

수정된 마디해석법을 사용한 HVDC 시스템 시뮬레이션을 위한 Genetic 알고리즘에 의해 최적화된 PI 컨트롤러

PI controller for HVDC system simulation based on Modified nodal analysis method optimized by Genetic Algorithms

양정제, 강현성, 안태천, 박인규
Jeung-Je Yang, Hyun-Sung Kang, Tae-Chon Ahn, In-Gyu Park

Abstract - The recent improvement in the performance of digital processor, the application of control technology, which used in the HVDC(High Voltage Direct Current) system with the digital processors, has increased. Having this research development as the basis, this paper presents an achievement of progression by tuning the parameter of PI controller based on Genetic Algorithms(GAs) and by controlling with PI controller with a developed simulator by applying the Matrix operating function, voltage source switching element, modified nodal analysis which can include transformer and the backward Euler which does not create the problem of numerical oscillation. As a result, I expect this development in the simulator HVDC System to bring more application in the field of control technology research with an expanded practicality.

Key Words : HVDC System simulation, Modified nodal analysis method, Genetic Algorithms(GAs), PI controller

1. 서론

최근에 디지털 프로세서의 성능이 비약적으로 향상됨에 따라 HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템의 고급 지능 제어 기술의 적용이 연구되고 있다. 본 논문에서는 HVDC System의 지능형 제어 기술을 시험하고 검증하기 위해 개발한 HVDC System simulator의 비례(proportional)-적분(integral)제어의 Parameter를 Genetic Algorithms(GAs)를 사용하여 최적의 Parameter를 찾아 HVDC System의 성능 개선의 결과를 소개한다.

MATLAB은 제어공학 분야에서 널리 활용되고 있는 언어로서[1], 지능형 제어기의 개발을 용이하게 하기 위하여, 본 연구에서는 MATLAB의 프로그램 언어와 행렬 연산 기능을 활용하여 Simulator를 개발하였다. 회로의 수식화는 전압원 및 스위칭 소자, 변압기를 포함할 수 있는 수정된 마디 해석법(modified nodal analysis)을 사용하였고[2][3], 적분법은 Backward Euler 적분법을 사용하여 수치적 진동(numerical oscillation) 문제가 발생하지 않도록 하였다[4]-[6].

이 논문에서는 HVDC System의 주요 회로들을 시뮬레이션하여 회로 요소의 파형을 예시하였으며, PI 제어기의 Parameter값을 Genetic Algorithms(GAs)를 활용하여 전류 제어 및 rectifier의 점화각(firing angle)제어의 시뮬레이션 결과를 PI제어기와 비교하여 보여주었다.

2. 본론

2.1 HVDC System Simulation

그림 1.은 HVDC System의 Simulation Model로서 인버터 측을 직류 전압원으로 치환한 12-펄스 사이리스터 컨버터

회로이다. 그림 2.과 그림3.은 점화각 α 가 30° 로 일정하게 유지되었을 때의 결과이다.

HVDC System은 그림 4.에 나타낸 것과 같이, 기본적으로 입력 점화각 α 에 대해 직류 전압 v_{dc} 가 출력되는 제어시스템으로 볼 수 있다. 그림 5.는 α 의 정현파 변화에 따른 출력 전압을 나타내고 있다. 그림 7.은 dc-link 인덕터의 전류를 제어하기 위한 GAs 기반의 비례-적분 제어기 블록다이어그램이며, 기준 전류 i_{dref} 의 변동에 따른 GAs 기반의 비례-적분 제어기의 결과 파형을 그림 8.에 나타내었다.

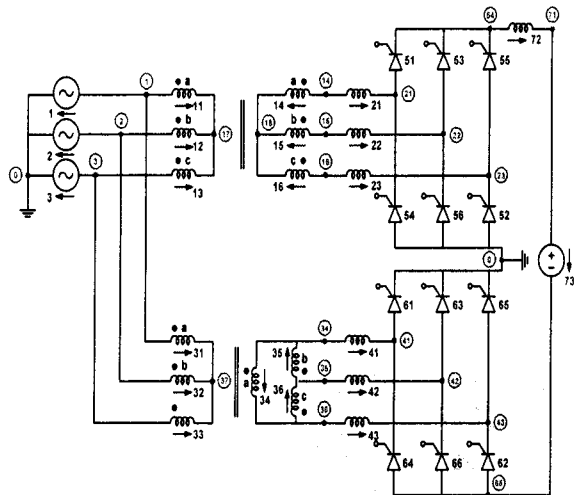


그림 1. HVDC System 회로도

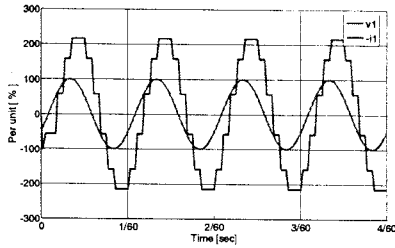


그림 2. 전원 전압 및 전류 ($\alpha=30^\circ$)

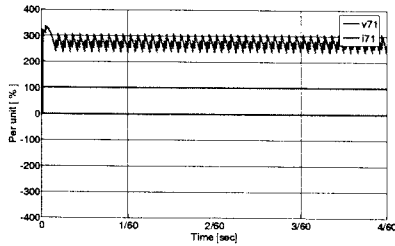


그림 3. 출력 전압 및 전류 ($\alpha=30^\circ$)

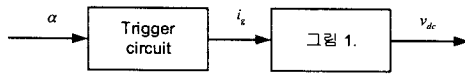


그림 4. 입력 점화각 α 에 대한 출력 전압

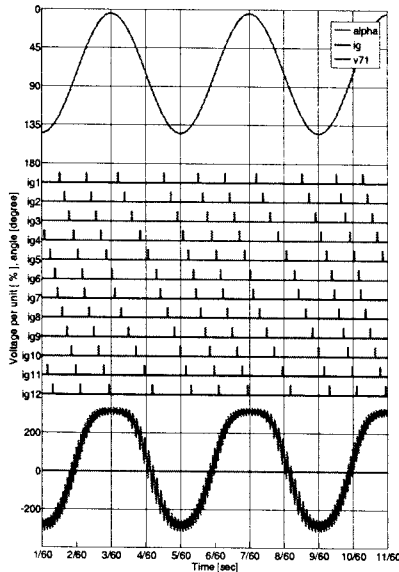


그림 5. α 의 정현과 변화에 따른 출력 전압의 변화

2.2 Genetic Algorithms 기반의 PI제어기

고정을 수행하기 전에 설정해 주어야 하는 종류의 제어 파라미터는 즉, 퍼지 환산계수, 퍼지 제어규칙의 멤버십 함수 파라미터 등이 있다. 이러한 인자들은 제어기의 성능에 민감하게 작용하기 때문에, 이 값들을 최적으로 설정해주는 것이

제어기의 성능을 향상시키는데 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 이들 제어 파라미터를 최적으로 설정하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다. 유전자 알고리즘은 자연 세계의 진화 과정(유전자적 특성, 적자생존)을 이용한 병렬탐색 알고리즘으로 모든 생물은 주어진 다양한 환경 속에 적응함으로써 살아남는다는 다윈의 적자생존의 원리를 이용한 것이다. 자연계의 모든 생물은 유전자인 염색체에 의하여 생식과 유전 등 진화과정을 반복·발전해 가는데, 유전 알고리즘은 생물학적 염색체에 해당하는 스트링을 가지고 생물과 같은 유전 연산자인 재생산, 교배, 돌연변이를 거쳐서 다음 세대의 자손을 인공적으로 만들어 낸다. 그 흐름도는 그림 6에 나타내었다.

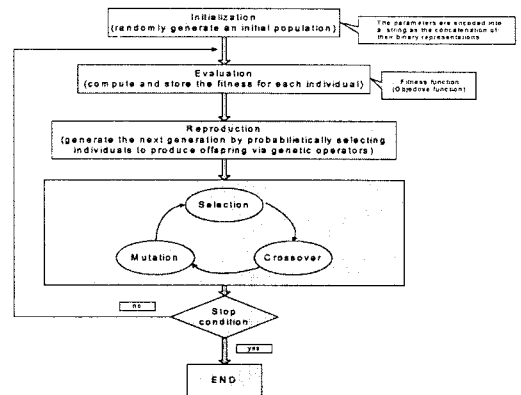


그림 6. 유전자 알고리즘 흐름도

유전 알고리즘은 파라미터 자체가 아닌 파라미터 집합을 코딩하고, 탐색공간에서 단일 해가 아닌 해집합을 사용한다. 또한 확률적인 규칙을 사용하기 때문에 최적화 문제에서 견실한 전역적 최적의 해를 구할 수 있다. 또한 미분가능성, 연속성 등과 같은 최적화 함수의 정보를 필요로 하지 않고 단지 적합함수 값만을 사용한다.

적합함수로는 IAB를 사용하였고 아래 식(1)과 같다.

$$J = \int_0^t |e(\tau)| d\tau \quad (1)$$

※ $e(\tau) = \text{reference} - \text{output}$

유전자 알고리즘에서 사용하는 수는 기본적인 형태로 실수를 사용하지만 내부적으로는 이진 스트링을 사용하게 되며, 이진 스트링으로 표현된 변수를 실수 형태로 디코딩하여 사용한다. 변환된 각 비트는 염색체처럼 취급되고, 염색체가 모여 유전자를 이루며 이를 개체라 한다. 동시에 여러 점을 탐색하기 위해 여러 개의 개체를 동시에 사용하는데 이를 군집이라 한다. 개체에 존재하는 염색체의 수와 군집의 크기는 필요한 정밀도만큼 선정하면 된다. 유전자 알고리즘은 이렇

게 생성된 개체들을 모아 하나의 집단을 구성하여 진화를 시킴으로서 최적의 해를 구한다. [7][8][9].

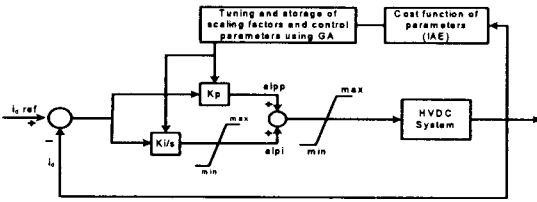


그림 7. 유전자 기반의 PI제어기 블록다이어그램

3. 시뮬레이션 결과 및 결론

3.1 시뮬레이션 결과

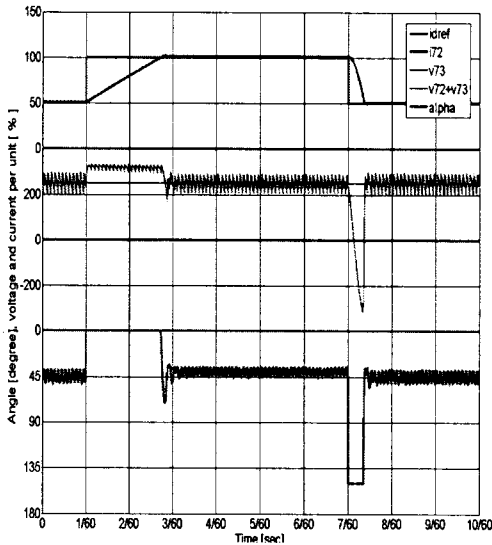


그림 8. 유전자 기반 PI 시뮬레이션 결과 파형

그림 8.은 Idref는 $6000 \times 0.25[\text{sec}]/15000[\text{sample}]$ 부터 100[pu]로, $12000 \times 0.25[\text{sec}]/15000[\text{sample}]$ 부터 50[pu]로 설정했을 때, 그림 1.의 72번의 인덕터에 흐르는 전류, Inverter와 Load를 전압원으로 모의한 73번 전압원, 인덕터의 전압과 PI Based on GAs 제어기의 출력 α 값을 보여준다.

3.2 결론

표 1. 유전자 알고리즘 기반의 PI 결과

	PI Based on GAs
$J = \int_0^t e(\tau) d\tau$	$J = 1.1214$
Rising Time	$1216 \times \Delta t$
Overshoot	1.9533%
Undershoot	1.3016%

note : $\Delta t = 0.25[\text{sec}]/15000[\text{sample}]$

IAE값(J)은 1.1214로 나왔으며, Rising Time은 $1216 \times \Delta t$ 이다. Overshoot와 Undershoot값은 각각 1.9533%와 1.3016%가 나왔다. 기존의 특정 방정식을 사용한 PI제어기의 결과값과 비교하면, IAE(J)값은 0.0109만큼 적은 결과를 얻게 되었고 Rising Time은 $187 \times \Delta t$ 만큼 빠른 결과를 얻었다. Overshoot, Undershoot는 1.7797%, 20.3594%의 적은 결과를 얻게 되었다.

이와 같이 GAs를 이용하여 MATLAB Program을 사용한 컴퓨터 시뮬레이션의 Parameter 값을 최적화 시킬수 있었고, 실제 HVDC System에 적용하여 보다 나은 제어 기술에 도움이 될것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Jean Mahseredjian and Fernando Alvarado, "Creating an Electro-magnetic Transients Program in MATLAB: MatEMTP", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, No.1 pp. 380-388, 1997.
- [2] Chung-wen Ho, Albert E. Ruehli, and Pierce A. Brennan, "The Modified Nodal Approach to Network Analysis", IEEE Trans. on Circuit and Systems, vol. CAS-22, No. 6, pp. 504-509, Jun 1975
- [3] L. M. Wedepohl and L. Jackson, "Modified nodal analysis: an essential addition to electrical circuit theory and an analysis", ENGINEERING SCIENCE AND EDUCATION JOURNAL, pp. 84-92, Jun 2002.
- [4] Kai Strunz, "Flexible Numerical Integration for Efficient Representation of Switching in Real Time Electromagnetic Transients Simulation", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 19, No. 4, pp. 1276-1283, 2004.
- [5] Mustafa Celik and Lawrence T. Pileggi, "Simulation of Lossy Multiconductor Transmission Lines Using Backward Euler Integration", IEEE Trans. on Circuits And Systems-I: Fundamental Theory and Applications, vol. 45, No. 3, pp. 238-243, Mar 1998.
- [6] Cheng-Tsung Liu and Wen-Lin Chang, "Synchronized Solution for Power Electronics System Equations Using Flexible MODELS Component Connected to the EMTP", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 11, No. 4, pp. 1868-1873, Oct 1996.
- [7] Zbigniew Michalewicz, "Genetic algorithms + Data Structures = Evolution programs." Springer verlag, 1992.
- [8] Goldberg 1989. D.E. Goldberg, "Genetic algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning." Addison-Weatley, 1989.
- [9] Koza 1992. J.R. Koza, "Genetic Programming : On the Programming of Computers by means of Natural Selection." MIT Press, 1992.