

유전자 알고리즘을 이용한 유도전동기 속도 성능 평가

이재도 류호선 김진성
한전 전력연구원

The Performance Analysis of Induction Motors Speed using GA based PI Controller

Jae-Do Lee Ho-Seon Ryu Jin-Sung Kim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 외란에 매우 강인한 특성을 갖는 유전자 알고리즘에 의한 PI 제어를 통하여 속도 제어를 설계하고 성능평가를 하였다. 유전자 알고리즘의 파라미터인 교배율, 돌연변이율, 세대내 개체수, 세대수를 선정하여 최적해를 구하는데 적절한 선정이 필요하다. 따라서 Matlab/Simulink 환경 하에서 유도전동기 제어 시스템을 모델링하고 시뮬레이션 결과를 통해서 유전자 알고리즘의 적절한 파라미터 선정 후 제어기의 유용성을 입증하였다.

$$K = \begin{bmatrix} \cos \omega t & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \omega t & \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$V_{uds} = KV_{abc}$, $I_{qds} = KI_{nbc}$ 으로 나타낼 수 있다. 한편 좌표축이 동기 속도 ω_e 로 회전하면 다음과 같이 쓸수 있다.

$$V_s = R_s i_s + \frac{d\lambda_s}{dt} + \omega_e \times \lambda_s \quad (3)$$

식(3)는 회전하는 d-q 좌표계에서의 d축 성분 전압과 q축 성분 전압으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} + \omega_e \lambda_{qs} \quad (4)$$

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} - \omega_e \lambda_{ds} \quad (5)$$

만일 회전자가 ω_r 의 속도로 회전한다면 회전자에 고정된 d-q축은 전기각에 동기되어 회전하는 좌표계를 기준으로 할 때 $(\omega_e - \omega_r)$ 의 속도로 회전한다.

$$V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\lambda_{dr}}{dt} + (\omega_e - \omega_r) \lambda_{qr} \quad (6)$$

$$V_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} - (\omega_e - \omega_r) \lambda_{dr} \quad (7)$$

1. 서 론

유도 전동기의 벡터제어 시스템에서 PI 제어기는 상대적으로 간단, 강인하여 속도제어기로 산업 현장 등에서 광범위하게 적용되고 있다. 그러나 일반적으로 제어기의 입력 제한조건을 고려하지 않고 설계하기 때문에 과도상태에서 입력이 포화되면 적분기는 비정상적으로 증대하여, 입력이 선형 영역에 도달한 후에도 적절한 적분기의 값을 갖는데에는 상당한 시간을 요하게 된다. 이러한 적분포화(integral-windup) 현상이 발생하면 큰 오버슈트(overshoot)와 정착 시간이 길어지고 시스템이 불안정할 수 있다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해 적분포화 현상을 극복할 수 있는 알고리즘을 통한 PI 제어기를 이용하였다. 최근 최적화 탐색 문제에서 점차 중요한 알고리즘은 자연의 진화 과정을 인공 시스템에 적용하는 것으로 다른 최적화 기법에 비해 파라미터 영역의 연속성이나 미분 가능과 같은 수학적 조건이 필요하지 않고, 국부 탐색이 아닌 전역 탐색을 하므로 PI 개인값의 최적해를 구하기에 용이하다.

2. 본 론

2.1 유도전동기 모델링

유도전동기는 고정자 권선이 대칭이며 분포권이고 각상은 120° 간격이며, 등가 턴 N_s 과 저항 r_s 을 가지고 있다고 가정한다. 회전자 권선 또한 정현파적으로 분포된 대칭 권선이며, 각 상은 120° 간격이며, 등가 턴 N_r 과 r_r 을 가지고 있다고 가정한다.

정지 좌표계에서 고정자의 전압 방정식은 다음과 같다.

$$V_{abc}^s = R_s i_{abc}^s + \frac{d\lambda_{abc}^s}{dt} \quad (1)$$

여기서, $f_{abc} = [f_{as} \ f_{bs} \ f_{cs}]^T$, $[f = v(i, \lambda)]$ 이다. 유도기의 동특성은 고정자와 회전자 상호간의 동특성 때문에 복잡해지며, 일반적으로 시변계수를 갖는 미분방정식으로 표현된다. 시변계수를 제거하기 위하여 d-q 이론으로 유도전동기의 동적 모델을 얻을수 있다. 축변환 행렬은 $f_{dq} = Kf_{abc}$ 와 같은 관계가 성립된다.

2.2 유전자 알고리즘의 개요

유전 알고리즘은 John Holland에 의해 처음 도입되어 최적화 탐색 알고리즘으로 점차 중요해지고 있다. 이는 자연의 진화과정을 인공시스템에 적용한 것으로 이진수의 문자열(string)로 표현되는 개체군(population)으로부터 출발한다. 이들 개체(individual)들은 모여서 하나의 세대를 이루며 복제(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)등과 같은 과정을 거쳐 다음 세대를 형성한다. 유전 알고리즘이 적용되는 목적에 따라 적합도(fitness value)를 판별하는 함수가 정의되고 각 세대들은 이 적합도가 큰 방향으로 적자 생존의 이론을 기본으로 진화되어 나간다.

유전 알고리즘은 각각의 가능한 해를 하나의 개체로 보며 이들의 집합인 개체군을 기반으로 하여 수행되는 탐색 방법이다. 전형적인 유전 알고리즘은 임의의 값으로 초기화된 개체들의 집합으로 시작하며 각각의 개체는 상대적인 문제해결능력에 따라 그 적합도가 평가되고, 이에 따라 다음 세대에 부모의 유전자가 복제(reproduction)되는 정도를 달리 함으로써 우수 형질을 지닌 개체들이 열성인 개체들에 비하여 더 많은 자식을 생성할 수 있도록 유도된다.

이렇게 선택, 복제된 개체들은 교배(crossover), 돌연변이(mutation)등의 유전 연산자들에 의해 결합(mating)되어 다음 세대의 개체군을 형성한다. 이와 같은 방법으로 세대 교체가 원하는 수준의 해가 개체군내에 존재하거나 또는 다른 종료 조건이 만족될 때까지 계속 반복된다.

복제는 각각의 문자열이 가지는 적합도에 따라 그 문자열을 재생산하는 과정이며, 이 과정은 적합도가 높은 개체일수록 다음 세대에 더 많은 자손을 가질 확률이 높음을 의미한다. 이것은 주어진 환경에 더 잘 적응하는 개체만이 살아남는다는 자연 선택의 원리를 담고 있다.

2개의 부모(parent)개체를 선택하여 개체 문자열의 임의의 위치에서 두개의 개체를 서로 바꾸는 과정이다.

이 과정은 교배확률을 가지는 확률적인 과정이지만 개체간의 정보를 교환하고 문자열의 좋은 부분을 결합하는 효과적인 방법이다.

돌연변이 과정은 하나의 개체에서 임의로 어떤 bit를 선택하여 그 bit가 1이면 0으로 0이면 1로 바꾸는 과정이다. 돌연변이는 위에서 설명한 복제와 교배의 과정에서 생길 수 있는 중요한 유전 정보의 손실을 막고 탐색의 방향이 지역적 극값으로 향하는 것을 막아주는 역할을 한다.

2.2.1 유전자알고리즘에 의한 PI 제어기 구성

유전자 알고리즘을 이용하여 개체수로 속도 PI제어기의 K_p , K_i 값을 한선정하여 초기화 하고, 초기 세대내의 각 개체들을 임의의 값으로 정하고 그 적합도를 계산한다. 각 개체들에 대해서 비례선택법인 roulette wheel과 복제, 교배, 돌연변이 등의 연산을 행한다.

적합도 함수는 절대 속도 오차에 시간의 곱한후 t초 시간으로 적분한 ITAE 값으로 평가함수를 선정한다.

$$ITAE = \int_0^t |e(t)| dt \quad (8)$$

임의의 20개의 초기 개체들을 선정 한 다음 이진수로 코딩하고 이진 돌연변이와 단순 교배로 연산한다.

2.2.2 유전자 알고리즘에 의한 PI 게인 동조

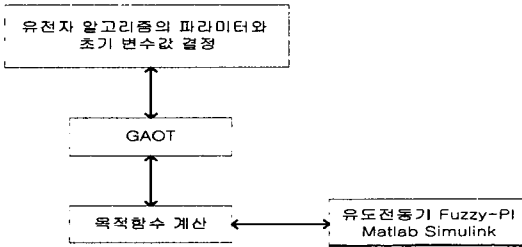


그림 1 GA를 이용한 PI 이득값 선정 블록도

Matlab Toolbox인 GAOT와 SIMULINK를 서로 연결시켜 최적화를 수행하기 위하여 GAOT를 사용하여 유전자 알고리즘의 파라미터와 초기 변수값을 결정하고 GAOT를 호출하여 최적화를 시작시킨다. 시뮬레이션한 후 ITAE값을 Matlab Workspace로 저장시킨후 목적함수를 계산하여 K_p , K_i 값을 결정한다. 다시 K_p , K_i 값을 GAOT로 호출한 후 다음 세대를 창출한 후 시뮬레이션을 실시한다. K_p , K_i 값의 초기 개체를 [1, 100], [10, 100] 안에서 랜덤하게 10개 개체수를 선정하고 세대수별, 돌연변이율별 특성을 통해 최적값을 선정한다.

세대수별로는 10, 20, 30, 50세대를 각각 목적함수 평균값을 나타내었다. 10세대별 목적함수 평균값이 수렴 속도가 양호함을 판단할 수 있었다.

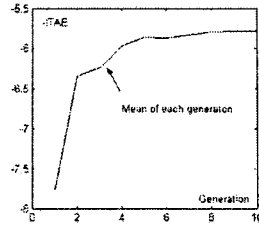


그림 2 10세대별 -ITAE 값

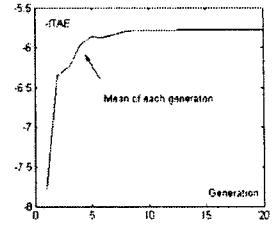


그림 3 20세대별 -ITAE 값

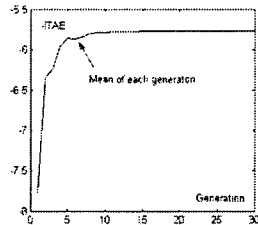


그림 4 30세대별 -ITAE 값

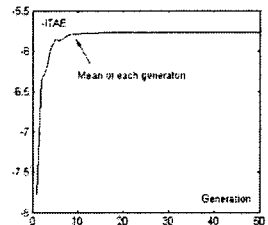


그림 5 50세대별 -ITAE 값

돌연변이율 변화율은 0%, 1%, 5% 10%로 주어 10세대별 목적함수의 평균값의 수렴 정도를 나타내었다. 돌연변이율 5%로 선정시 수렴성이 양호함을 알 수 있다.

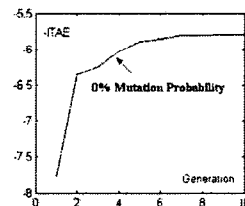


그림 6 0% 돌연변이율

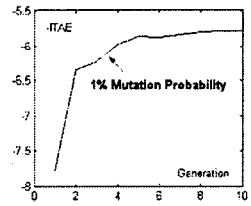


그림 7 1% 돌연변이율

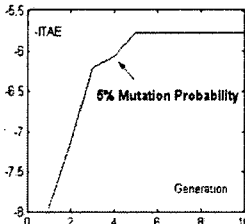


그림 8 5% 돌연변이율

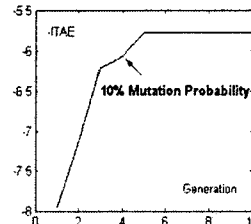


그림 9 10% 돌연변이율

2.3 시뮬레이션

그림 10은 공간벡터 PWM 방식에 의해 유도전동기의 간접 벡터 제어를 수행하는 블록도를 나타낸다. 속도제어기의 출력 I_{qe}^* 는 토크성분의 기준값이 되고 전류제어기의 출력은 인버터 전압의 기준값이 된다.

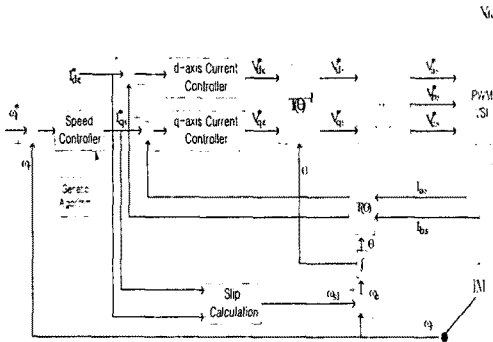


그림10 간접벡터제어 시뮬레이션 블록도

다음 표는 본 논문의 시뮬레이션을 사용된 유전 알고리즘에 관한 상수들을 나타내었다.

교배확률	돌연변이율	세대내 개체수	세대수
0.65	0.05	10 개	10 세대

표1 유전알고리즘의 파라미터

2.3.1 속도스텝 변화에 대한 시스템 응답특성 비교

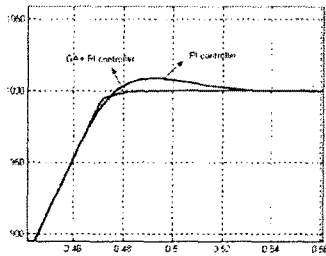


그림11 1000rpm에서의 속도응답

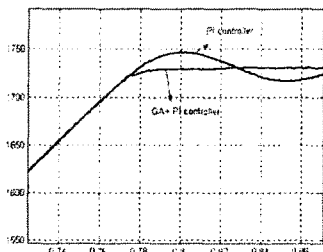


그림 12 1730rpm에서 속도응답

2.3.2 토크스텝 변화에 대한 시스템 응답특성 비교

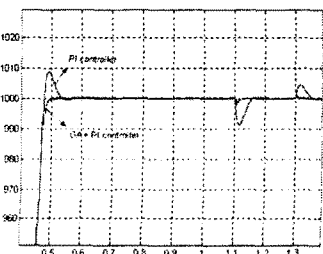


그림 13 1000rpm 부하시 속도응답

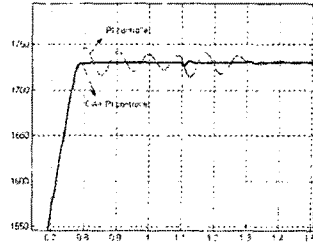


그림 14 1730rpm부하시 속도응답

3. 결 론

본 논문에서 구성한 유전자알고리즘으로 PI 제어기의 이득값을 동조하여 제어기의 성능평가를 비교하였다. 반포화 방식으로 PI 제어기를 구성하고 효율적으로 수행할 수 있도록 속도오차의 크기에 따라 P와 I의 이득값을 적절하게 조절해 주고 유전자 알고리즘을 합성하여 P와 I의 이득값을 재조정하여 기존의 PI 제어기보다 GA+PI 제어기가 오버슈트가 작아졌으며 더 빠른 시간에 정상상태에 도달하였다. 또한 유전자 알고리즘의 파라미터 값을 적절히 선정하여 제어기 특성에 따른 성능평가값을 선정하여 비교하여 GA+PI 제어기의 적합성을 증명하였다.

[참고문헌]

- [1] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drives", 1996
- [2] Vladimir B. Bajic, Alexander Rybalv, "Fuzzy Modifier of PID Control for Improvement of Tracking Properties in Servo Systems", Proc.International Conference on Intelligent Technologies, pp.111-113, 1996
- [3] 김용수, "Matlab 입문과 활용", 높이깊이, 2000.1
- [4] Goldber, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Welsley, 1989
- [5] Ion Boldea, S. A. Nasar, "Electric Drives," CRC Press, 1999