas T w ciągu, którego silnik osiąga 90% wartości prędkości znamionowej dla biegu jałowego.



Rys.7. Wirtualny przyrząd pomiarowy do badania odpowiedzi silnika na narastanie napięcie od wartości 0 do wartości napięcia zasilania.

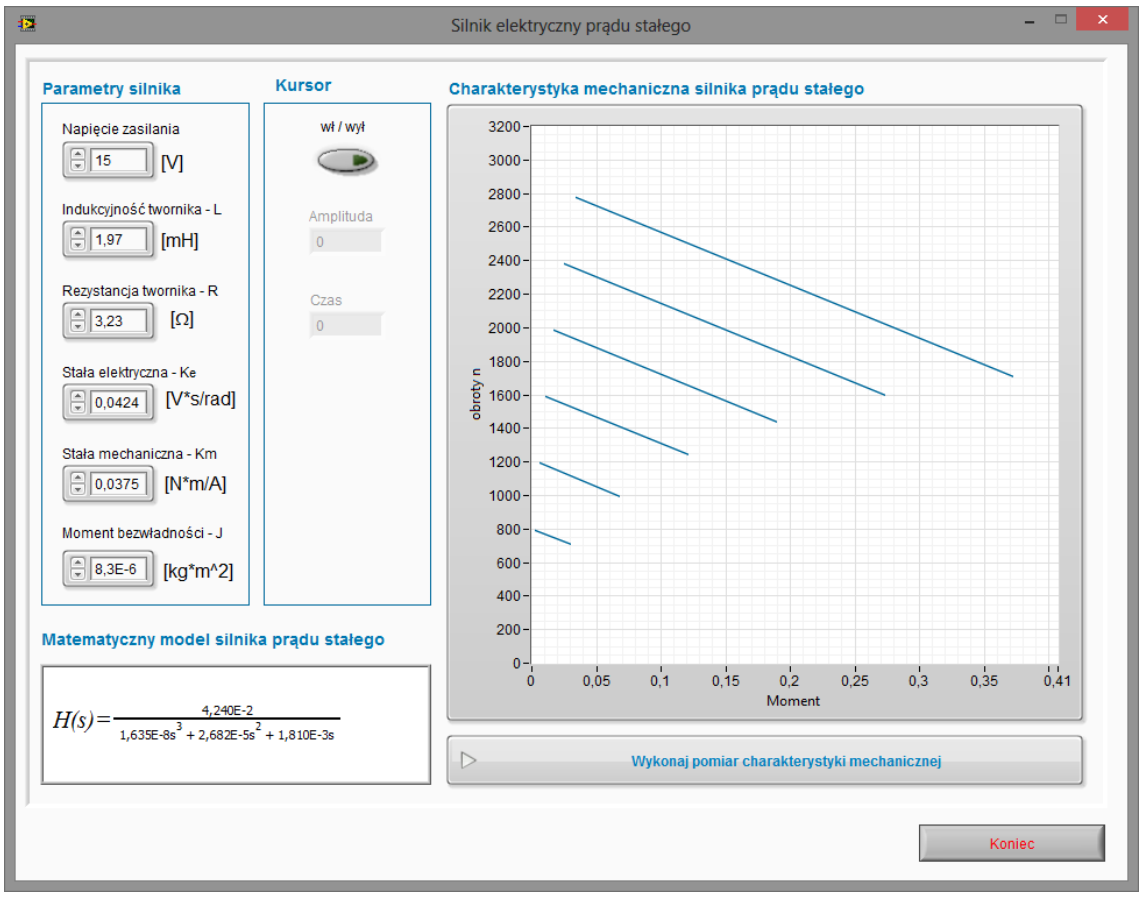
Zadanie 4.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 6 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy zaobserwować narastanie prędkości obrotowej w funkcji czasu.

Wykorzystując kursory należy określić współczynnik kierunkowy prostej dla zakresu od 10-100% napięcia zasilającego. Na podstawie otrzymanych danych należy aproksymować prostą do punktu przecięcia z osią ox. Określić czas opóźnienia na zadane na pięcie zasilania.

Charakterystyka mechaniczna silnika prądu stałego.

Celem modułu jest zapoznanie się z przebiegiem rodziny charakterystyk dla zaprojektowanego silnika prądu stałego.



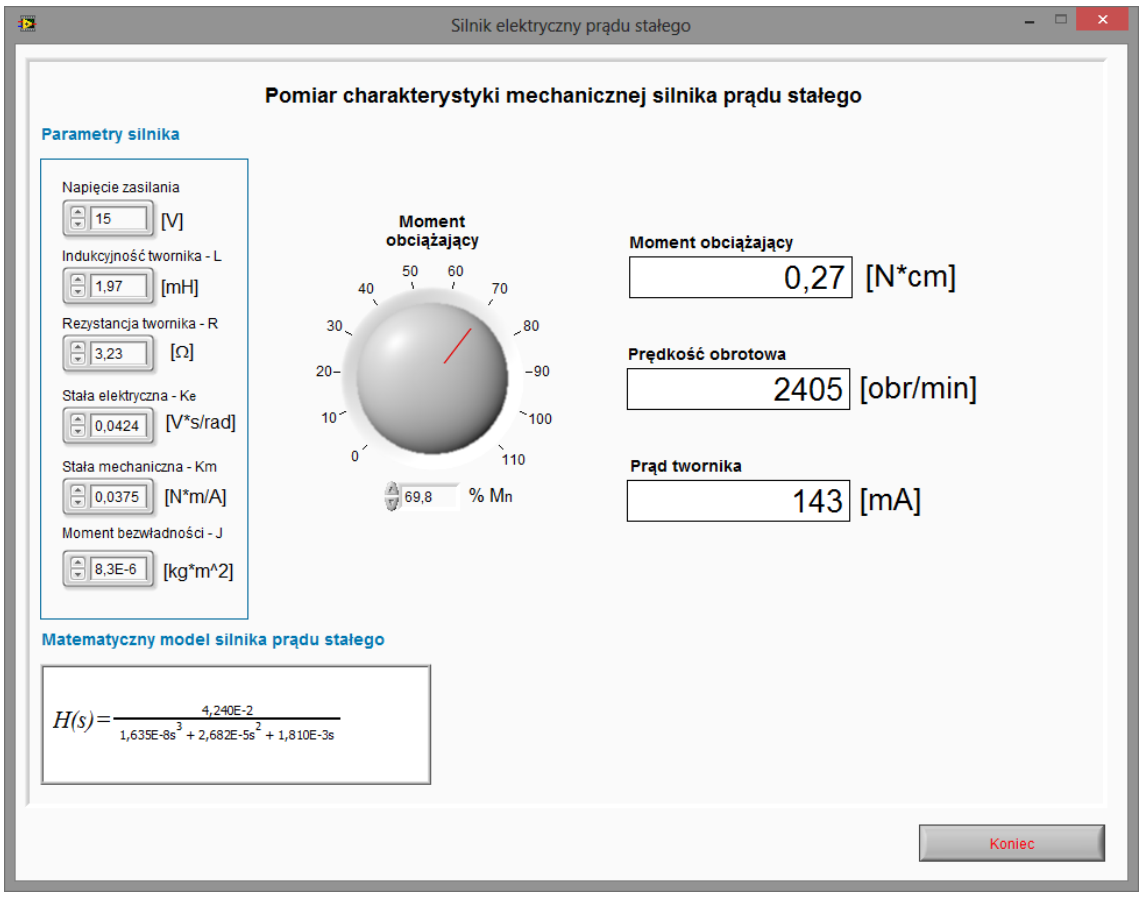
Rys. 8. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania rodziny charakterystyk mechanicznych.

Zadanie 5.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 7 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy zaobserwować rodzinę charakterystyk

Pomiar charakterystyki mechanicznej silnika prądu stałego.

Celem modułu jest zapoznanie się ze sposobem pomiaru charakterystyki mechanicznej silnika prądu stałego.



Rys. 9. Wirtualny przyrząd pomiarowy do pomiaru charakterystyk mechanicznych silnika prądu stałego.

Zadanie 6.

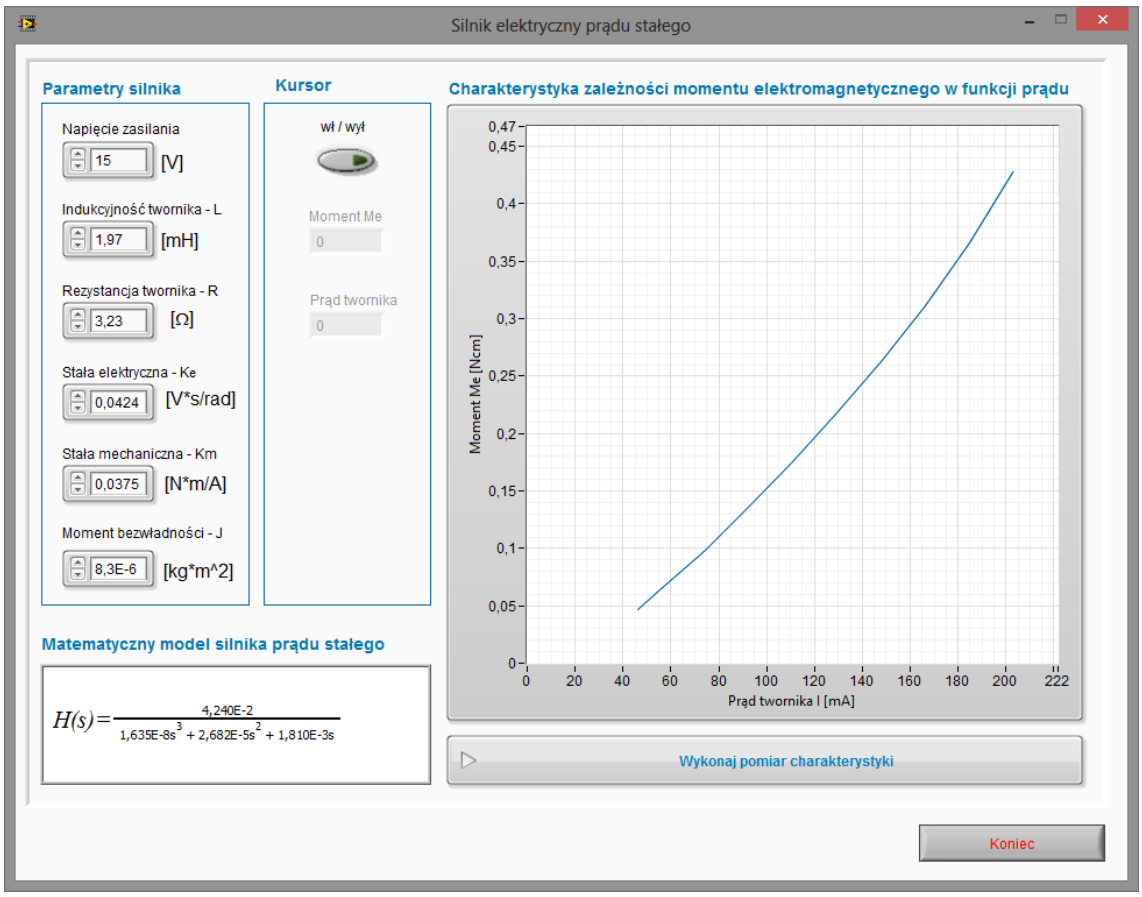
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 9 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy zmierzyć moment obrotowy silnika w funkcji prędkości kątowej przy stałej wartości napięcia zasilającego wirnik. Pomiary przeprowadzić dla napięcia zasilającego silnik z zakresu 20-110% U_z. Dane zapisać w tabeli pomiarowej numer 1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykreślić charakterystyki Momentu w funkcji prędkości kątowej dla kilku napięć zasilających silnik.

Tabela pomiarowa nr 1

Lp.	U_z	M	n	ω
	[V]	*Nm*	*obr/min*	*rad/s*

Charakterystyka zależności momentu elektromagnetycznego w funkcji prądu.

Celem modułu jest zapoznanie się z przebiegiem momentu elektromagnetycznego w funkcji prądu.



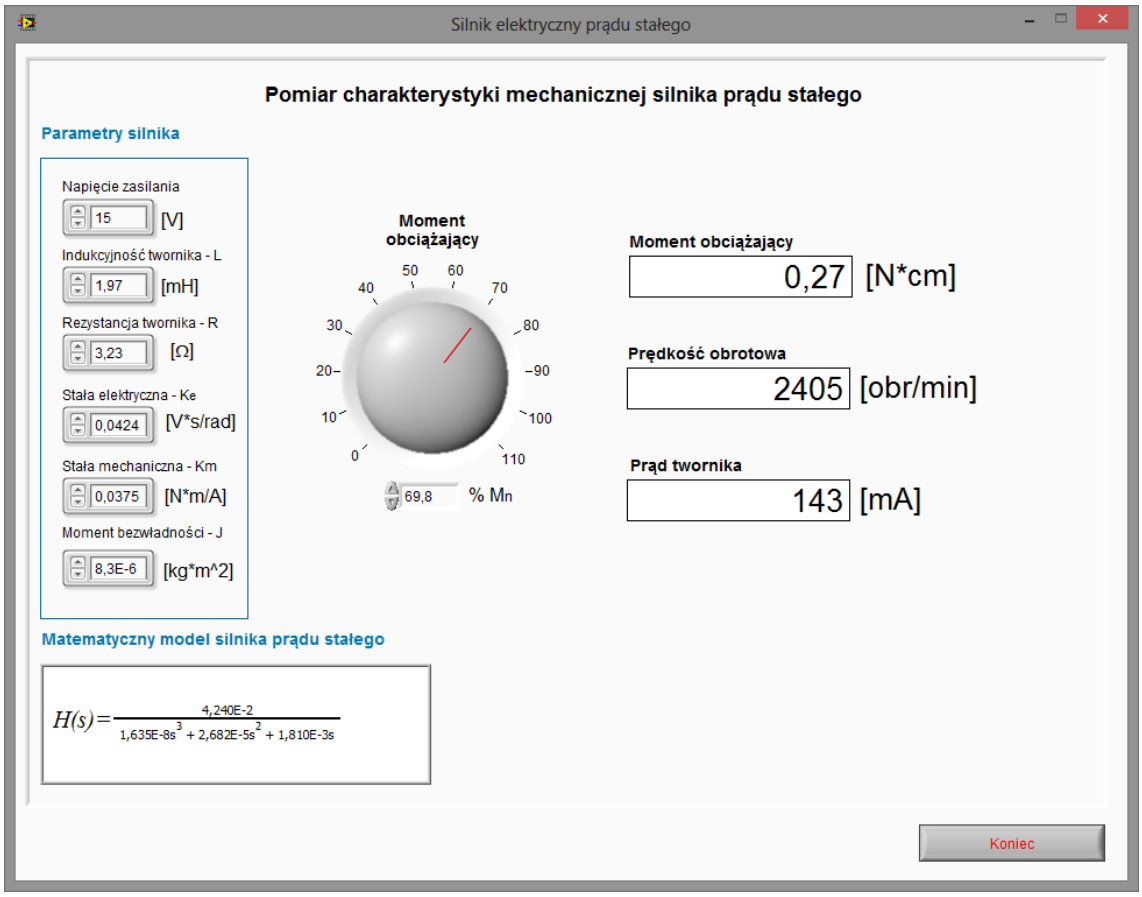
Rys. 10. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania zależności momentu elektromagnetycznego w funkcji prądu.

Zadanie 7.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 7 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy zaobserwować przebiegiem momentu elektromagnetycznego w funkcji prądu.

Pomiar charakterystyki momentu w funkcji prądu twornika.

Celem modułu jest zapoznanie się ze sposobem pomiaru charakterystyki przebiegu momentu elektromagnetycznego w funkcji prądu.



Rys. 11. Wirtualny przyrząd pomiarowy do pomiaru charakterystyk mechanicznych silnika prądu stałego.

Zadanie 8.

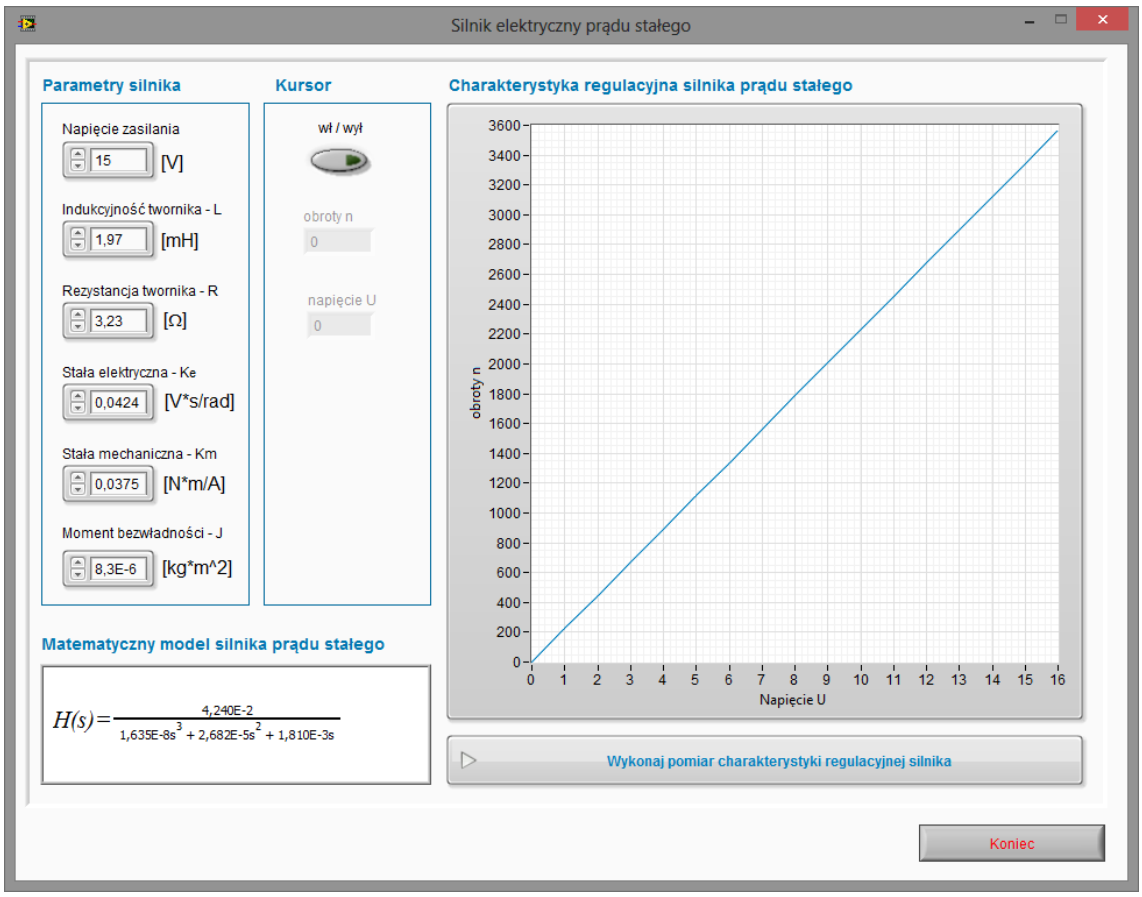
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 11 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy zmierzyć moment obrotowy silnika w funkcji prądu twornika przy stałej wartości napięcia zasilającego wirnik. Dane zapisać w tabeli pomiarowej numer 2. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykreślić charakterystyki Momentu w funkcji prądu twornika.

Tabela pomiarowa nr 3

Lp.	*M*	*I*	*n*	*ω*
	Nm	*A*	*obr/min*	*rad/s*

Charakterystyka regulacyjna silnika prądu stałego.

Celem modułu jest zapoznanie się z przebiegiem charakterystyki regulacyjnej silnika prądu stałego.



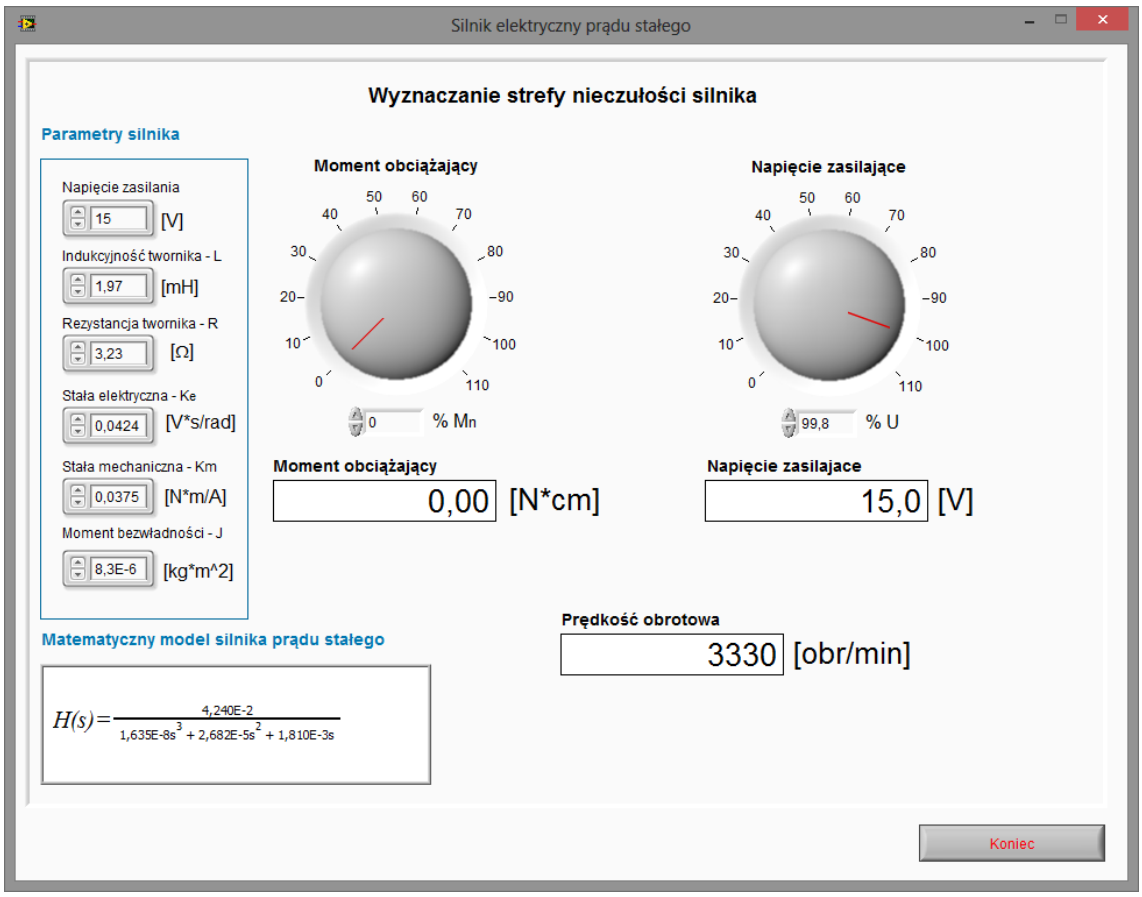
Rys. 12. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania charakterystyki regulacyjnej silnika prądu stałego.

Zadanie 9.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 12 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy zaobserwować przebieg charakterystyki regulacyjnej silnika prądu stałego.

Pomiar charakterystyki regulacyjnej.

Celem modułu jest zapoznanie się ze sposobem pomiaru charakterystyki regulacyjnej silnika prądu stałego.



Rys. 13. Wirtualny przyrząd pomiarowy do pomiaru charakterystyk regulacyjnej silnika prądu stałego.

Zadanie 8.

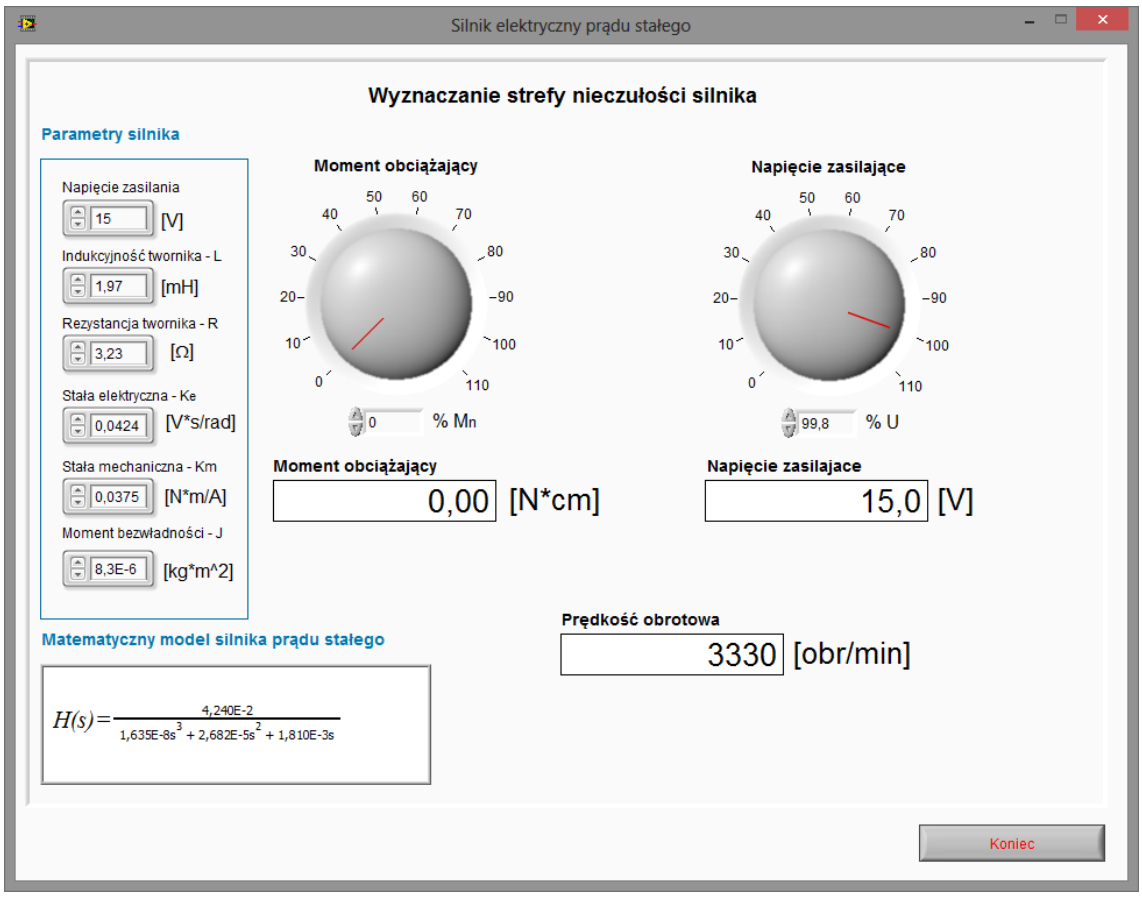
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 13 (używany do wyznaczenia strefy nieczułości) dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy zmierzyć prędkość obrotową w funkcji napięcia zasilającego silnik dla zerowej wartości momentu obciążającego. Dane zapisać w tabeli pomiarowej numer 4. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykreślić charakterystykę regulacyjną silnika prądu stałego $\omega = f(U_z)$.

Tabela pomiarowa nr 4

Lp.	*Uz*	*n*	*ω*
	V	*obr/min*	*rad/s*

Wyznaczanie strefy nieczułości.

Celem modułu jest zapoznanie się ze sposobem wyznaczania strefy nieczułości silnika prądu stałego.



Rys. 14. Wirtualny przyrząd pomiarowy do pomiaru strefy nieczułości silnika prądu stałego.

Zadanie 8.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 14 dla parametrów zaprojektowanego silnika prądu stałego w zadaniu numer 2 należy wyznaczyć strefę nieczułości silnika w funkcji napięcia zasilającego. Dane zapisać w tabeli pomiarowej numer 5. Na podstawie otrzymanych danych narysować rodzinę charakterystyk $\omega = f(U_z)$ dla różnych obciążeń z zakresu 0 do 110 % obciążenia znamionowego. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykreślić charakterystykę prezentującą strefę nieczułości w funkcji napięcia zasilającego $\Delta\omega_0 = f(U_z)$.

Tabela pomiarowa nr 5

Lp.	*M*	*Uz*	*n*	*ω*
	Nm	*V*	*obr/min*	*rad/s*