

Ćwiczenie: "Silnik indukcyjny"

Opracowane w ramach projektu: "Wirtualne Laboratoria Fizyczne nowoczesną metodą nauczania" realizowanego przez Warszawską Wyższą Szkołę Informatyki.

Zakres ćwiczenia:

- Zasada działania silnika indukcyjnego
- Projektowanie modelu silnika indukcyjnego klatkowego
- Przebiegi momentu oraz prądów przy rozruchu silnika indukcyjnego klatkowego
- Charakterystyki elektromechaniczne silnika indukcyjnego klatkowego
- Charakterystyki biegu jałowego silnika indukcyjnego klatkowego
- Projektowanie modelu silnika indukcyjnego pierścieniowego
- Przebiegi momentu oraz prądów przy rozruchu silnika pierścieniowego



Autor: Marcin Godziemba-Maliszewski

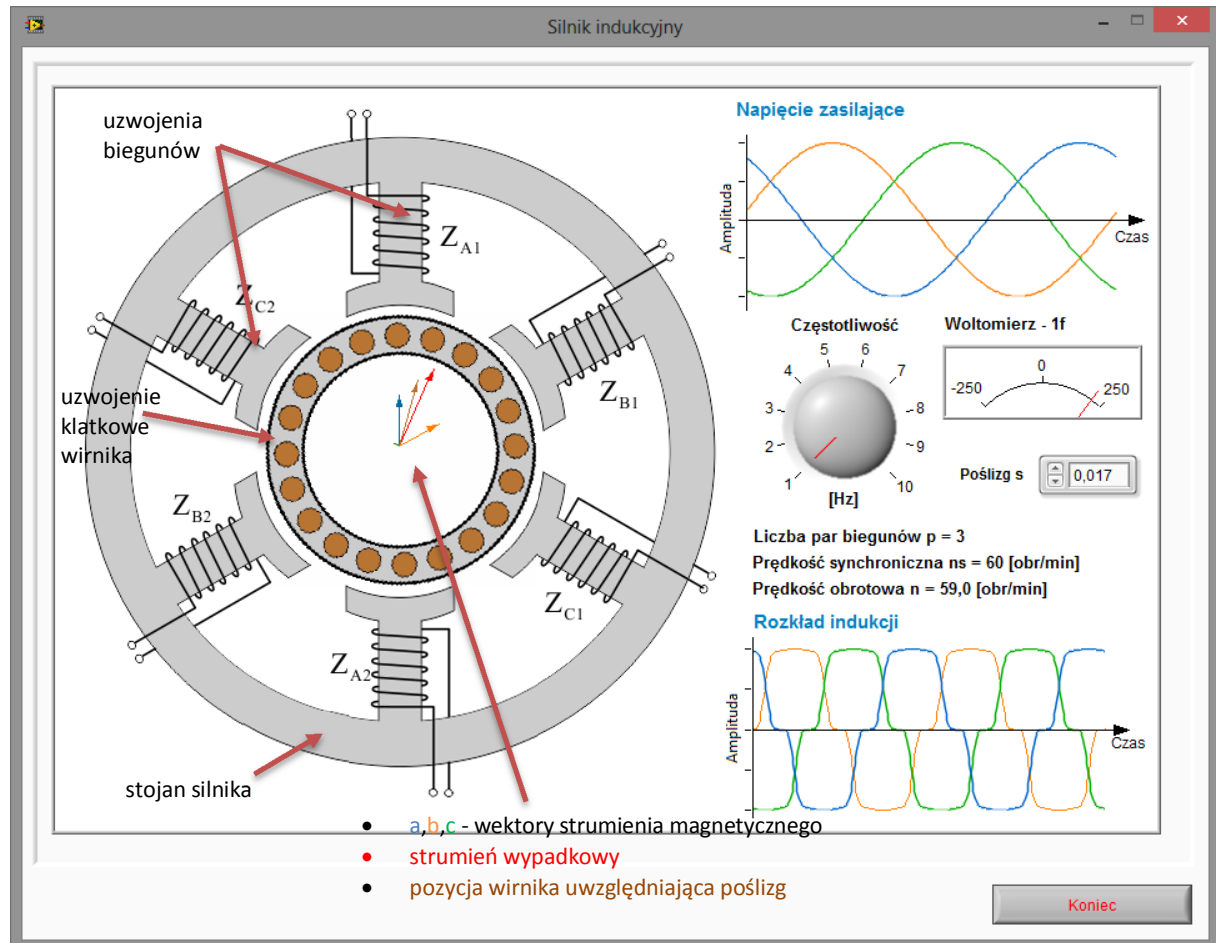
Radom 2013

Scenariusz prowadzenia ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z działaniem, właściwościami ruchowymi i charakterystykami silnika indukcyjnego.

Zasada działania silnika indukcyjnego.

Celem modułu jest zapoznanie się z zasadą działania silnika indukcyjnego prądu przemiennego.



Rys. 1. Wizualizacja działania silnika indukcyjnego klatkowego prądu przemiennego.

Na rysunku numer 1 przedstawiony został wirtualny przyrząd pomiarowy wizualizujący działanie silnika klatkowego indukcyjnego zasilanego napięciem trójfazowym przemiennym. Działanie silnika indukcyjnego oparte jest o wytworzone przez uzwojenie stojana wirujące pole magnetyczne z częstotliwością zależną od liczby par biegunów i częstotliwości napięcia zasilającego:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Amplituda wirującego pola magnetycznego jest półtora raza większa niż w przypadku wytworzonego pola pojedynczej fazy. W symulacji zostało to zobrazowane poprzez trzy przesunięte o 120 stopni wirujące w przestrzeni wektory tworzące symetryczne pole wirujące reprezentowane w symulacji przez czerwony wektor. W wyniku przecinania uzwojenia wirnika przez wypadkowy strumień magnetyczny indukuje się w nim napięcie i zaczyna płynąć prąd. W zależności od budowy silnika wyróżnić można uzwojenie wykonane w formie klatki (silniki indukcyjne klatkowe) lub w formie trójfazowego uzwojenia nawojowego z jednym końcem zwartym wewnątrz a drugim wyprowadzonym do pierścieni ślizgowych (stąd nazwa silnik pierścieniowy) za pośrednictwem, których dołącza się rezystory mając wpływ na parametry eksploatacyjne silnika. Pod wpływem zaindukowanego napięcia w uzwojeniu (klatce) wirnika zaczyna płynąć prąd, co powoduje w następstwie powstanie

siły elektrodynamicznej wprawiającej w ruch wirnik silnika. Siła ta jest określona przez wartość indukcji B , powstały prąd wzbudzenia I_w , długość czynną przewodu wirnika l i kąt pomiędzy siłą a indukcją.

$$F = B \cdot I_w \cdot l \cdot \sin \theta$$

Następny biegun ma przeciwną polaryzację, więc kierunek siły nie ulega zmianie i powstaje moment napędowy wprawiający w ruch wirnik. Jeżeli wartość tego momentu jest większa od wartości momentu obciążenia to wirnik zaczyna się obracać i zwiększać swoją prędkość aż do prędkości mniejszej od prędkości synchronicznej. Różnica prędkości zależy od konstrukcji silnika oraz przyłożonego momentu obciążającego (hamującego). Zwiększanie prędkości wirnika powoduje, że uzwojenie wirnika jest przecinane przez wypadkowy strumień magnetyczny z coraz to mniejszą prędkością, co przekłada się na zmniejszenie siły sem indukowanej w uzwojeniu. Ma to to też swoje konsekwencje dla prądu i powstałego momentu elektromagnetycznego, który wraz ze wzrostem prędkości maleje. Wirnik osiąga prędkość, przy której następuje zrównoważenie momentu obciążenia z wytwarzanym momentem elektromagnetycznym. Różnica w prędkościach wirowania pola a prędkością wirowania wirnika jest reprezentowana przez poślizg wyrażony następującym wzorem:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

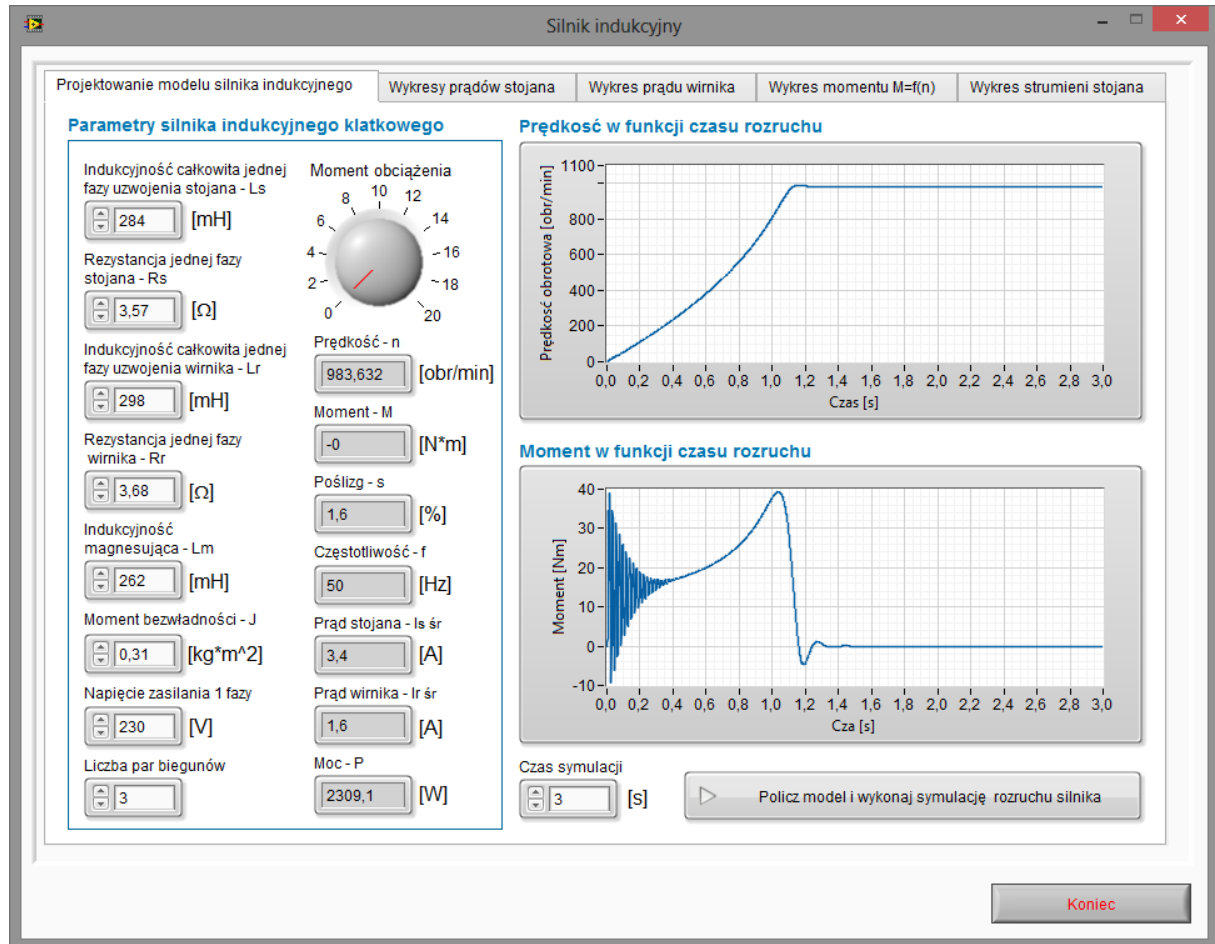
lub wyrażana jest w procentach:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\%$$

W warunkach pracy poślizg zawiera się od 0.5% (bieg jałowy) aż do wartości około 10 %.

Projektowanie modelu silnika indukcyjnego klatkowego.

Celem modułu jest zapoznanie się z wpływem poszczególnych parametrów modelu silnika indukcyjnego klatkowego na charakterystyki i parametry eksploatacyjne.



Rys. 2. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego klatkowego – zakładka projektowanie modelu.

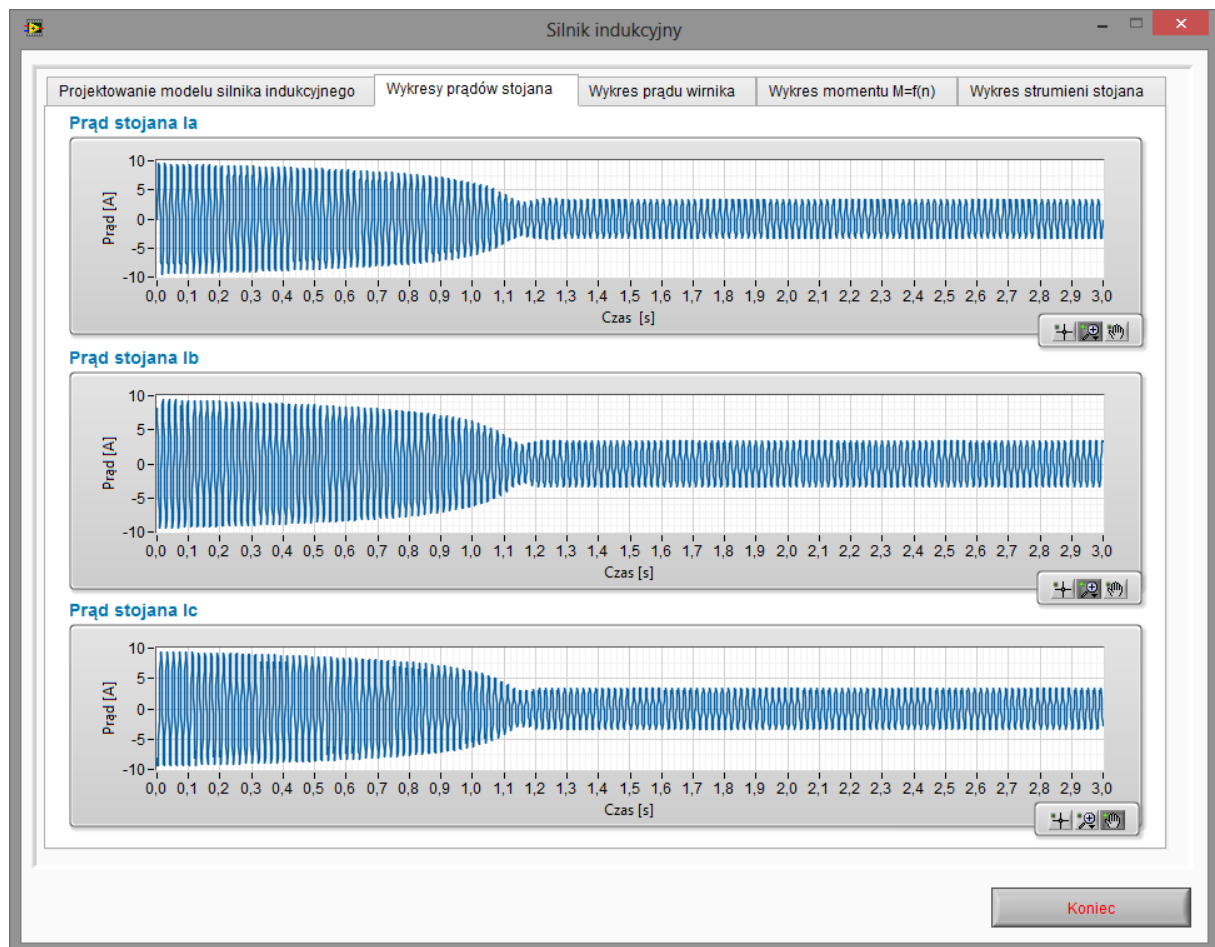
Zadanie 1.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 2 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na jego właściwości eksploatacyjne:

- rezystancji uzwojeń stojana na przebieg momentu i prędkości w funkcji czasu
- rezystancji uzwojeń wirnika na przebieg momentu i prędkości w funkcji czasu
- liczby par biegunów
- indukcyjności magnesującej
- momentu bezwładności.

Zadanie 2

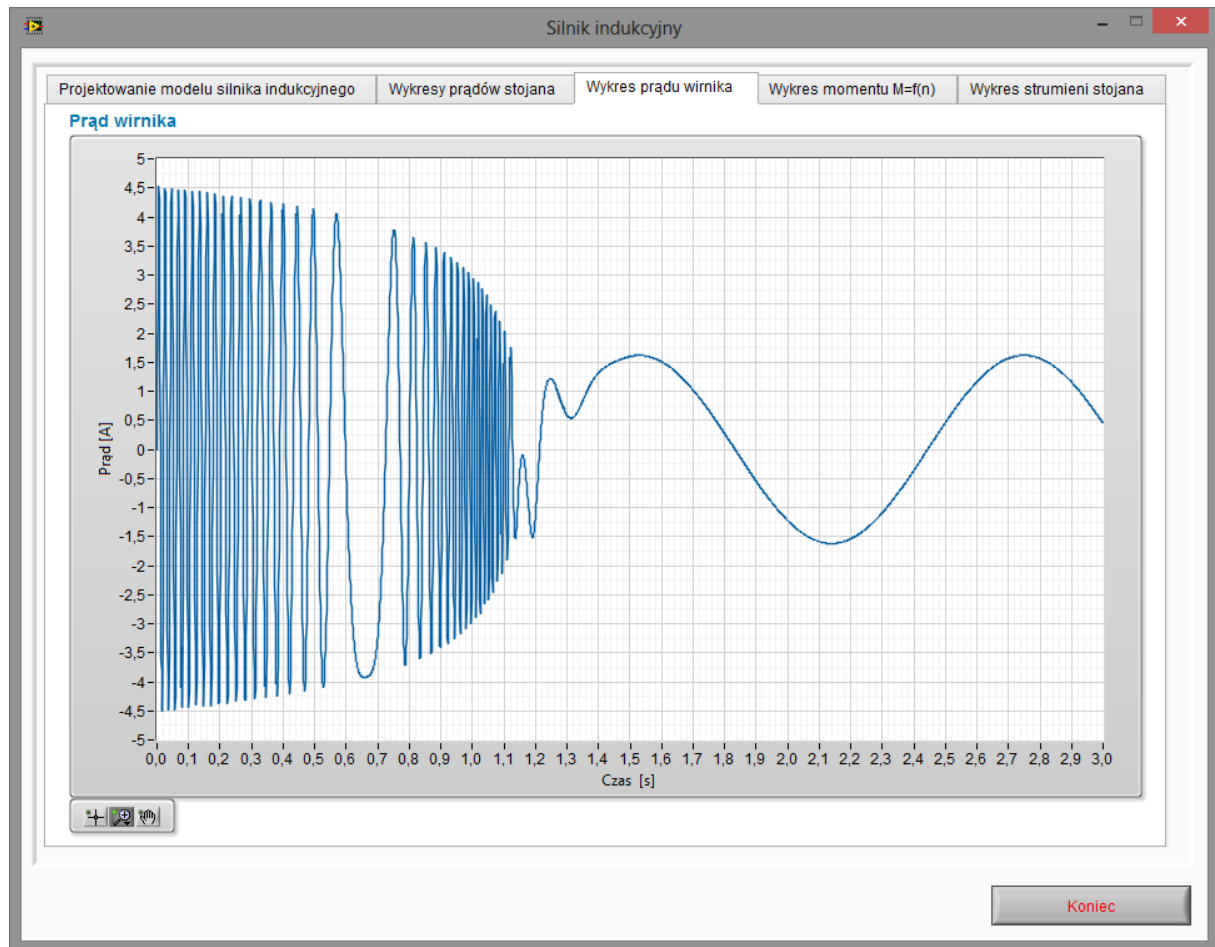
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 2 należy zaprojektować silnik indukcyjny klatkowy o parametrach zadanych (Moment, poślizg, prąd znamionowy, moc) przez prowadzącego ćwiczenie.



Rys. 3. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego klatkowego – zakładka wykresy prądów stojana.

Zadanie 3.

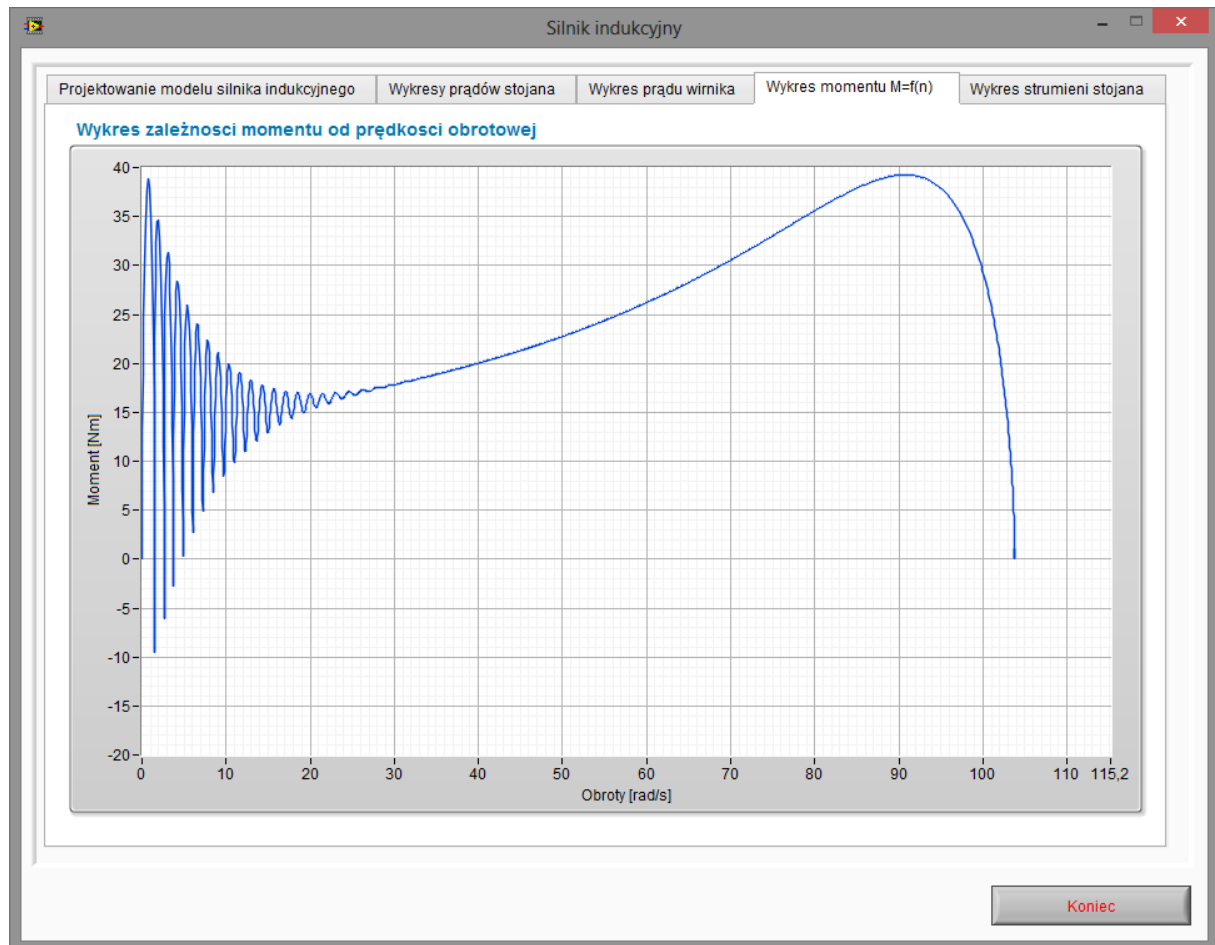
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 3 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg i wartości prądów stojana w trakcie rozruchu silnika.



Rys. 4. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego klatkowego – zakładka wykres prądu wirnika.

Zadanie 4.

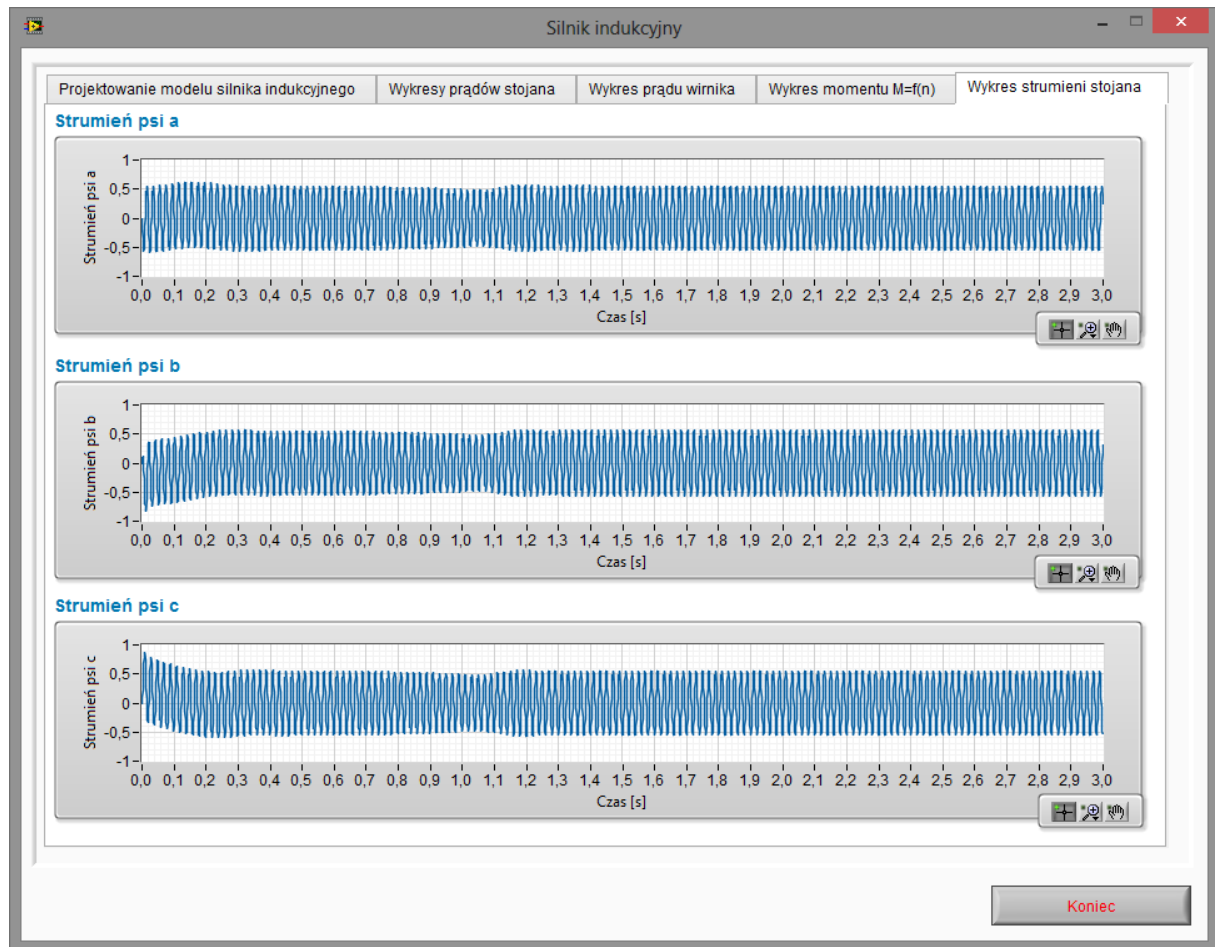
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 4 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg i wartości prądów wirnika w trakcie rozruchu silnika. Zaobserwować zjawisko poślizgu.



Rys. 5. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego klatkowego – zakładka wykres momentu w zależności od prędkości obrotowej.

Zadanie 5.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 5 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg jednej z podstawowych charakterystyk eksploatacyjnych silnika indukcyjnego – wykres momentu w funkcji prędkości obrotowej. Określić wpływ poszczególnych parametrów na czas oscylacji momentu powstałych w początkowej fazie rozruchu.



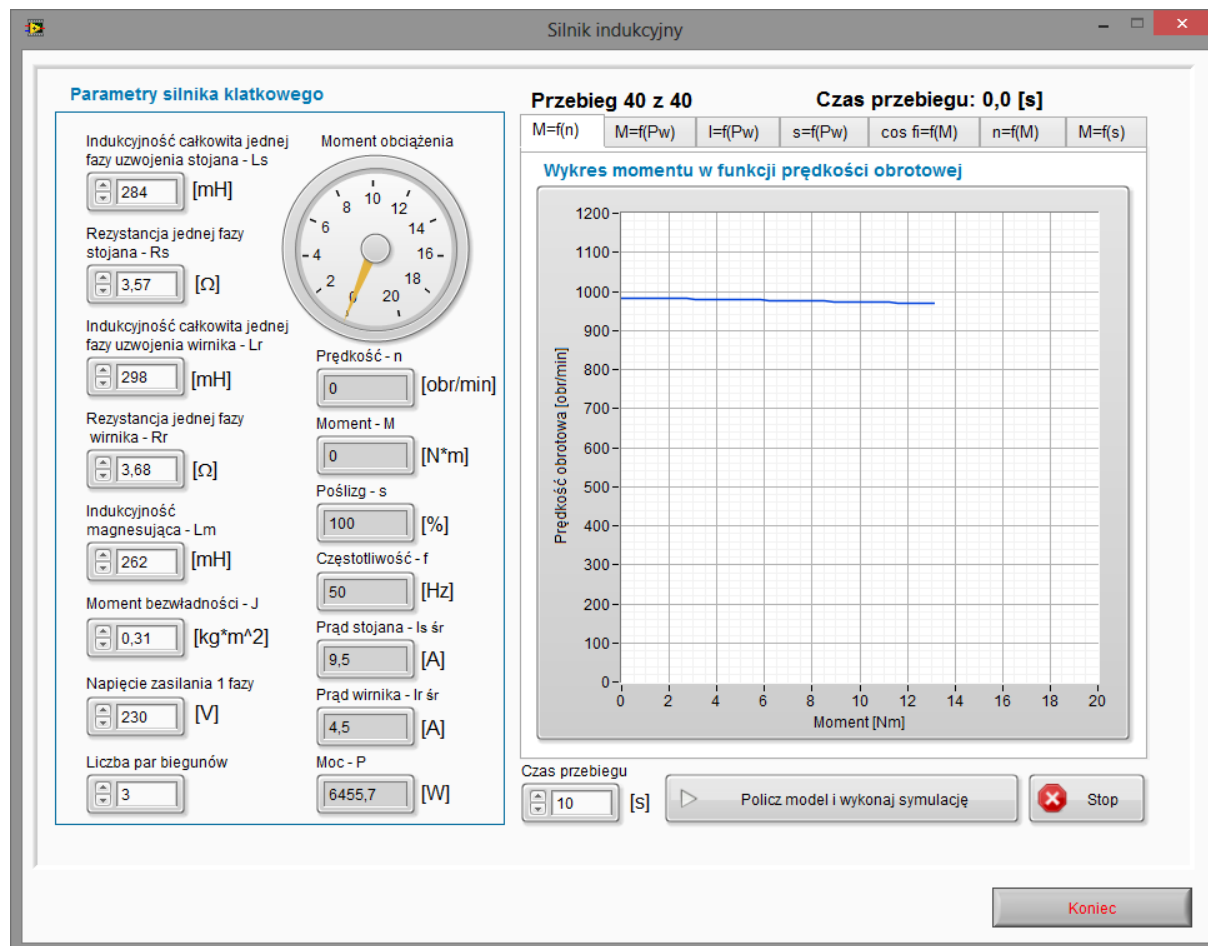
Rys. 6. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego klatkowego – zakładka wykres strumieni generowanych przez stojan.

Zadanie 6.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 6 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg i wartość generowanych strumieni przez uzwojenie stojana w trakcie rozruchu i po osiągnięci prędkości roboczej.

Wyznaczenie charakterystyk elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego.

Celem modułu jest zapoznanie się ze sposobem wyznaczania i przebiegiem podstawowych charakterystyk elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego.



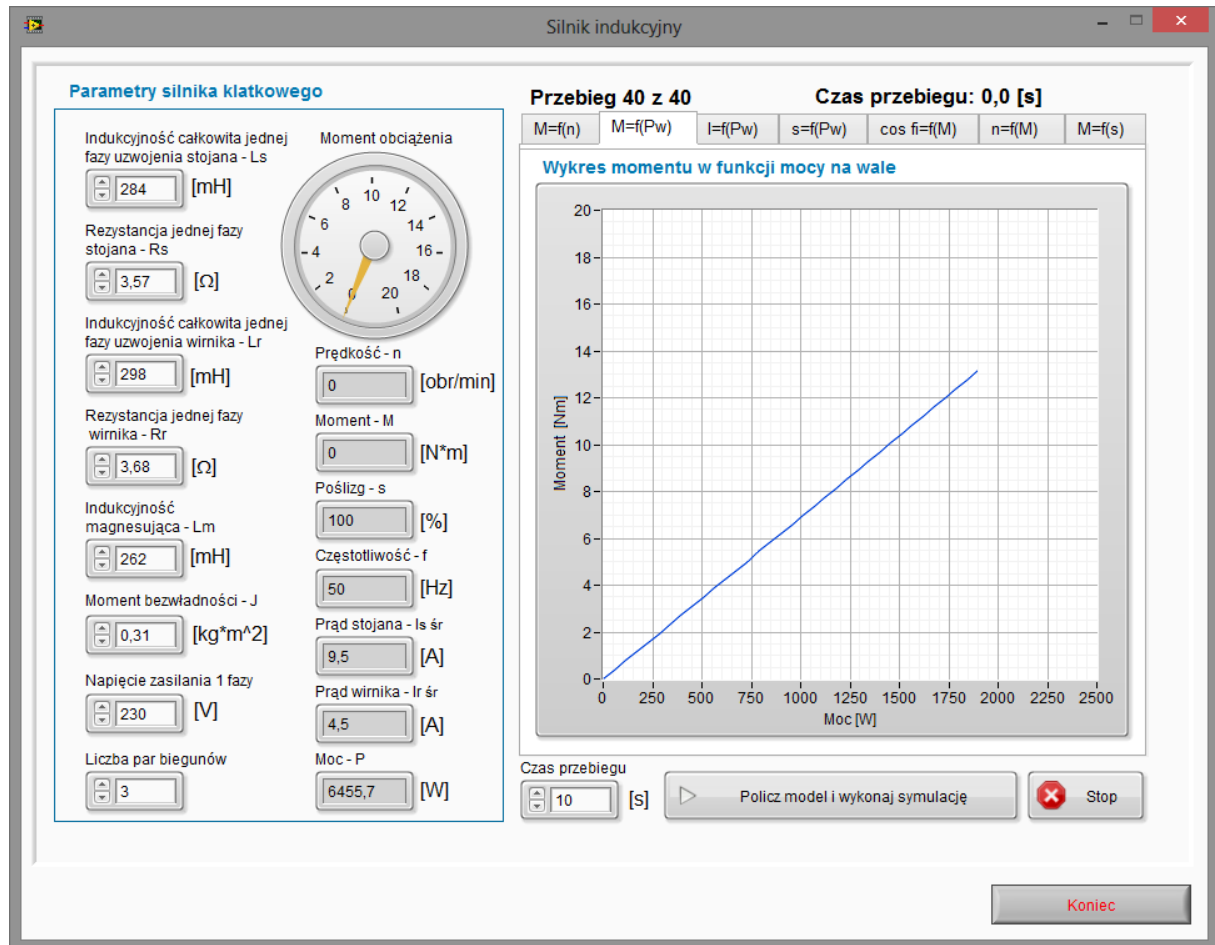
Rys. 7. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego – charakterystyka momentu w funkcji prędkości obrotowej.

Zadanie 7.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 7 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy wykonać pomiar podstawowych charakterystyk elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego. Po nastawieniu parametrów silnika klatkowego należy ustawić czas przebiegu, co najmniej 10 sekund i nacisnąć przycisk Policz model i wykonaj symulację. Pomiaru wykonywane są automatycznie aż do momentu osiągnięcia momentu maksymalnego dla zaprojektowanego silnika. Po wykonaniu wszystkich przebiegów silnika (punktów pomiarowych) udostępnione zostają zebrane charakterystyki elektromechaniczne silnika.

Wartości obliczeniowe po zakończeniu symulacji pokazują stan awaryjny silnika (zwarcia silnika) z zahamowanym wałem przy zasilaniu napięciem znamionowym. W normalnych warunkach doprowadziłoby to do uszkodzenia silnika. Symulator po wykryciu takiego stanu przerywa symulację. Na wykresie pokazany jest maksymalny moment dla zaprojektowanych parametrów silnika, dla których jest w stanie dokonać rozruchu. Przekracza on o około 30% moment znamionowy.

Wyznaczenie charakterystyki $M = f(P_w)$ silnika indukcyjnego klatkowego.



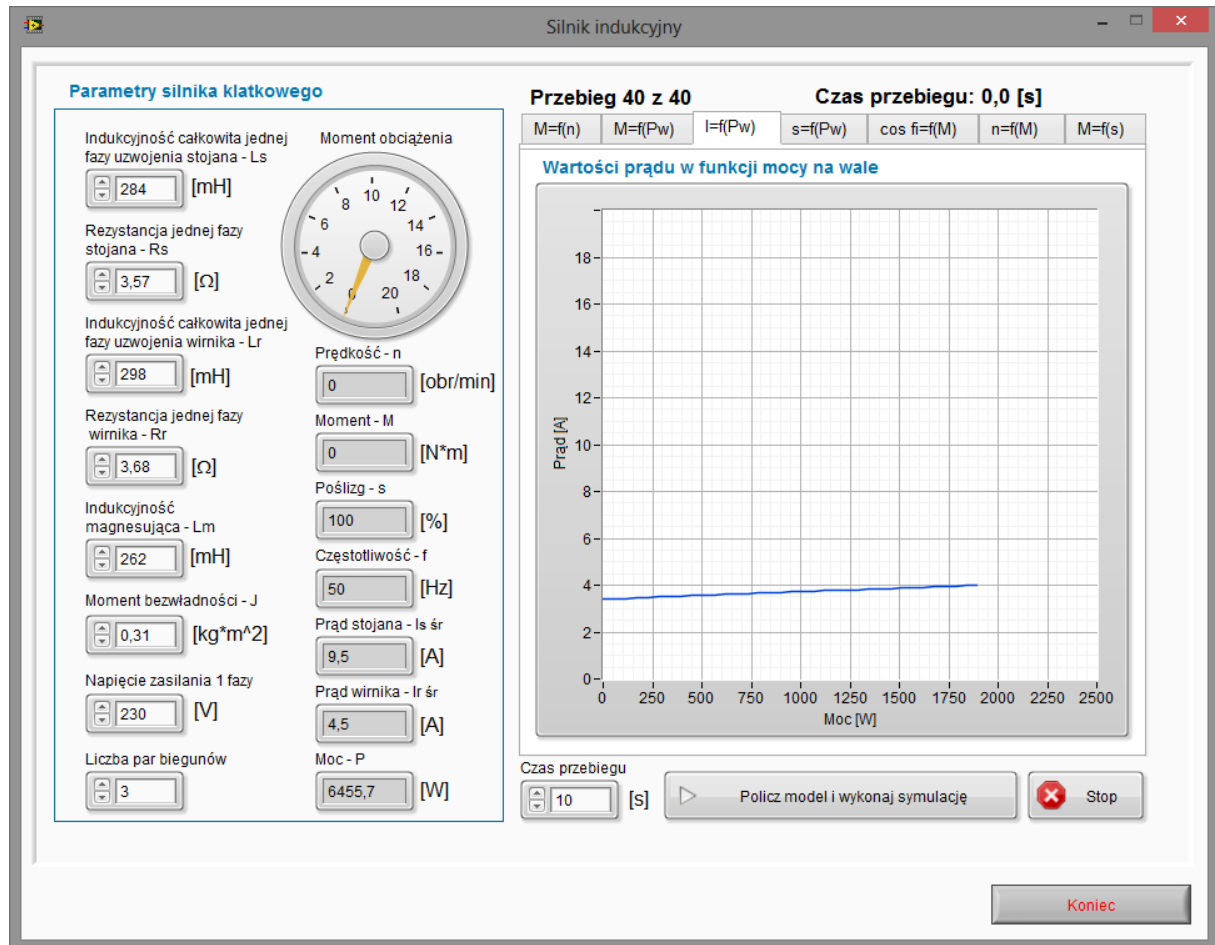
Rys. 8. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego – charakterystyka momentu w funkcji mocy na wale silnika.

Zadanie 8.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 8 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy zaobserwować przebieg charakterystyki momentu w funkcji mocy na wale: $M = f(P_w)$. Otrzymany przebieg porównać z charakterystykami teoretycznymi podawanymi w literaturze dla silnika indukcyjnego klatkowego.



Wyznaczenie charakterystyki $I_s = f(P_w)$ silnika indukcyjnego klatkowego.

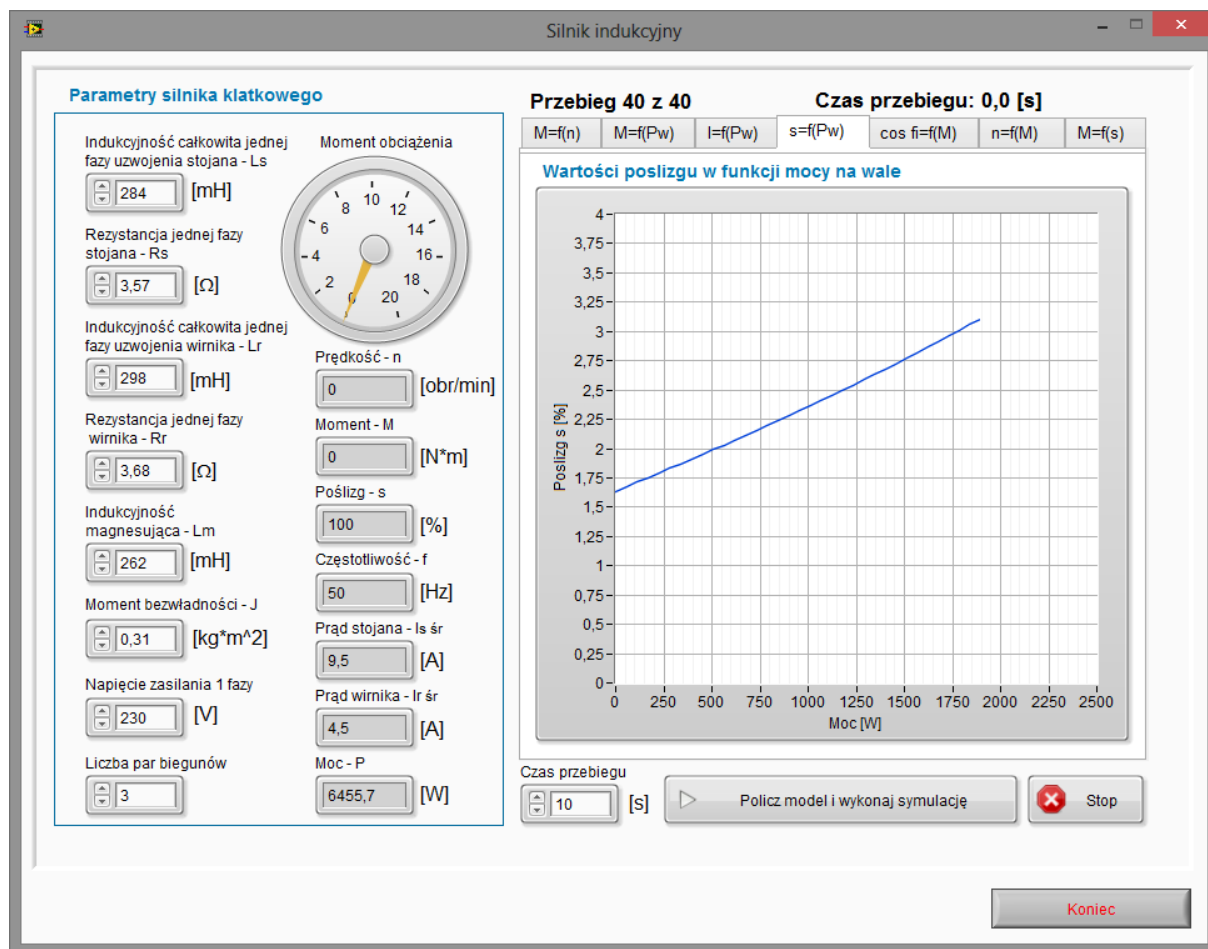


Rys. 9. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego – charakterystyka prądu stojana w funkcji mocy na wale silnika.

Zadanie 9.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 9 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy zaobserwować przebieg charakterystyki prądu stojana w funkcji mocy na wale: $I_s = f(P_w)$. Przebieg charakterystyki pokazuje prąd od wartości biegu jałowego, który dla silników małej mocy może wynosić aż ponad 50 % wartości znamionowej. Otrzymany przebieg porównać z charakterystykami teoretycznymi podawanymi w literaturze dla silnika indukcyjnego klatkowego.

Wyznaczenie charakterystyki $s = f(P_w)$ silnika indukcyjnego klatkowego.

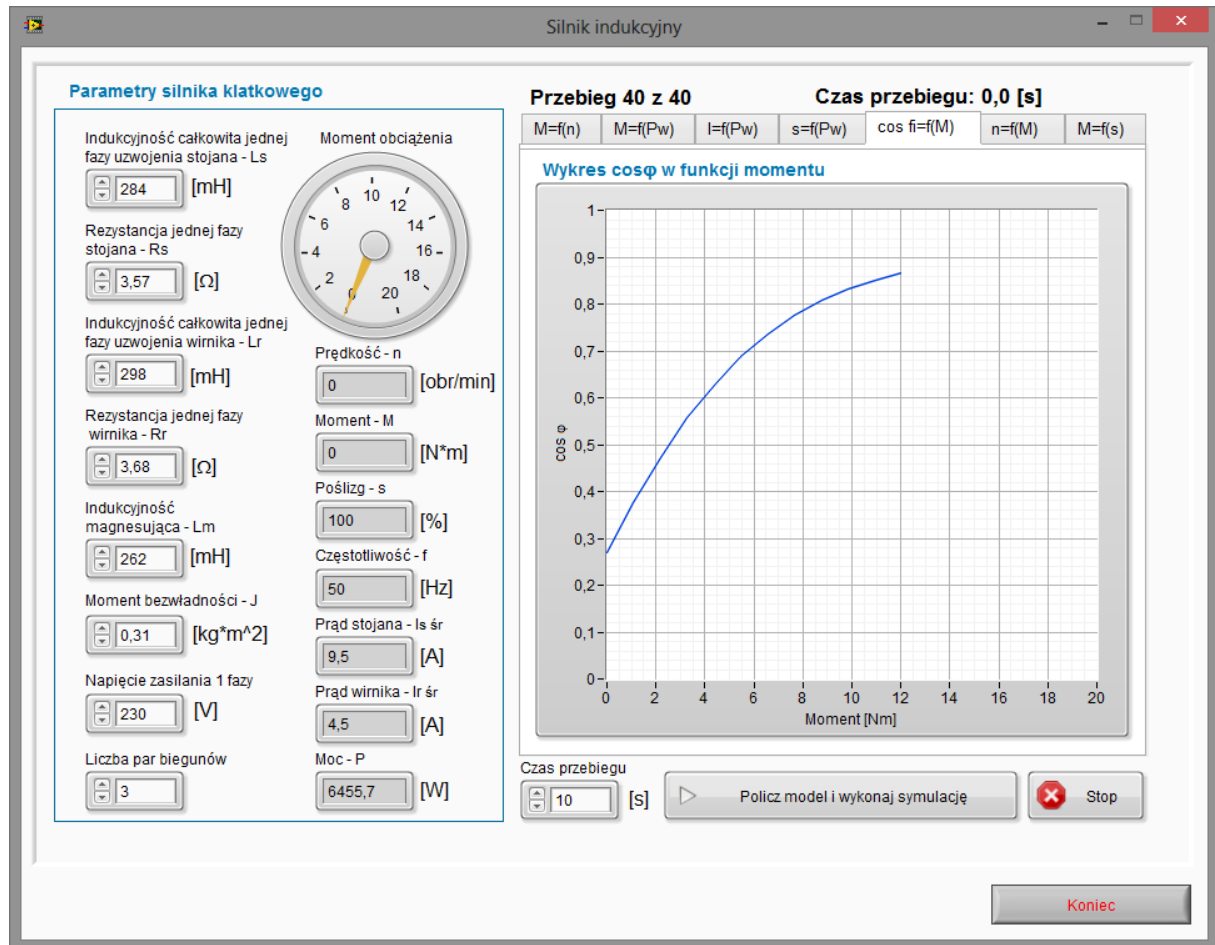


Rys. 10. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego – charakterystyka poślizgu w funkcji mocy na wale silnika.

Zadanie 10.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 10 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy zaobserwować przebieg charakterystyki poślizgu w funkcji mocy na wale: $s = f(P_w)$. Otrzymany przebieg porównać z charakterystykami teoretycznymi podawanymi w literaturze dla silnika indukcyjnego klatkowego.

Wyznaczenie charakterystyki $\cos \varphi = f(P_w)$ silnika indukcyjnego klatkowego.

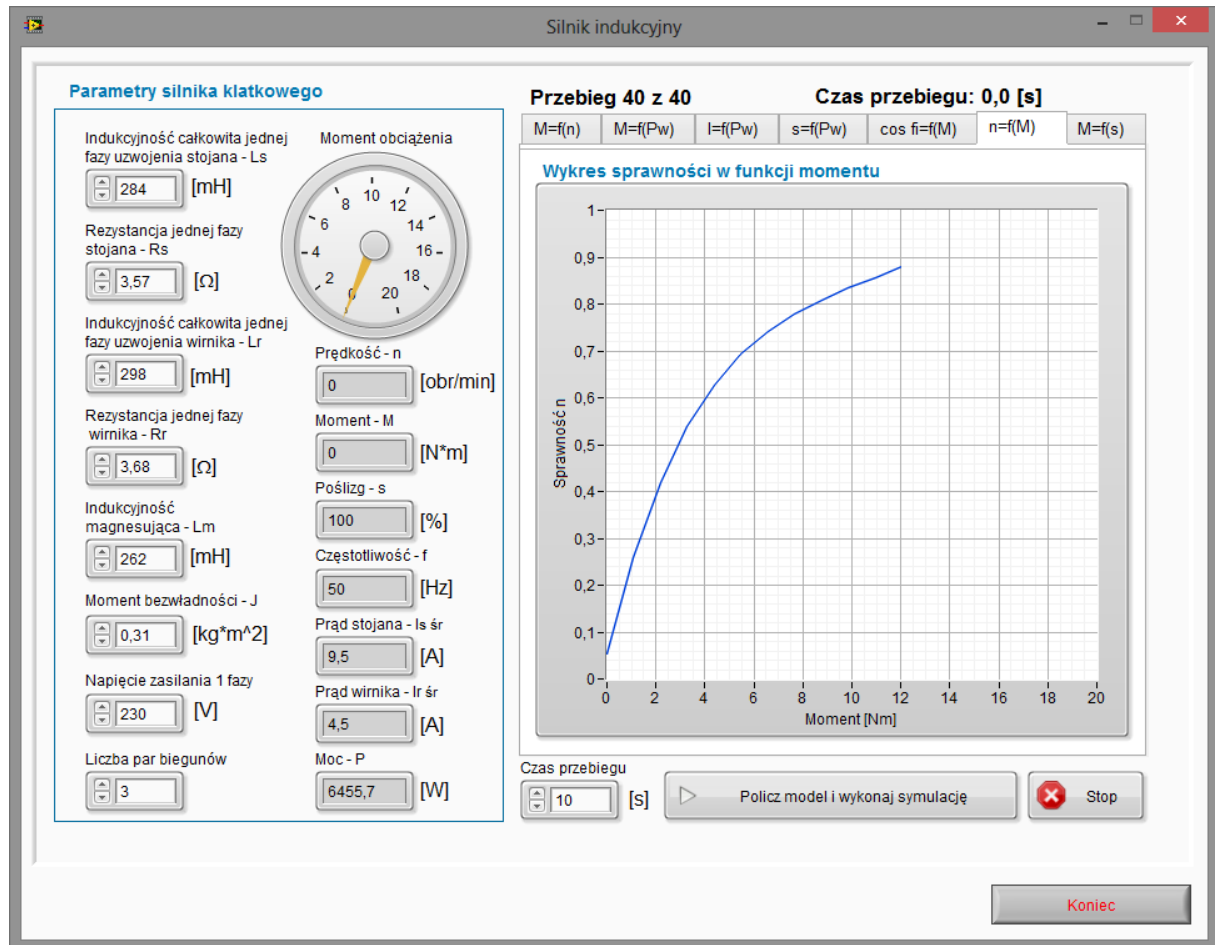


Rys. 11. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego – charakterystyka współczynnika mocy w funkcji momentu.

Zadanie 11.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 11 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy zaobserwować przebieg charakterystyki współczynnika mocy w funkcji momentu: $\cos \varphi = f(M)$. Otrzymany przebieg porównać z charakterystykami teoretycznymi podawanymi w literaturze dla silnika indukcyjnego klatkowego.

Wyznaczenie charakterystyki $\eta = f(P_w)$ silnika indukcyjnego klatkowego.

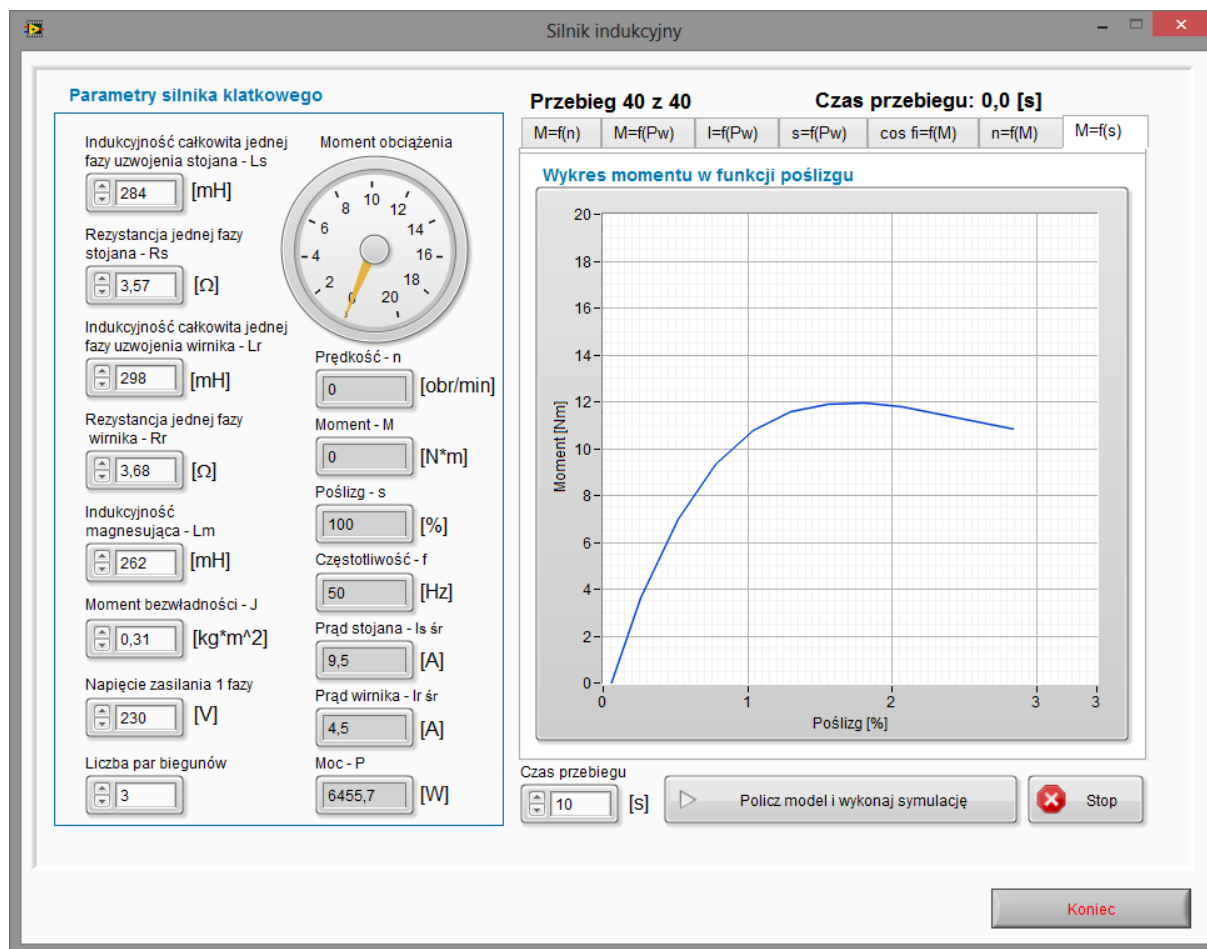


Rys. 12. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego – charakterystyka sprawności silnika w funkcji momentu.

Zadanie 12.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 12 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy zaobserwować przebieg charakterystyki sprawności silnika w funkcji momentu: $\eta = f(M)$. Otrzymany przebieg porównać z charakterystykami teoretycznymi podawanymi w literaturze dla silnika indukcyjnego klatkowego.

Wyznaczenie charakterystyki $M = f(s)$ silnika indukcyjnego klatkowego.



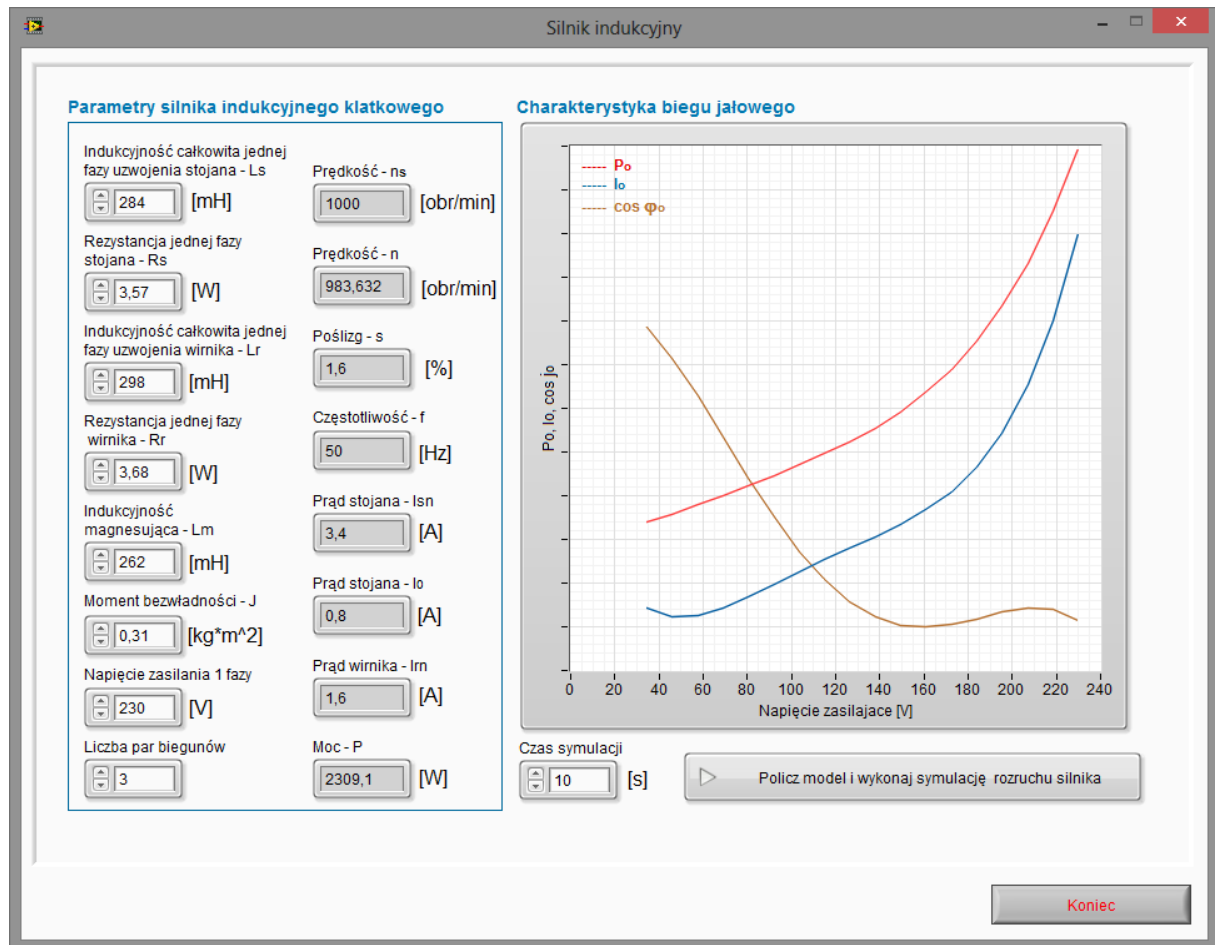
Rys. 13. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania elektromechanicznych silnika indukcyjnego klatkowego – charakterystyka momentu w funkcji poślizgu.

Zadanie 13.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 13 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy zaobserwować przebieg charakterystyki momentu silnika w funkcji poślizgu: $M = f(s)$. Otrzymany przebieg porównać z charakterystykami teoretycznymi podawanymi w literaturze dla silnika indukcyjnego klatkowego.

Wyznaczenie charakterystyki biegu jałowego silnika indukcyjnego klatkowego.

Celem modułu jest zapoznanie się z przebiegiem charakterystyki biegu jałowego silnika indukcyjnego klatkowego.



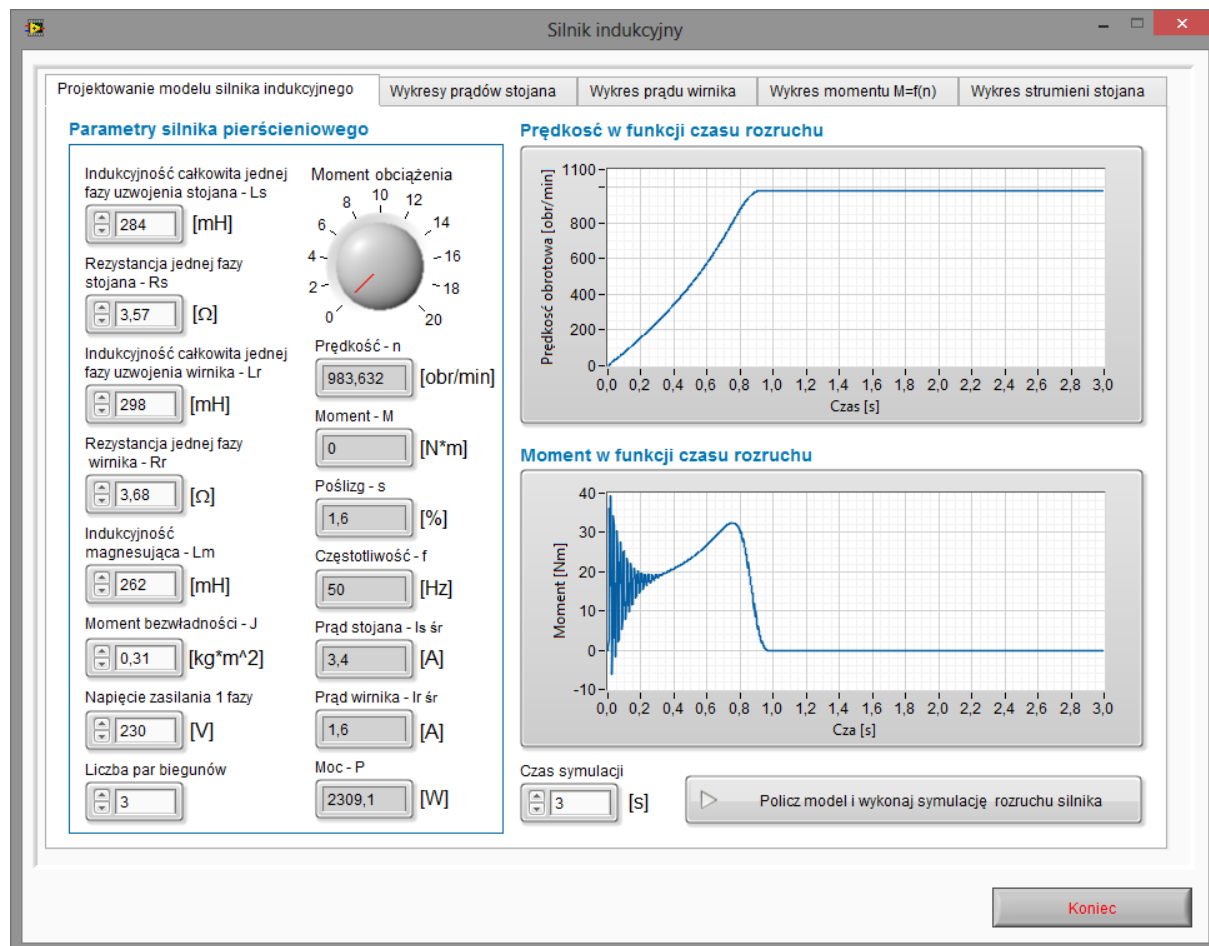
Rys. 14. Wirtualny przyrząd pomiarowy do wyznaczania charakterystyki biegu jałowego silnika indukcyjnego klatkowego.

Zadanie 14.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 14 dla parametrów zaprojektowanego generatora z zadania 2 należy wykonać pomiar charakterystyki biegu jałowego silnika indukcyjnego klatkowego. Otrzymane przebiegi porównać z charakterystykami teoretycznymi podawanymi w literaturze dla silnika indukcyjnego klatkowego.

Projektowanie modelu silnika indukcyjnego pierścieniowego.

Celem modułu jest zapoznanie się z wpływem poszczególnych parametrów modelu silnika indukcyjnego pierścieniowego na charakterystyki i parametry eksploatacyjne.



Rys. 15. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego pierścieniowego – zakładka projektowanie modelu.

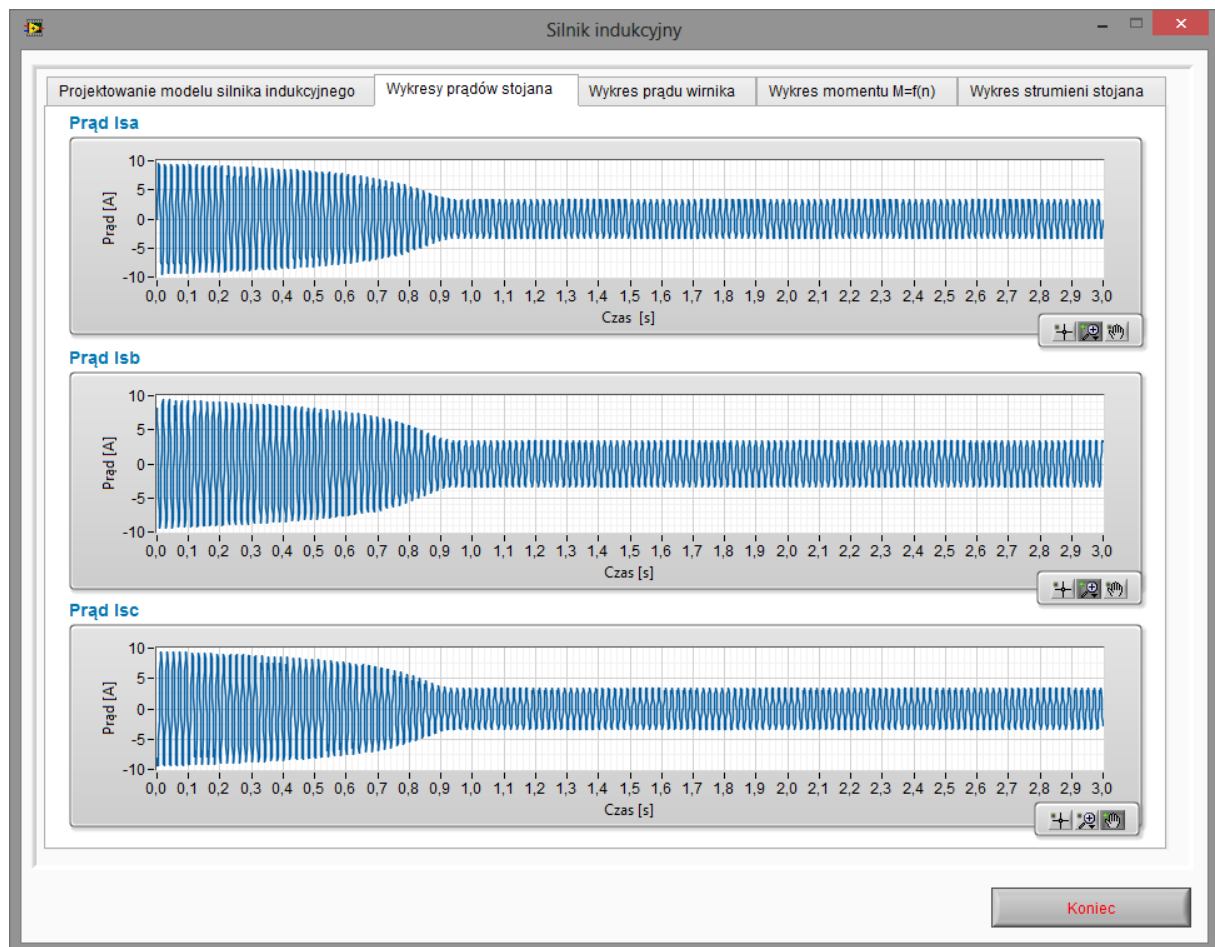
Zadanie 15.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 15 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na jego właściwości eksploatacyjne:

- rezystancji uzwojeń stojana na przebieg momentu i prędkości w funkcji czasu
- rezystancji uzwojeń wirnika na przebieg momentu i prędkości w funkcji czasu
- liczby par biegunów
- indukcyjności magnesującej
- momentu bezwładności.

Zadanie 16

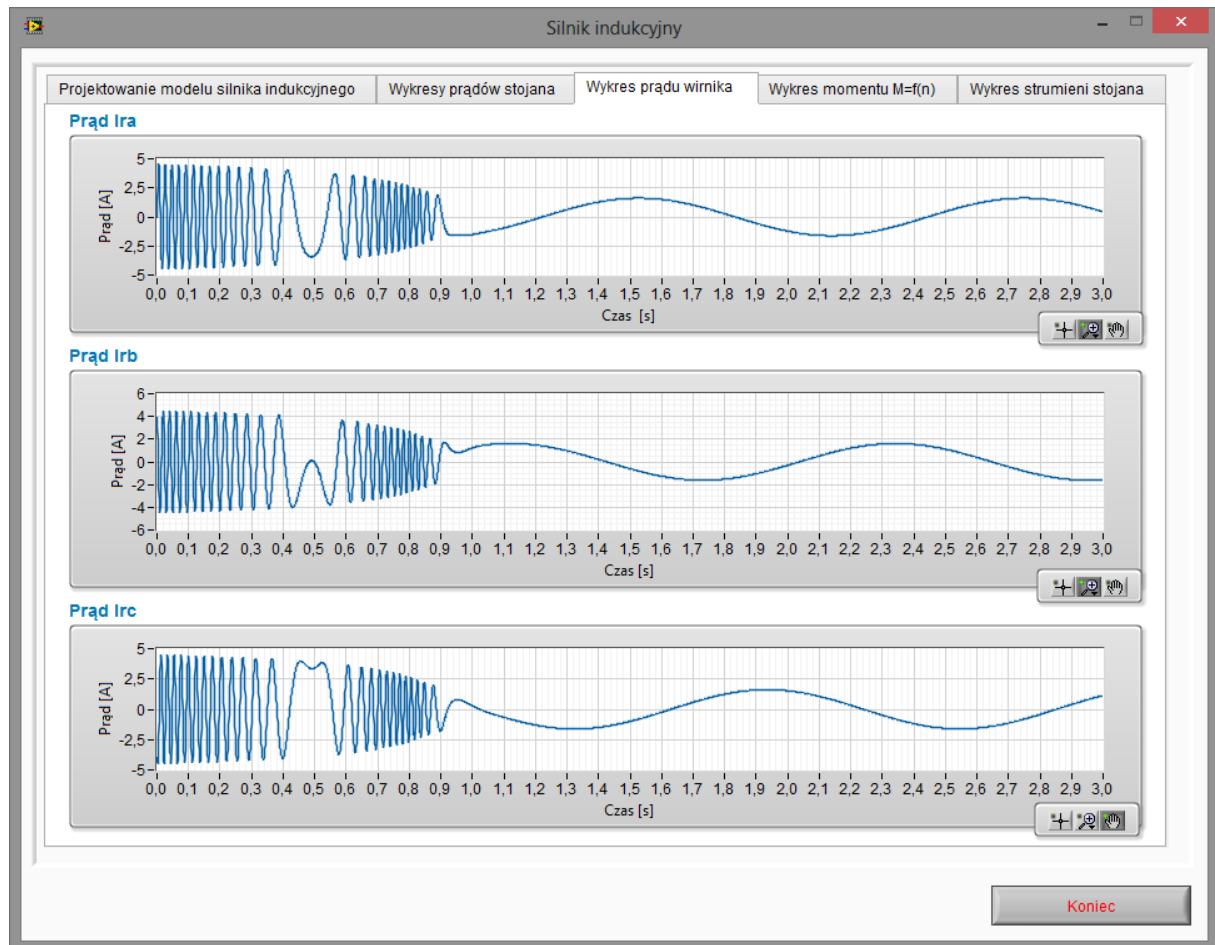
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 15 należy zaprojektować silnik indukcyjny pierścieniowy o parametrach zadanych (moment, poślizg, prąd znamionowy, moc) przez prowadzącego ćwiczenie.



Rys. 17. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego pierścieniowego – zakładka wykresy prądów stojana.

Zadanie 17.

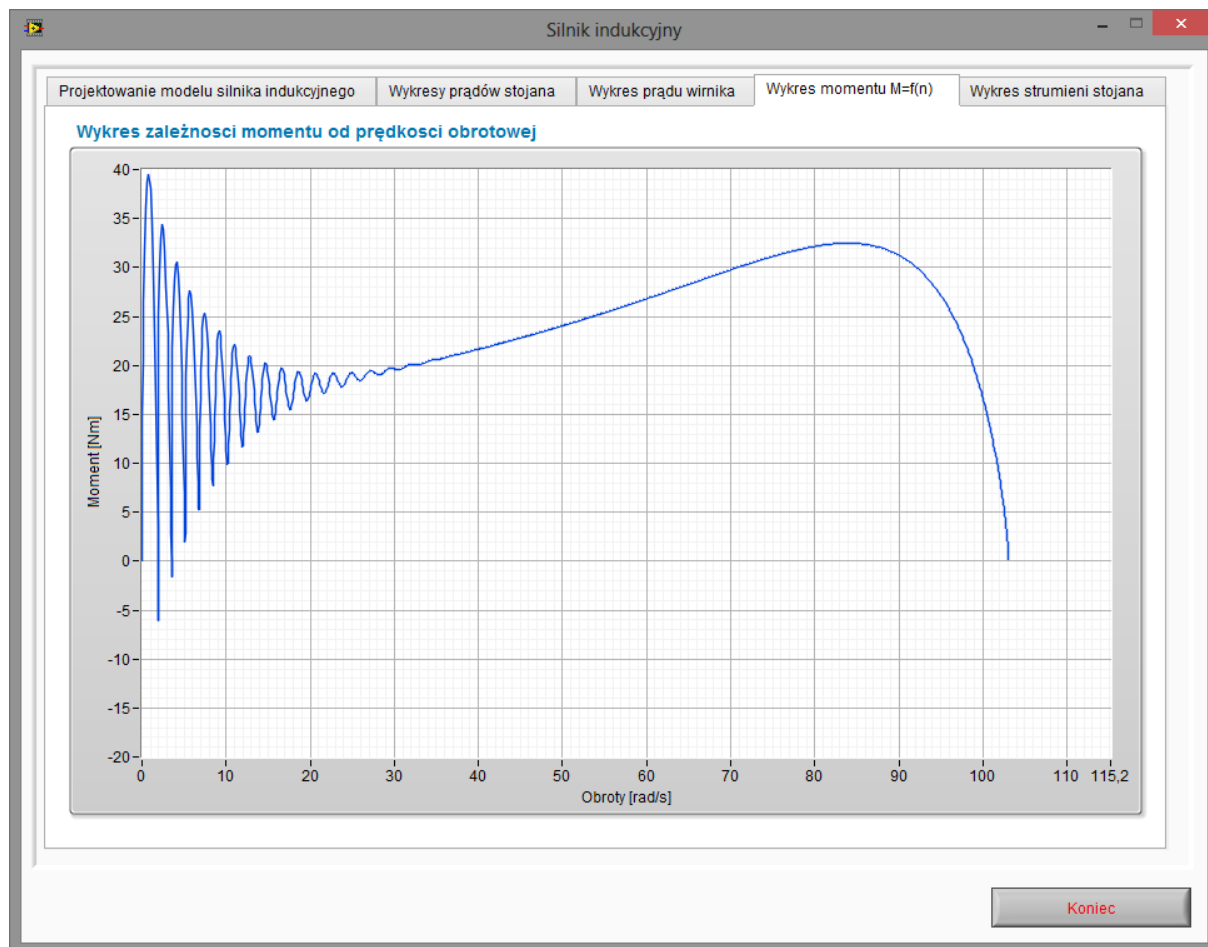
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 17 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg i wartości prądów stojana w trakcie rozruchu silnika.



Rys. 18. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego pierścieniowego – zakładka wykresy prądów w poszczególnych uzwojeniach wirnika.

Zadanie 18.

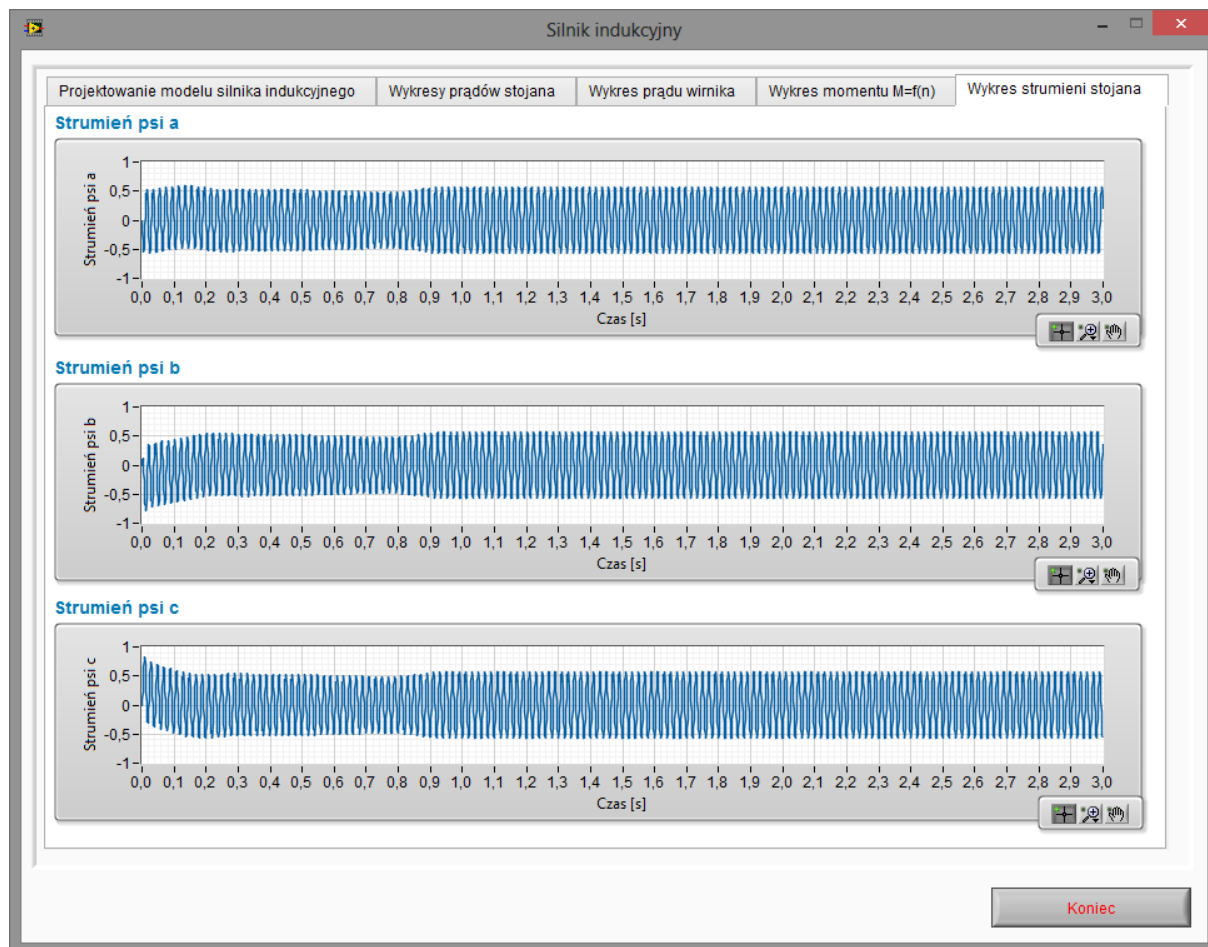
Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 18 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg i wartości prądów wirnika w trakcie rozruchu silnika. Zaobserwować zjawisko poślizgu i przesunięcia fazowe w obwodach wirnika silnika indukcyjnego pierścieniowego.



Rys. 19. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego pierścieniowego – zakładka wykres momentu w zależności od prędkości obrotowej.

Zadanie 19.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 19 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg jednej z podstawowych charakterystyk eksploatacyjnych silnika indukcyjnego – wykres momentu w funkcji prędkości obrotowej. Określić wpływ poszczególnych parametrów na czas oscylacji momentu powstałych w początkowej fazie rozruchu.



Rys. 19. Wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający modelowanie właściwości silnika indukcyjnego pierścieniowego – zakładka wykres strumieni generowanych przez stojan.

Zadanie 19.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 19 należy zbadać wpływ poszczególnych parametrów silnika na przebieg i wartość generowanych strumieni przez uzwojenie stojana w trakcie rozruchu i po osiągnięciu prędkości roboczej.

Zadanie 20.

Wykorzystując wirtualny przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunkach od 15 do 19 należy porównać parametry osiągnięte przez silnik klatkowy i pierścieniowy. Zaobserwować szybkość osiągnięcia prędkości roboczej silnika.