

Wiktor HUDY\*  
Kazimierz JARACZ\*

## **ANALIZA WPŁYWU OPERATORA MUTACJI POSTĘPOWEJ W EWOLUCYJNEJ METODZIE OPTYMALIZACJI PARAMETRYCZNEJ UKŁADU STEROWANIA POŁOWO-ZORIENTOWANEGO Z SILNIKIEM INDUKCYJNYM MAŁEJ MOCY**

W artykule przedstawiono metodę optymalizacji parametrycznej wykorzystującą w swoim działaniu algorytm ewolucyjny. Algorytm ten do prawidłowego działania wymaga ustalenia szeregu parametrów. Jednym z tych parametrów jest wpływ ilościowy operatora mutacji oraz mutacji postępowej. Układem sterowania, dla którego ewolucyjnie obliczono parametry regulatorów był układ sterowania połowo-zorientowanego z silnikiem indukcyjnym małej mocy.

**SŁOWA KLUCZOWE:** silnik indukcyjny, algorytm ewolucyjny, sterowanie połowo-zorientowane

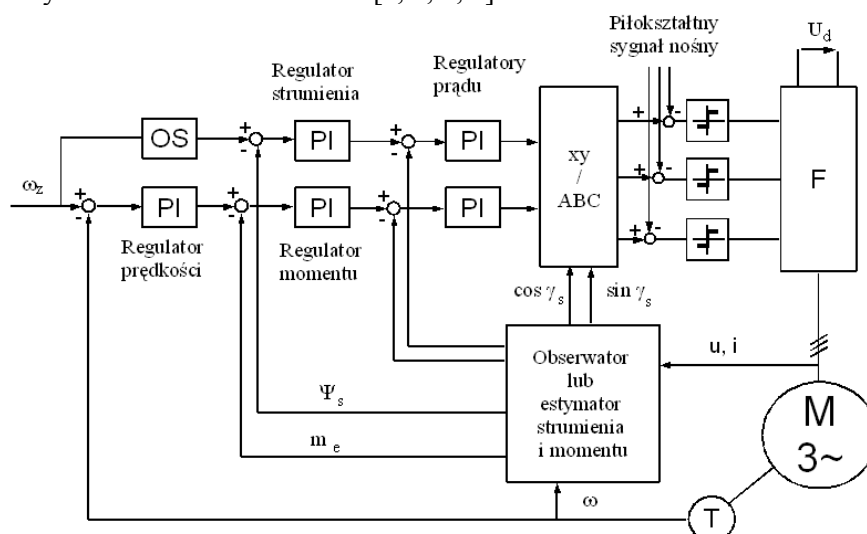
### **1. WSTĘP**

Nowoczesne układy napędowe z silnikami indukcyjnymi to układy ze sterowaniem wektorowym [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Znane są dwa podstawowe typy sterowania prędkością obrotową: układy ze sterowaniem połowo-zorientowanym (z ang. Field Oriented Control - FOC) oraz układy z bezpośrednim sterowaniem momentem elektromagnetycznym (z ang. Direct Torque Control – DTC) [4, 5]. Oba typy sterowania są porównywalne, ale każdy z uwagi na sposób działania, ma swoje zalety i wady. W niniejszym artykule do dalszej analizy wybrano układ sterowania FOC. Układ ten w ogólnym przypadku posiada w swojej budowie regulatory ciągłe. W zależności od odmiany tego układu sterowania, regulatory te mogą być regulatorami typu P lub typu PI [2, 3, 4]. Ponadto układy FOC można podzielić na układy z czterema regulatorami i na układy z pięcioma regulatorami [4]. Do dalszej analizy wybrano układ sterowania FOC z pięcioma regulatorami typu PI: dwoma regulatorami prądu, regulatorem prędkości, regulatorem momentu elektromagnetycznego oraz regulatorem strumienia. Ponadto wybrany układ był

---

\* Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie.

układem bezpośredniego sterowania polowo-zorientowanego (z ang. Direct Field Oriented Control – DFOC), gdzie kąt potrzebny do transformacji jest wyznaczany na podstawie estymacji wektora strumienia z wielkości mierzonych napięć i prądów stojana. Przy tych założeniach na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy układu sterowania DFOC [2, 3, 4, 5].



Rys. 1. Schemat blokowy układu bezpośredniego sterowania polowo-zorientowanego

Oznaczenia na rys. 1:

$u, i$  – trójfazowe napięcia i trójfazowe prądy stojana silnika indukcyjnego,

$\omega$  – zmierzona wartość prędkości obrotowej wału silnika,

$\omega_z$  – zadana wartość prędkości obrotowej wału silnika,

$\gamma_s$  – kąt potrzebny do transformacji pomiędzy układami współrzędnych ABC i Oxy,

$m_e$  – obliczona wartość momentu elektromagnetycznego na podstawie wartości zmierzonych  $u, i$ , oraz  $\omega$ ,

$\Psi_s$  – obliczona wartość strumienia silnika na podstawie wartości zmierzonych  $u, i$ , oraz  $\omega$ ,

$U_d$  – napięcie odniesienia falownika,

OS – moduł osłabiania strumienia,

PI – liniowe regulatory typu PI.

Podstawowym problemem w układach automatycznej regulacji jest proces optymalizacji parametrycznej. W procesie optymalizacji parametrycznej tego układu sterowania należy obliczyć dziesięć parametrów. każdy z pięciu regulatorów PI charakteryzuje się dwoma parametrami: wzmocnieniem regulatora oraz współczynnikiem zależnym od czasu zdwojenia regulatora. Do obliczenia tych parametrów stosuje się np. algorytmy ewolucyjne [2, 3].

## 2. ALGORYTM EWOLUCYJNY

Algorytm ewolucyjny jest jedną z metod sztucznej inteligencji. Służy do obliczania najlepszego rozwiązania problemu w zadanej przestrzeni poszukiwań. Jego zasada działania jest podobna do działania naturalnej ewolucji. Każde pojedyncze rozwiązanie problemu nazywane jest osobnikiem. W niniejszym przypadku jest to 10-cio elementowy wektor, którego współrzędnymi są: wzmocnienia regulatorów: prądu (dwóch), momentu elektromagnetycznego, strumienia i prędkości oraz współczynników zależnych od czasów zdwojenia tych regulatorów. Każdemu osobnikowi obliczana jest funkcja dopasowania nazywana inaczej funkcją oceny. Wartość tej funkcji, w badanym przypadku, obliczano w następujący sposób:

- generowano na podstawie wartości parametrów regulatorów osobnika przebieg prędkości wyjściowej,
- porównywano wygenerowany przebieg z przebiegiem zadany,
- wartość funkcji oceny była sumą wartości bezwzględnych między tymi przebiegami we wszystkich możliwych punktach czasu (co 0.001 s).

Im mniejsza wartość funkcji oceny, tym lepiej dopasowany będzie przebieg wygenerowany na podstawie osobnika do przebieguadanego i tym dokładniej obliczone będą nastawy regulatorów układu DFOC.

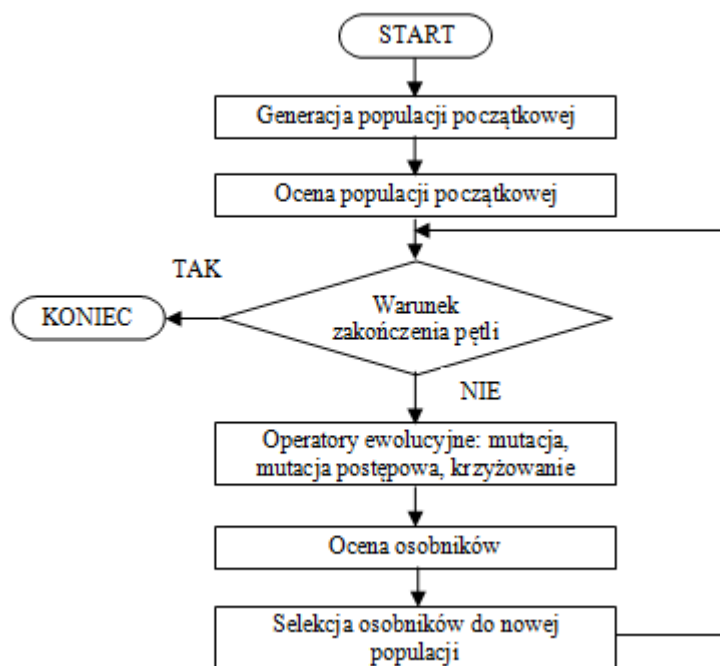
Podstawowy schemat blokowy algorytmu ewolucyjnego przedstawiono na rys. 2.

Grupa osobników nazywana jest populacją. Po starcie algorytmu wygenerowane zostają losowo osobniki stanowiące populację początkową. Populacja ta jest oceniana, czyli przypisywana jest wartość funkcji oceny każdemu osobnikowi. Każdy obieg pętli nazywany jest pokoleniem. Warunkiem zakończenia pętli jest stała wartość ustalona a priori. W głównej pętli programu następuje:

- generowanie nowych osobników na podstawie populacji bieżącej przez operatory ewolucyjne: operator mutacji, operator mutacji postępowej oraz operator krzyżowania,
- ocenianie nowo wygenerowanych osobników,
- wybranie osobników z populacji bieżącej powiększonej przez nowo wygenerowane i ocenione osobniki do populacji , która stanie się bieżącą w nowym obiegu pętli.

Po spełnieniu warunku zakończenia pętli programu wyprowadzany jest wynik, czyli w niniejszym przypadku wartości współczynników regulatorów.

Algorytm ewolucyjny posiada wiele współczynników, których ustalenie jest kluczowym do poprawnego działania. Niestety nie jest możliwe ustalenie wszystkich współczynników jednocześnie. Często zdarzają się różnice w wartościach tych współczynników dla różnych zadań algorytmu. W niniejszej pracy zbadano wpływ ilości uruchomień operatora mutacji postępowej w jednym pokoleniu na ostateczny wynik ewolucji.



Rys. 2. Podstawowy schemat algorytmu ewolucyjnego

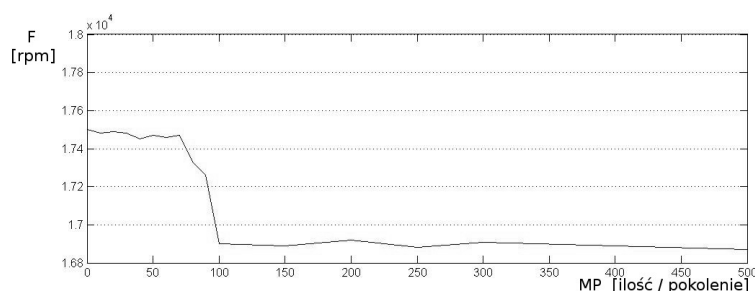
Operator mutacji postępowej jest operatorem jednoargumentowym. Podczas pojedynczego uruchomienia w programie wybiera on losowo z bieżącej populacji jednego osobnika i modyfikuje go. Modyfikacja ta polega na dodaniu lub odjęciu niewielkich wartości do jego współrzędnych. Wartości te nie przekraczają założonej maksymalnej wartości równej 1% danego zakresu. Po modyfikacji, nowy osobnik jest oceniany. Następnie porównywane są wartości funkcji oceny osobnika przed modyfikacją i po modyfikacji. Akceptowany jest osobnik o lepszej wartości funkcji oceny, czyli mniejszej wartości w opisywanym przypadku.

### 3. BADANIA

Jak zbadano w [2, 3] liczba uruchomień operatora mutacji powinna być taka sama jak ilość uruchomień operatora krzyżowania i jest zależne od ilości osobników w populacji. Dla populacji wynoszącej 200 osobników, liczby uruchomień operatorów mutacji oraz krzyżowania powinny wynosić po 80 na jedno pokolenie. Autorzy w niniejszej pracy zbadali wpływ liczby uruchomień operatora mutacji postępowej na pokolenie. Pozostałe wartości algorytmu ewolucyjnego są takie jak w [2, 3].

Tabela 1. Wybrane punkty pomiarowe ilości mutacji postępowej

Lp.	Ilość mutacji postępowej na pokolenie MP [ilość / pokolenie]	F [rpm]
1.	0	$1.750 * 10^4$
2.	20	$1.749 * 10^4$
3.	40	$1.745 * 10^4$
4.	60	$1.746 * 10^4$
5.	80	$1.733 * 10^4$
6.	100	$1.690 * 10^4$
7.	150	$1.689 * 10^4$
8.	200	$1.692 * 10^4$
9.	300	$1.691 * 10^4$
10.	500	$1.687 * 10^4$



Rys. 3. Zależność liczby mutacji postępowej na pokolenie od finalnej wartości wskaźnika jakości

#### 4. PODSUMOWANIE

Jak wynika z tabeli 1 oraz z rys. 3 dla procesu optymalizacji parametrycznej układu FOC z silnikiem indukcyjnym dla populacji liczącej 200 osobników oraz dla mutacji i krzyżowania w liczbie 80 na pokolenie operator mutacji postępowej powinien wynosić 150. Dalsze zwiększanie ilości mutacji postępowej dawało nieznaczne polepszenie wskaźnika jakości (rozważany był problem minimalizacji) przy zwiększonym czasie działania samego programu. Mutacja postępowa zmienia osobniki w niewielkim stopniu. Jej działanie nie jest widoczne w początkowym etapie ewolucji, natomiast jej rola zwiększa się wraz z przybliżaniem się algorytmu do końca swojego działania. W związku z czym dodatkowo można wyłączyć działanie operatorów mutacji oraz krzyżowania w końcowym czasie działania algorytmu (np. 1-5%), bez niekorzystnego wpływu na wynik ewolucji. Skracą się wówczas czas działania. Reasumując operator mutacji postępowej jest niezbędny by wynik ewolucji był dokładniejszy niż wynik ewolucji bez zastosowania tego operatora.

## LITERATURA

- [1] Leonard W.: *Control of Electrical Drives*. Springer Verlag, Berlin 1985.
- [2] Hudy W., Jaracz K.: *The analysis of results of evolutionary parametric optimization of field-oriented control system with slip-ring motor for different evolutionary algorithm parameters*, Electrical Engineering, Issue 72, Poznan University of Technology Academic Journals, Poznan 2012, ISSN 1897-0737.
- [3] Hudy W., Jaracz K.: *Dobór parametrów w układzie sterowania polowo-zorientowanego z silnikiem indukcyjnym przy zastosowaniu algorytmu ewolucyjnego*. ZKwE'2007 Poznań 16-18 kwiecień 2007 r., str. 281-282.
- [4] Orłowska-Kowalska T., *Control systems of the induction motors without sensors*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław (2003).
- [5] Kaźmierkowski M.P.: *Porównanie metody sterowania polowo-zorientowanego z metodą bezpośredniej regulacji momentu silnika klatkowego*. Przegląd Elektrotechniczny 4/98, Warszawa 1998.
- [6] Takahashi I., Noguchi T.: *A new quick response and high efficiency control strategy of an induction motor*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-22, No. 5, Sep/Oct 1986, s.820-827.

### **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MUTATION OPERATION IN EVOLUTIONARY OPTIMIZATION PARAMETRIC METHOD OF FIELD- ORIENTED CONTROL SYSTEM WITH INDUCTION LOW-POWER ENGINE**

This paper presents parametric optimization method with using the evolutionary algorithm. This algorithm requires many parameters to correct work. One of this parameters is quantitative influence of mutation operator and progressive mutation. Control system which regulator parameters were calculated by evolution for was filed-oriented control system with induction low-power engine.