

GUI를 이용한 교육 / 훈련용 디지털 계전기 시뮬레이터의 개발

김동수, 김인수, 여상민, 김철환, 김응모, 이철기
성균관대학교

The Development of the Digital Relay Simulator for Education and Training using GUI

D.S. Kim, I.S. Kim, S.M. Yeo, C.H. Kim, U.M. Kim, C.G. Lee
Sungkyunkwan University

Abstract - 기존의 디지털 계전기 교육/훈련 방법은 적절한 교육용 소프트웨어 및 기기의 부재로 인해 교육을 받는 훈련생들을 단시간 내에 이해시키는데 어려움이 있었다. 본 연구의 목적은 GUI 환경에서 다양한 모의 고장 발생, 모의 고장 시나리오의 입력, 편집, 수정, 삭제가 가능하고 디지털 계전기의 교육/훈련 기능과 함께 훈련 결과의 평가와 훈련일지의 작성 기능을 포함하는 디지털 계전기 시뮬레이터의 개발이다. 본 논문에서는 고장종류, 고장발생각, 고장거리, 데이터의 샘플수에 따라 EMTP를 이용하여 모의한 후, 디지털 신호 처리를 이용하여 직류 성분과 고조파 성분을 제거하고, 기본파 성분을 추출한다. 그리고, 추출된 데이터를 사용하여 임피던스 계적을 도출하고, 그 결과를 사용자에게 보여주도록 하였다. 특히, GUI 환경으로 구성하여 알고리즘의 수행과정을 보다 쉽게 이해하고, 사용할 수 있도록 함으로써, 교육/훈련의 효과가 극대화되도록 하였다.

다. 따라서, 본 연구에서는 텍스트보다는 그래픽을 통해 사용자와 컴퓨터간 인터페이스를 구현하여 단시간 내에 훈련생들을 교육/훈련시키고 동시에 평가와 제조사별 제품에 대한 훈련을 통해 더욱 실무적인 훈련이 가능하도록 하고자 한다.

2. GUI(Graphic User Interface)

GUI는 순전한 텍스트보다는 그래픽을 사용해 사용자와 컴퓨터간 인터페이스를 구현하는 것이다. 이를 통하여 사용자가 보다 쉽게 프로그램을 사용할 수 있도록 한다. 다음 그림 1은 기존의 TUI(Text User Interface)와 GUI(Graphic User Interface)를 도시하여 본 것이다.

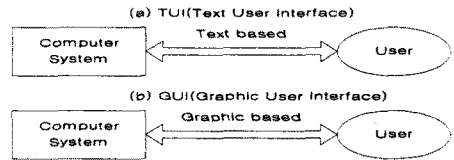


그림 1. GUI와 TUI의 비교

1. 서 론

보호계전기(Protective Relay)는 전기적 사고의 제거와 사고의 영향을 경감시켜 전력계통의 안정성을 도모하는 것이며, 전력계통의 확대와 서비스 요청의 고도화 등 환경 변화에 따라 변천되어 왔다. 즉, 보호계전기의 역할은 초기에는 전력계통에 발생하는 사고와 제거에 국한되었지만 최근에는 대정전을 방지한다는 관점에서 탈조, 주파수 저하 등의 방지 역할도 하게 되었다[1].

송전선로에 고장이 발생할 경우 고장구간을 정확히 추정하여 빠른 시간 내에 차단할 수 있어야 하며, 이는 신뢰성의 향상이라는 측면에서 볼 때 상당히 중요한 부분을 차지한다. 이와 같은 이유로 송전선로의 고장구간을 추정, 차단하기 위한 여러 가지 계전법이 개발되어 왔으며 이를 구현하기 위한 보호계전 알고리즘 또한 계속적으로 발전해왔다[2]. 이 중, 거리계전방식은 고속도 동작이 가능하고 또 계통전원용량의 변동에 따른 영향이 적어서 적용이 용이하므로, 중요 송전선 보호에 쓰이는 방식이다. 고장 거리를 측정하는 방법으로는 고장 발생시 발생하는 전행파를 이용하거나, 선로 양단의 전압, 전류를 이용하여 고장 발생 지점까지의 임피던스를 계산하고 고장점을 추정하는 거리계전 방식이 주로 이용되고 있다.

이러한 보호계전 알고리즘들은 실제계에 적용되기 전에 그 성능을 검증하거나 개선하기 위해 시뮬레이션 과정을 거쳐야 한다. 시뮬레이션 방법 중 널리 이용되는 컴퓨터를 이용한 방법은 일반적으로 EMTP를 통해 고장 데이터를 얻은 후 다시 이 데이터를 적절히 처리하여 고급언어로 구현된 계전 알고리즘에 적용시켜 최종의 결과를 얻는 것이다[3].

또한, 계전기의 사용법을 습득하기 위해 사용했던 기존의 시뮬레이터는 컴퓨터와 사용자간의 인터페이스가 텍스트와 키보드 중심이며, 사용자가 암기해야 하는 명령어들로 구성되어 있어, 훈련생들에게 교육/훈련을 시키기 위해서는 단시간에 교육시키는데는 어려움이 있었

다. GUI의 요소들은 윈도우, 풀다운 메뉴, 단추들, 스크롤바, 아이콘 이미지, 워저드, 마우스 같은 것들을 포함하며, 아직 발명되지 않은 많은 것들까지도 포함한다. 현재 GUI의 일부로서 멀티미디어의 사용이 증가함에 따라, 많은 응용프로그램에서 소리, 동영상 및 가상현실 인터페이스 등도 GUI의 일부가 될 것이다.

3. 전처리 과정과 기본파 추출 알고리즘 (3-4)

거리계전방식은 CT, PT를 통한 순시의 전압, 전류를 이용해서 임피던스를 구해내고 이의 수평 여부를 판정하여 이에 따르는 가공선로 상의 고장점까지의 거리를 추정하고, 정해진 영역에 따라 차단기를 제어하는 방법이다. 거리계전에서 일반적으로 사용되는 사고시 과도 상태의 전압, 전류 파형은 고조파성분과 직류성분(DC-offset)을 포함하는 왜곡된 신호로 이루어져 있어, 기본파 성분을 이용한 알고리즘에서는 정확한 거리계전을 수행하는데 어려움이 있다. 따라서 이들 왜곡된 신호로부터 전압, 전류의 기본파 성분을 추출하기 위해 다음과 같은 디지털 신호 처리 기법에 의한 디지털 필터링 기법을 사용한다.

3.1 Anti-aliasing 저역통과필터

전력시스템으로부터 얻어진 전압, 전류가 디지털화 될 때 발생할 수 있는, aliasing에 의한 에러를 방지하고 10차 고조파 이상의 고주파 성분을 제거하기 위해 본 논문에서는 2차의 Butterworth 저역통과필터를 사용하였고,

전달함수와 각 필터 계수는 다음과 같다.

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}{1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2}} \quad (1)$$

여기서, a_0 는 0.0243, a_1 는 0.0486, a_2 는 0.0243, b_1 는 -1.5134, b_2 는 0.6105이다.

다음 그림 2는 위와 같은 Anti-aliasing 저역 통과 필터를 사용한 예로서, 고주파 성분이 제거되었음을 알 수 있다.

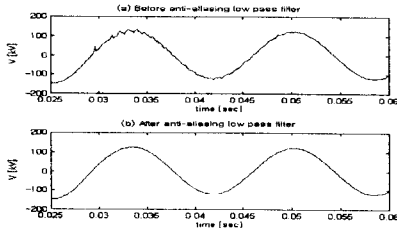


그림 2. Anti-aliasing 저역 통과 필터 모의 결과

3.2 DC-offset 제거 필터

계통 사고시 발생하는 고조파는 Anti-aliasing 저역 통과 필터로 제거가 가능하지만, DC 성분은 제거되지 않은 채 신호에 포함되어 있다. 기본파를 이용하는 거리 계전 알고리즘에서는 이 직류성분을 제거하지 않으면 정확한 기본파를 구할 수 없으므로, 피할 수 없는 어려가 발생하게 된다.

만약, DC-offset 성분을 지수적으로 표현해 보면, 다음 식 (2)와 같으며, 식 (3)에 의해 DC-offset 성분이 제거될 수 있다.

$$x_k = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) + Ae^{-\frac{k\Delta}{\tau}} \quad (2)$$

여기서, Δ 는 샘플링 간격, τ 는 시정수, N 은 주기 당 샘플수이다.

$$y_k = x_k - \frac{x_{k-1}}{e^{\frac{\Delta}{\tau}}} \quad (3)$$

여기서, Δ 는 샘플링 간격, τ 는 시정수이다.

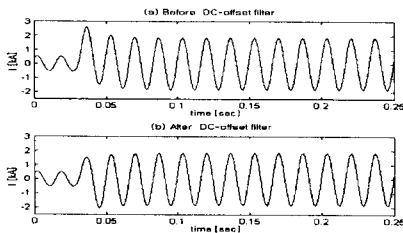


그림 3. DC-offset 제거 필터의 모의 결과

위의 그림 3은 1선지락 A상 고장이 발생한 경우의 사고상 전류 파형으로, 그림과 같이 직류 성분이 제거된 것을 볼 수 있다. 이 필터에서 사용되는 시정수는 시스

템 구성에 따라 달라지며, 통상적으로 154kV 시스템에서는 6.2~20.5ms로 선정하며, 본 논문에서는 12.3ms로 선정하였다.

3.3 기본파 추출을 위한 디지털 필터

거리계전에서 사용되는 많은 알고리즘들은 샘플들로부터 얻어진 전압과 전류의 기본 주파수 성분을 추출하여 그의 비(ratio)를 정하여 고장점까지 임피던스를 구한다. 이렇게 정해진 임피던스를 사용하여 거리를 추정한다. 지금까지 연구되어온 대표적인 기본파 추출 방법은, 푸리에 변환, 윌쉬함수, Haar변환, 블럭펄스 함수 등의 직교 함수를 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 FCDFT(Full Cycle Discrete Fourier Transform), HCDFT(Half Cycle Discrete Fourier Transform), Blockpulse 함수를 사용하여 기본파 추출을 하고자 한다. 과도상태 신호의 파형을 주기당 N번 샘플링하여 얻은 신호를 $x(k)$ 라고 할 때, 이산 푸리에 변환을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) W_N^{nk} \quad (n = 0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (4)$$

여기서, W_N^{nk} 은 $e^{-j(2\frac{\pi}{N})}$ 이다.

4. 시뮬레이터의 구성

4.1 고장 모의와 임피던스 계산

시뮬레이션에 사용된 모델 계통은 154kV의 전원에 160km의 공장을 가지는 선로이며, 다음 그림 4에서 모델 계통을 표시하였다.

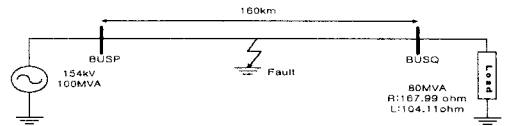


그림 4. 모의에 사용된 계통도

그림 4의 계통에 대한 선로와 전원 에 대한 데이터는 다음 표 1과 같다.

표 1. 선로 및 전원 데이터

선로정수	영상분	정상분	역상분	
	R(Ω /km)	0.3434	0.1342	0.1342
	L(Ω /km)	1.3158	0.4765	0.4765
	C(μ F/km)	0.0052	0.0090	0.0090
전원 데이터	전원용량	100MVA		
	역률(p.f)	0.85		
	차과도 리액턴스	7.71%		
부하용량	80MVA			

다음 표 2는 시뮬레이터에서 사용될 각 고장종류에 따른 고장거리, 고장발생각과 샘플수를 정리한 것이다.

표 2. 모의 고장 형태 및 고장 조건

고장종류	A상 1선지락, A-B상 선간단락, B-C상 2선지락
고장거리	10, 20, ..., 90 (%)
고장발생각	0°, 90°
Sample수	128, 64, 32, 16

아래 그림 5는 고장발생각 0° , 고장거리 60% (96km)에서 A상 1선 지락 고장을 EMT프로 모의한 후, 데이터를 추출하여 도시한 것으로 전처리 과정, 즉 저역 통과 필터와 DC-offset 필터를 통과한 후의 3상 전압, 3상 전류의 파형이다.

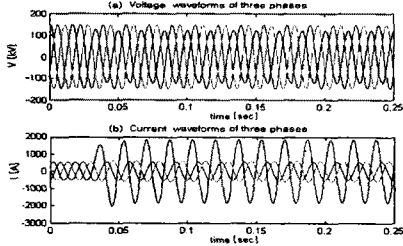


그림 5. 전처리 과정을 거친 A상 지락사고의 3상 전압, 전류의 파형

다음 그림 6은 그림 5와 같이 얻어진 filtering된 데이터를 FCDFT를 이용하여 기본파 성분을 추출한 후 저항과 리액턴스 값을 계산하고, 그의 수렴 특성을 나타내었다.

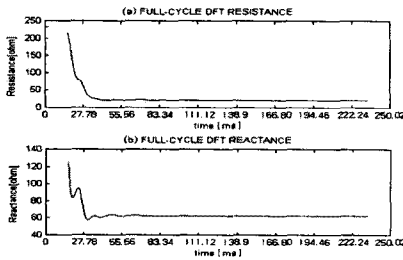


그림 6. 저항 성분과 리액턴스 성분의 수렴 특성

그림 7은 그림 6에서 나타난 저항과 리액턴스의 수렴 특성을 R-X 궤적의 형태로 나타낸 그림이다. 그림 좌측 하단에서 임피던스 값이 수렴함을 볼 수가 있다.

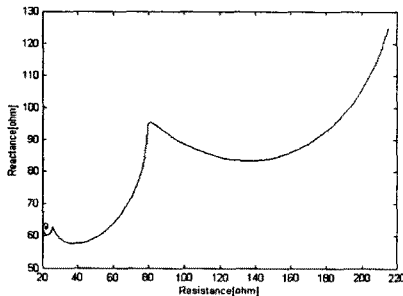


그림 7. 임피던스 궤적

4.2 시뮬레이터의 구성

본 논문에서는 위와 같은 임피던스를 이용한 거리계전 알고리즘을 구현하고, GUI를 이용하여, 교육/훈련용 디지털 계전기 시뮬레이터를 구현하고자 한다. 본 논문에서 구성한 시뮬레이터의 메뉴 구성은 그림 8과 같으며, 다양한 고장 유형에 따른 고장 모의 수행 결과와 임피던스 궤적, 거리 추정 알고리즘을 보여주도록 구성하였다. 또한 다음 그림 8에서 보는 바와 같이 각각 메뉴를 클

릭하면 그 하위의 서브 메뉴가 나타나 다양한 결과를 확인할 수 있다.

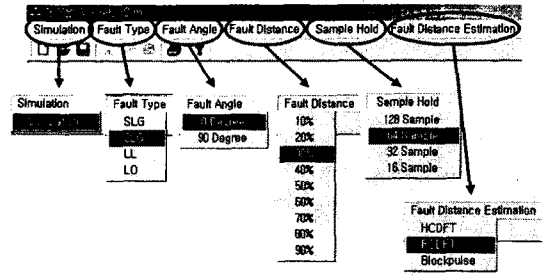


그림 8. 시뮬레이터의 메뉴 구성

5. 결 론

본 논문에서는 디지털 거리계전 알고리즘을 이용하여, 실제 계전기가 동작하는 과정 및 동작 형태를 GUI를 통해 사용자에게 보여주는 시뮬레이터를 제작하고자 한다. GUI를 이용한 시뮬레이터는 그래픽을 통해 결과를 보여 주기 때문에 다양한 상황에 대해 모의를 손쉽게 할 수 있고, 알고리즘의 수행과정을 손쉽게 이해할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 거리계전 알고리즘을 위한 전처리 과정을 알아보고, 임피던스 궤적을 도시하였다. 또한, 교육/훈련용 시뮬레이터를 위한 여러 메뉴를 구성하였다. 앞으로 본 연구에서는 훈련생들을 교육/훈련을 시킬과 동시에 평가가 가능하고, 제조사별 제품에 대한 훈련 기능을 추가하여 각 제조사별 계전기 특성의 비교를 통해 더욱 실무적인 훈련이 가능하도록 구현할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2000-2-30200-003-3) 지원으로 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 신대승, "보호계전 시스템 기술", 도서출판 技多利, 1993.
- [2] Arun G. Phadke, James S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", Johns Wiley & Sons inc., pp. 112-162, 1992.
- [3] 이명희, "EMTP-MODELS를 이용한 디지털 거리계전기법의 구현에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 1996. 2.
- [4] 김병천, "Matlab을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 2000. 2.
- [5] 김철환, "MODELS를 사용한 EMTF의 효율적 이용", 전기설비, Vol. 12, No. 2, pp. 22-30, 1995.
- [6] M.B. Djuric, Z.M. Radojevic, and V.V. Terzija, "Digital signal processing algorithm for arcing faults detection and fault distance calculation on transmission lines", Electric machines and power systems, Vol. 19, No. 3, pp. 165-170, 1997.
- [7] J.G. Waight, K. Nodehi, E.J. Dobrowolski, "Capabilities of an operator training simulator to support restoration training", IEEE Committee Report, Bulk Power System Restoration Training Techniques, T-PWRS, February 1993.
- [8] 이철기, "실시간 모의제어시스템 (Simulator) 국산화 개발-발전소 운전원 훈련용을 중심으로", 정보과학회지, 제13권 제4호, pp. 76-80, 1995.
- [9] 이형민, 김응모, 윤종필, "능동객체지향 데이터베이스에서의 일관성 관리에 관한 연구", 정보처리학회논문지, 제5권, 2호, pp. 270-288, 1997.