

유전자 알고리즘을 이용한 유도 전동기의 벡터 제어

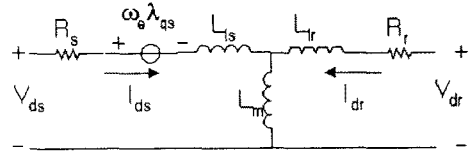
도 병조*, 고 재호, 임 화영
광운 대학교 제어계측공학과

Vector control of the induction machine by an genetic algorithm

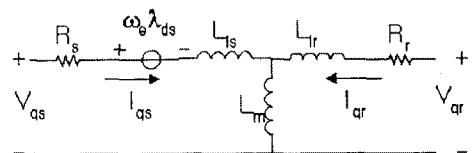
Do Byung-Jo*, Ko Joe-Ho, Yim Wha-Yeong
Dept. of Control and Instrumentation Eng. Kwangwoon Univ.

Abstract - The induction machine has been used frequently for the system that needs static speed because of its simplicity, durability, credibility and efficiency. But it is nonlinear system for its multi-variable interference. Its controller is more complicated than DC machine's one. So vector control method is needed for its high performance control.

This paper shows that vector control algorithm could be more fast and stable by using Genetic algorithm (GA) based upon Darwin's evolution theory and Mendel's genetics. Methods proposed in here are used to design induction machine's vector controller and to use GA for optimizing the controller's parameter. SIMULINK of MATLAB is used for analysis and conviction of control property.



(a) d축 등가회로



(b) q축 등가회로

그림 1. 유도 전동기 등가회로

그림과 같은 유도 전동기를 전압, 전류, 그리고 자속에 관한 식으로 표 1과 같이 나타내었다.

표 1. 유도 전동기의 관계식

종류	수식
Electrical System	$V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d}{dt} \psi_{qs} + w_e \psi_{ds}$
	$V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d}{dt} \psi_{ds} + w_e \psi_{qs}$
	$V_{ar} = R_r i_{ar} + \frac{d}{dt} \psi_{ar}$
	$V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \psi_{dr}$
	$T_e = 1.5p(\psi_{ds} i_{qs} + \psi_{qs} i_{ds})$
Mechanical System	$\frac{d}{dt} w_r = \frac{1}{2H} (T_e - Fw_r - T_m)$
	$\frac{d\theta}{dt} = w_r$

1. 서 론

유도 전동기는 그 단순성, 견고성, 신뢰성, 효율성 그리고 경제성 면에서 상당히 오랫동안 고정된 속도가 필요한 시스템에서 많이 이용되어 왔다. 그러나 유도 전동기는 상호 간섭이 큰 다중 변수 구조로 비선형성을 갖는다. 따라서 독립적인 자속, 토크 특성을 가지고 제어하는 직류 전동기보다 복잡한 제어기 특성을 갖는다.

유도 전동기를 직류 전동기와 유사하게 제어하기 위하여 자계 지향 제어나 벡터 제어 기법이 제시되었다. 그러나 이러한 기법은 유도 전동기의 해석을 쉽게 하는 장점이 있을 뿐 최적 제어를 이루는 것은 아니다.

유전자 알고리즘은 멘델의 유전학과 다윈의 자연 선택에 의한 진화 원리에 근거한 최적해 탐색 방법으로 국부 탐색이 아닌 여러 해를 동시에 탐색하는 전역 탐색으로 전역적인 최적해를 발견할 가능성이 높고 상호적인 환경에서 시스템의 응답과 유전자 연산을 통해 정확한 지식 없이도 적합한 해를 찾아내며 평가 함수의 미분 가능성이나 연속성 등의 수학적 제약이 없다는 장점을 갖는다.

본 논문에서는 강한 비선형성을 갖는 유도 전동기의 벡터 제어를 설계하고 파라미터의 최적화에 유전자 알고리즘을 적용하여 부하 관성 모멘트의 변화에도 효율적인 속도 응답을 보이는 벡터 제어 알고리즘을 제안하였으며 실험을 통해 성능을 검증하였다.

2. 유도 전동기 특성과 제어 알고리즘

2.1 유도 전동기 등가 회로

다상 유도 전동기의 등가회로는 회전하는 2차측 결선을 가지기 때문에 변압기 등가회로와 유사하다. 유도 전동기 등가회로는 그림 1과 같다.

2.2 유도 전동기 벡터 제어

유도 전동기에 벡터 제어를 적용하였을 때의 토크식은 다음과 같다.

$$T = K_t I_a I_f \tag{1}$$

여기서, I_a 는 전기자 또는 토크에 대한 전류 성분이고, I_f 는 계자 또는 자속 전류 성분이다. 직류 전동기에서의 제어 변수 I_a 와 I_f 는 직교 또는 분리 벡터라 생각할 수 있다. 정상 상태에서 계자 전류 I_f 는 정적 계자 자속을 유지하도록 하며, 전기자 전류의 변화는 토크 변

화를 발생시킨다. 제자 전류 I_d 나 제자자속이 전기자 전류 I_a 와 분리되어 있을 경우, 정상 상태와 파도 상태에서 적정한 토크를 얻는다.

이러한 제어 모드는 유도 전동기가 동기 속도로 회전하는 좌표계에서 적용할 수 있는데, 그림 2와 같은 모델을 얻을 수 있다.

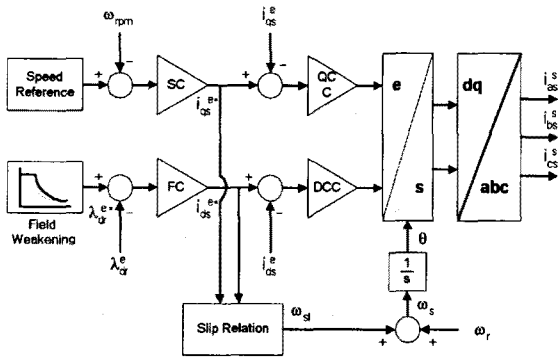


그림 2. 3상 유도 전동기의 벡터 제어 구성도

2.3 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 1975년경 John Holland에 의하여 제안된 것으로 자연계의 유전, 진화 현상을 모델링한 것이다. 유전자 알고리즘은 전역적인 탐색을 기본으로 하며 이를 통해 최적화 문제, 문자 인식, 패턴 인식, 스케줄링, 전략 계획 등에 적용되고 있다.

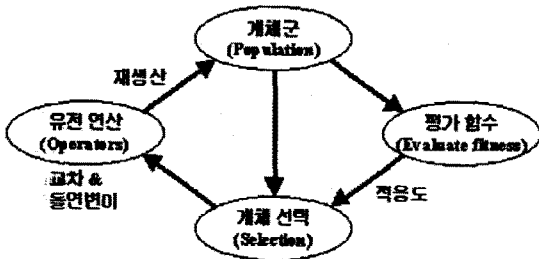


그림 3. 유전자 알고리즘의 전체 순서도

유전자 알고리즘의 탐색과 최적화 방법은 다음과 같다.

- 초기해 집단을 랜덤하게 정해진 개체군의 크기만큼 생성한다.
- 각 개체의 적합도를 구하고 저장한다.
- 집단에서 교배에 참가할 개체를 선택한다.
- 선택된 개체에 유전 연산자를 사용하여 새로운 개체를 생성한다.
- 현 집단의 개체와 새로운 개체에서 다음 세대 집단을 생성한다.
- 종료 조건을 만족하면 종료하고, 그렇지 않으면 다시 단계(b)의 과정으로 되돌아 간다.

3. 제어 특성 실험

3.1 유도 전동기

실험을 위해 사용한 유도 전동기 파라미터는 다음과 같다.

표 2. 유도 전동기 파라미터

고정자 저항	R_s	0.442[Ω]
회전자 저항	R_r	0.334[Ω]
고정자 인덕턴스	L_s	0.0624[H]
회전자 인덕턴스	L_r	0.0624[H]
상호 인덕턴스	L_m	0.0607[H]
출력	-	5[HP]
관성	J	0.0155[kgm ²]

3.2 시스템 구성

실험을 위한 전체 개략은 다음과 같다.

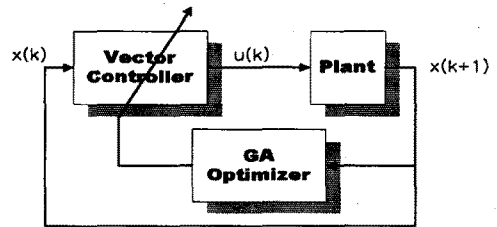


그림 4. 최적화 개략도

여기서 $x(k)$ 와 $x(k+1)$ 은 플랜트의 현재 상태와 다음 상태, 그리고 $u(k)$ 는 제어 입력을 나타낸다. 그리고 Vector Controller의 구성은 그림 2와 같다.

전체적인 실험 과정은 다음과 같다.

- GA Optimizer가 벡터 제어기의 파라미터 조정.
- 벡터 제어기가 플랜트를 제어.
- 적합도 판별에 의해 제어기의 성능 평가.
- 제어기의 파라미터를 재 조정.

3.3 유전자 알고리즘의 적용

시스템 제어 최적화를 위해 사용된 적합도 함수는 다음과 같다.

$$f = \int (w_{desired} - w_{real})^2 \quad (2)$$

여기서, $w_{desired}$ 은 기준 속도로 30[rpm]의 구형파이고, w_{real} 은 유도 전동기의 출력 각속도이다. 유전 개체의 구성은 그림 5와 같다.

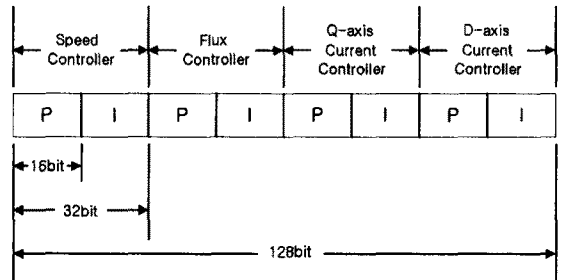


그림 5. 유전 개체의 구성

3.4 실험 결과

유전자 알고리즘의 집단의 개체수는 100이고 3점 교배 방식으로 1회 수행하였다. 종료 조건은 100번의 세대 교체 후 종료하였다. 그림 6은 세대 최적과 세대 평균의 적합도이다.

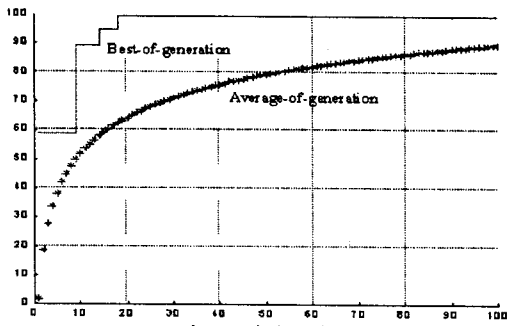


그림 6. 적합도의 수렴

그림 7은 무부하 상태에의 9,14,18세대의 속도 응답
그림 8은 토크 성분 전류, 그리고 응답 토크를 나타
낸 것이다.

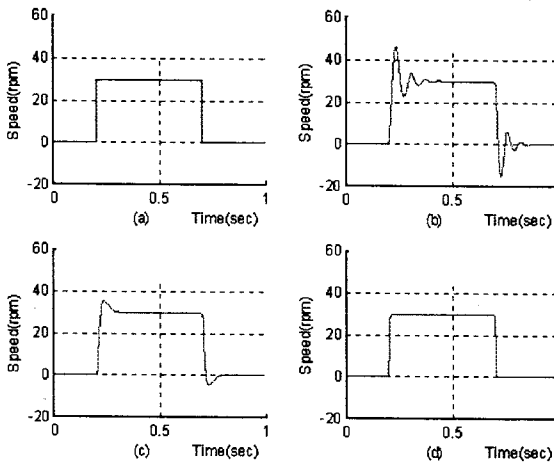


그림 7. 회전자 각속도 응답(무부하시)

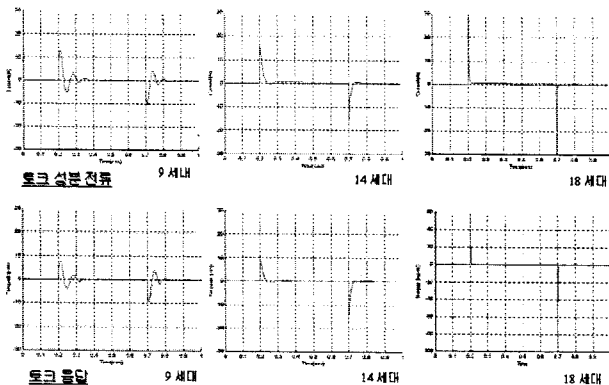


그림 8. 토크 성분 전류와 응답 토크(무부하시)

결과를 보면 정상 상태 각속도에 대해 초기 오버슈트
가 9세대의 경우 15rpm, 14세대의 경우 5rpm 그리고
18세대의 경우 0.5rpm 미만인 낮은 과도응답을 갖는
다. 이것을 제어하기 위한 토크 성분 전류와 응답 토크
의 모양 역시 벡터제어가 잘 이뤄지고 있고, 자속 성분
또한 안정적임을 나타내고 있다.

그림 9와 10은 부하가 가해졌을 때의 결과이다. 무부
하와 마찬가지로 각 세대마다의 결과를 나타내었다.

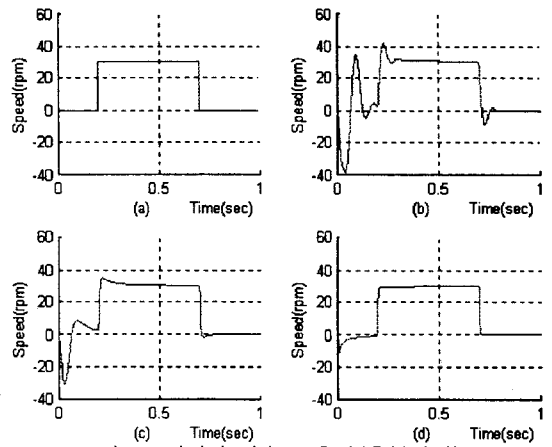


그림 9. 회전자 각속도 응답(유부하시)

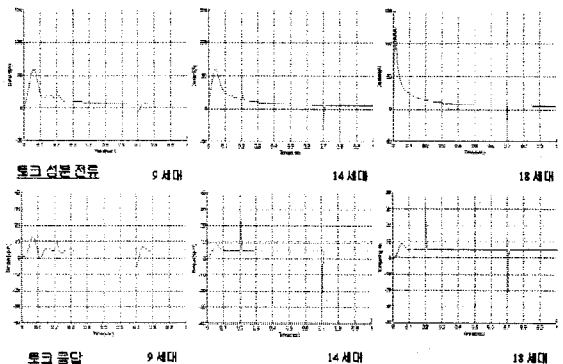


그림 10. 토크성분 전류와 응답 토크(유부하시)

4. 결 론

본 논문은 유도 전동기를 부하의 유무에 관계없이 강
건하게 제어할 수 있는 벡터 제어기의 최적 파라미터 산
출에 관해 연구하였다. 제안된 방식에서는 제어기 설계
에 유전자 알고리즘을 적용하여 비선형성을 갖는 복잡한
시스템이 갖는 비선형항들을 선형화하지 않고 제어기를
설계함으로써 좀 더 실제에 근접한 제어기 설계가 가능
하였고 복잡한 수학적 해석 없이 제어기 설계가 가능함
을 보였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Zadeh, Lotfi A. "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process", IEEE Trans. On System, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-3, NO.1, pp 28-44, Jun 1973.
- [2] 심원, 홍영식, "유전자 알고리즘을 이용한 이진 결정도의 최소화", 한국정보과학회 논문지, 제 22권 제 5호, pp87, 96.1
- [3] D.W.Novotny, T.A.Lipo, "Vector Control and Dynamics of AC Drives", CLAREND PRESS, OXFORD, 1996.
- [4] David E. Goldberg, "Genetic Algorithms and Engineering Design", John Wiley & Sons, Ins., 1997.
- [5] Andrzej M Trzynadlowski, "The Field Orientation Principle in Control of Induction Motors", KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1994.
- [6] David E. Goldberg, "Genetic Algorithms and Engineering Design", John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [7] Peter Vas, "Vector Control of AC Machines", Oxford University Press, Inc., 1990.