

Wiktor HUDY*
Kazimierz JARACZ*

ANALIZA WYNIKÓW SYMULACJI EWOLUCYJNEJ OPTYMALIZACJI PARAMETRYCZNEJ UKŁADU STEROWANIA POŁOWO-ZORIENTOWANEGO Z SILNIKIEM PIERŚCIENIOWYM ZWARTYM DLA RÓŻNYCH PARAMETRÓW ALGORYTMU EWOLUCYJNEGO

W artykule zanalizowano układ sterowania połowo-zorientowanego z silnikiem pierścieniowym zwartym. Przedstawiono metodę ewolucyjnej optymalizacji parametrycznej tego układu sterowania. Porównano wyniki tej optymalizacji dla różnych parametrów algorytmu ewolucyjnego, w tym dla różnych rodzajów selekcji osobników. Porównano wyniki dla selekcji metodami: ruletki, turnieju oraz metody deterministycznej.

1. WSTĘP

Nowoczesne układy sterowania prędkością obrotową silników indukcyjnych [4, 5], w szczególności pierścieniowych zwartych, to układy sterowania wektorowego [1, 2, 3, 4]. W niniejszym artykule przeanalizowano układ sterowania połowo-zorientowanego z silnikiem pierścieniowym. Zagadnienie optymalizacji parametrycznej było przedmiotem wielu prac [1, 2, 3, 4], w tym do tego celu zastosowano algorytm ewolucyjny [1, 2, 3, 6]. W niniejszej pracy porównano wyniki ewolucyjnej optymalizacji parametrycznej badanego układu sterowania dla różnych rodzajów selekcji [1, 2, 3, 6].

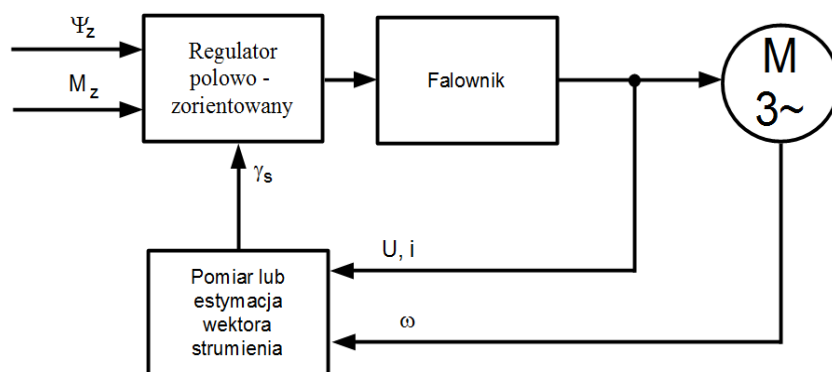
2. BADANY UKŁAD STEROWANIA

W niniejszej pracy przebadano układ bezpośredniego sterowania połowo-zorientowanego (DFOC), rys. 1 [4].

Układ ten można zrealizować na co najmniej dwa sposoby [4]: układ regulacji silnika indukcyjnego z regulatorami momentu elektromagnetycznego i liniowymi regulatorami prądów falownika PWM oraz układ regulacji silnika indukcyjnego z regulatorami momentu elektromagnetycznego i histerezowymi regulatorami prądów falownika PWM. Do dalszej analizy przyjęto układ regulacji silnika

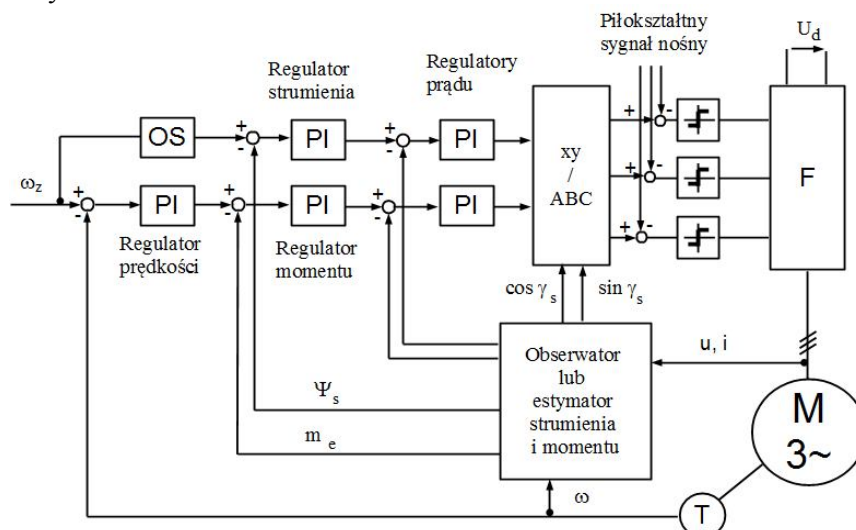
* Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie.

indukcyjnego z regulatorami momentu elektromagnetycznego i liniowymi regulatorami prądów falownika PWM, rys. 2.



Rys. 1. Układ DFOC z silnikiem 3-fazowym

Przyjęte oznaczenia: M_z – zadany moment elektromagnetyczny, ω – prędkość, Ψ_z – strumień zadany, U – napięcie 3-fazowe w układzie współrzędnych naturalnych ABC, i – prąd 3-fazowy w układzie współrzędnych naturalnych ABC, γ_s – kąt niezbędny do transformacji między układem współrzędnych ortogonalnych osi $0xy$ związanych z wirnikiem a układem współrzędnych naturalnych ABC.



Rys. 2. Układ DFOC z z regulatorami momentu elektromagnetycznego i liniowymi regulatorami prądów falownika PWM

Na rys. 2 przyjęto dodatkowo oznaczenia: ω_z – prędkość zadana, U_d – napięcie odniesienia, F – falownik, $\cos \gamma_s$, $\sin \gamma_s$ – cosinus i sinus kąta γ_s uzyskiwane z obserwatora lub estymatora strumienia magnetycznego i momentu elektromagnetycznego, m_e – wyestymowany moment elektromagnetyczny, Ψ_s – wyestymowany strumień magnetyczny, OS – moduł osłabiania strumienia, PI – regulatory ciągłe PI.

3. ALGORYTM EWOLUCYJNY

W niniejszej pracy do optymalizacji parametrycznej badanego układu sterowania zastosowano algorytm ewolucyjny. Wskaźnikiem jakości była wartość jednego kryterium. Kryterium to obliczano jako moduł różnicy wartości zadanej prędkości obrotowej a wartości obliczonej na podstawie osobnika zawierającego informacje o nastawach regulatorów PI w zadanych punktach czasowych. Osobnik zawierał informację o wartościach nastaw regulatorów PI: wzmocnieniach i czasach zdwojenia regulatorów. Algorytm ewolucyjny (AE) działa w jednym pokoleniu na wiele osobników jednocześnie, generując dla każdego osobnika inną wartość wskaźnika jakości. W każdym pokoleniu AE generuje określoną ilość nowych osobników, na podstawie już istniejących, dokonuje ich oceny (oblicza wartość wskaźnika jakości). Po obliczeniu wartości kryterium jakości dla wszystkich osobników, które nie zostały wcześniej ocenione, AE za pomocą operatora selekcji, dokonuje wyboru osobników do nowej populacji, nowe pętli programu, spośród aktualnie dostępnych. Proces rozpoczyna się od początku. Za szybkość działania algorytmu, dokładność, zbieżność algorytmu do ekstremum wskaźnika jakości ma wpływ m.in. wybór metody selekcji. W niniejszym artykule przebadano wpływ rodzaju selekcji na wyniki optymalizacji parametrycznej układu DFOC z silnikiem pierścieniowym zwartym.

3.1. Selekcja metodą ruletki

Osobniki w populacji posiadają wartość wskaźnika jakości (wartość funkcji oceny). Wartości tej funkcji oceny wszystkich osobników sumuje się (SWFO), a następnie przez obliczoną sumę dzieli się wartości wskaźnika jakości wszystkich osobników (WFO/SWFO). Jeśli oblicza się minimum wskaźnika jakości to najpierw należy przeliczyć wartości wskaźnika jakości wszystkich osobników, licząc np. ich odwrotności. Wówczas dalsze rozważania będą prawdziwe również dla minimalizacji funkcji oceny. Otrzymuje się wartości wskaźników jakości osobników z zakresu $[0,1]$, które po zsumowaniu dadzą wartość 1. Każdemu z osobników przyporządkowuje się przedział proporcjonalny do wartości wskaźnika jakości, tabela 1.

Tabela 1. Przykład grupy osobników, wartości ich funkcji oceny i przyporządkowanych przedziałów z zakresu $[0,1]$ niezbędnych w procesie selekcji stosując metodę ruletki

Osobnik	Wartość funkcji oceny (WFO)	WFO / SWFO	Przyporządkowany przedział z zakresu $[0,1]$
O_1	2	0.2	$[0, 0.2]$
O_2	3	0.3	$(0.2 0.5]$
O_3	1	0.1	$(0.5 0.6]$
O_4	3	0.3	$(0.6 0.9]$
O_5	1	0.1	$(0.9 1]$
Suma wartości funkcji oceny (SWFO)	10		

Następnie losuje się, korzystając z generatora liczb pseudolosowych komputera PC, wartość z przedziału $[0, 1]$. Niech wylosowana wartość będzie równa 0.7. Oznacza to, że do nowej populacji przejdzie osobnik O_4 , w którego przyporządkowanym przedziale zawiera się wartość 0.7. Korzystanie z tej metody selekcji umożliwia ‘wychodzenie’ algorytmu z ekstremów lokalnych, jednak w końcowej fazie ewolucji może przyczynić się do ominięcia ekstremum globalnego, w przeciwieństwie do innych metod selekcji. Niewątpliwą wadą tego rozwiązania jest spory narzut dodatkowych obliczeń, co wpływa niekorzystnie na całkowity czas działania algorytmu.

3.2. Selekcja metodą turnieju

Po ocenie osobników, jak w poprzednim przypadku, wybiera się losowo najczęściej dwa osobniki i porównuje się wartości ich funkcji oceny. Osobnik z mniejszą wartością funkcji oceny (dla przypadku minimalizacji wskaźnika jakości) jest wybierany do nowej populacji. Ten sposób selekcji umożliwia ‘wychodzenie’ algorytmu z ekstremów lokalnych. Jednak, jak w poprzednim przypadku, istnieje niebezpieczeństwo ‘zgubienia’ rozwiązania najlepszego, znalezione dotychczas. Ponadto, jak w metodzie ruletki, istnieje możliwość wyboru do nowej populacji tego samego osobnika wielokrotnie.

3.3. Selekcja metodą deterministyczną

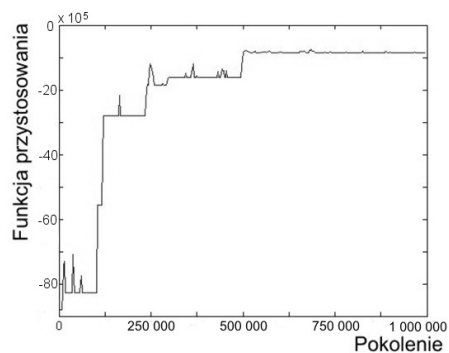
Po ocenie osobników, tworzy się listę rankingową osobników. Do nowej populacji wybierane są tylko osobniki najlepsze. Ten sposób selekcji nie uniemożliwia ‘wychodzenia’ algorytmu z ekstremów lokalnych, jednak proces ten jest znacznie ograniczony. Stosując tę metodę algorytm nigdy nie straci informacji o najlepszym znalezionym dotychczas rozwiązaniu.

4. BADANIA

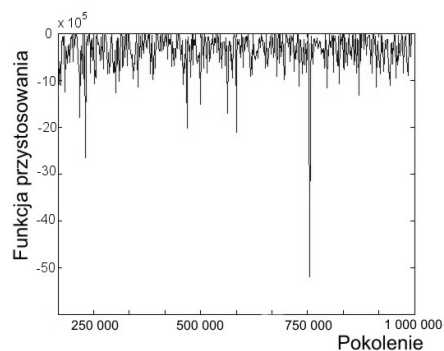
Algorytm przebadano dla przedstawionych metod selekcji. Wartościom funkcji oceny zmieniono znak, rozważano maksymalizację badanego wskaźnika jakości. Na rysunkach oznaczono:

- oś rzędnych – średnia wartość funkcji oceny dla wszystkich osobników w danym pokoleniu,
- oś odciętych – pokolenie.

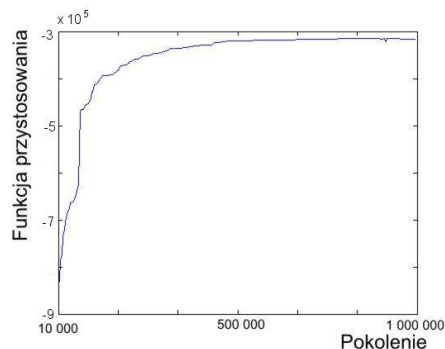
W celu zapewnienia przejrzystości rysunków 3, 4, 5 pominięto wyniki średniej wartości funkcji oceny całej populacji w pierwszych pokoleniach ewolucji.



Rys. 3. Zależność średniej wartości funkcji oceny całej populacji od pokolenia dla ostatnich 95% pokoleń dla metody ruletki



Rys. 4. Zależność średniej wartości funkcji oceny całej populacji od pokolenia dla ostatnich 80% pokoleń dla metody turnieju



Rys. 5. Zależność średniej wartości funkcji oceny całej populacji od pokolenia dla ostatnich 99% pokoleń dla metody deterministycznej

5. PODSUMOWANIE

Jak wynika z cech poszczególnych metod selekcji oraz z rys. 3-5, uwzględniając czas obliczeń, nie można jednoznacznie określić najlepszej metody selekcji dla problemu optymalizacji parametrycznej układu sterowania DFOC z silnikiem pierścieniowym zwartym. Metoda turnieju dała najgorsze wyniki, średnie przystosowanie populacji zmieniało się skokowo. Stosując metodę turnieju uzyskano najlepsze wyniki, jednak średnie przystosowanie się całej populacji charakteryzowało się znaczną zmiennością, bez wyraźnego stałego wzrostu badanej wielkości. Stosując metodę deterministyczną uzyskano stały wzrost średniej wartości funkcji oceny, lecz istnieje niebezpieczeństwo 'utknięcia' algorytmu w ekstremum lokalnym. Najlepszym rozwiązaniem jest połączenie dwóch metod selekcji. W początkowej fazie należy stosować metodę turnieju z uwagi na rezultaty, natomiast w końcowej fazie działania algorytmu należy zastosować metodę deterministyczną z uwagi na stały, gwarantowany wzrost średniej wartości funkcji oceny.

LITERATURA

- [1] Hudy W., Jaracz K., The selection of control parameters in field orientated control system with induction motor with using evolutionary algorithm. XIII Scientific Conference Computer Applications in Electrical Engineering, ZKwE'2007, Poznań, 16-18 April, pp. 281-282 (2007) (in Polish).
- [2] Hudy W., Jaracz K.: Analysis of Evolutionary Simulation of Parametric Optimization of Different Field-Oriented Control Systems with Induction Motors, 38 Konferencja Automatyka Telekomunikacja Informatyka ATI 2011, Szczyrk, 15 - 17 czerwca 2011 r oraz Mechanizacja I Automatykacja Górnictwa, Czasopismo Naukowo-Techniczne Nr12(490), Katowice, Grudzień 2011, PL ISSN 0208-7448, str. 20-26 (in Polish).

- [3] Hudy W., Jaracz K.: Comparing the simulation's results of parametric evolutionary optimization of FOC with induction motor with regulators P and regulators PI, XVI Konferencja Naukowa „Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice”, Poznań, 11-13 kwietnia 2011 (in Polish).
- [4] Orłowska-Kowalska T., Control systems of the induction motors without sensors. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław (2003) (in Polish).
- [5] Plamitzer A.M., Electrical machines. WNT, vol. 4, Warszawa (1970) (in Polish).
- [6] Spears M.W. Evolutionary Algorithms. The Role of Mutation and Recombination. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (2000).

**THE ANALYSIS OF RESULTS OF EVOLUTIONARY PARAMETRIC
OPTIMALIZATION OF FIELD-ORIENTED CONTROL SYSTEM
WITH SLIP-RING MOTOR FOR DIFFERENT EVOLUTIONARY
ALGORITHM PARAMETERS**

In this paper field-oriented control system with slip-ring motor was analyzed. The evolutionary parametric optimization method of this control system was shown. Results of this optimization for different evolutionary algorithm parameters, therein for different kinds of individuals' selection were compared. These results were compared with using following selection's methods: roulette-wheel, tournament and deterministic method.