

실시간 디지털 시뮬레이터를 이용한 거리 계전 알고리즘 구현 및 검증

이주훈*, 이진*, 윤용범**, 차승태**

*LG산전, **한전 전력 연구원

Implementation and Verification of Distance Relaying Algorithm using RTDS

J.H. Lee*, Jin Lee*, Y.B. Yoon**, S.T. Cha**

LG Industrial Systems co., Ltd. **Korea Elec. Power Research Ins.

Abstract - This paper discusses how to implement and verify a software relaying model which is added to RTDS model library and is then subjected to the same outputs as the actual relay.

1. 서 론

최근에 들어서 전력계통 모의 시에 보호 시스템의 응용을 고려한 계통 모의가 요구되고 있다. 그 이유는 과도응답의 경우에는 보호 시스템의 응용에 따라서 많은 영향을 받게 되고, 디지털 방식의 고속 계전기들이 널리 사용되면서 과도상태시의 과도응답에 대한 중요성이 증대되고 있기 때문이다. 이와 같은 요구에 의하여 계통 해석용으로 개발되어 있는 PSS/E, EUROSTAG 그리고 EMTDC 등과 같은 전력계통 해석용 프로그램에서도 보호 시스템의 응용을 고려한 전력계통 모의가 가능하도록 소프트웨어(Software)적으로 보호 계전 모델들을 개발하여 포함하고 있으나 널리 사용되고 있지는 않은 형편이고 RTDS의 경우에는 라이브러리(Library) 포함된 보호 계전 모델은 없으며, 사용자(User)들에 의해서 차츰 개발되고 있다. 전자기 과도이론을 이용하는 해석용 프로그램인 EMTDC(Electromagnetic Transient Simulation Programs)와 RTDS(Real Time Digital Simulator)의 경우에는 전력계통 모의뿐만 아니라 실제 계전기를 시험하는 목적으로도 비교적 많이 사용되고 있는데, 그 이유는 계전기의 시험 목적에 맞는 입력신호를 전자기 과도 해석용 프로그램을 이용하여 생성함으로써 보다 시험 목적에 맞는 시험을 할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 그러나 EMTDC와 같은 비실시간 전력계통 해석용 프로그램을 이용하여 시험용 데이터를 생성하고, 이 데이터를 계전기 시험에 이용하고자 하는 경우에는 생성된 데이터가 곧바로 계전기에 입력되지 못하고 파일형태로 저장되었다가 재생장치(playback)를 통하여 계전기에 입력하는 오프라인(off-line) 방식으로 사용되어지므로 하나의 계전기를 시험하는 방법으로써는 만족스럽지만, 다른 계전기의 응용을 고려하여야 하는 경우와 같이 피드백(feedback) 신호가 요구되는 경우에는 시험이 불가능하다는 단점이 있다. 실시간 전력계통 해석용 시뮬레이터인 RTDS를 이용하게 되는 경우에는 피드백(feedback) 신호를 실시간으로 모의 계통내의 차단기나 다른 계전기에 입력할 수 있다는 장점 때문에 최근에 실시간 전력계통 시뮬레이터인 RTDS를 계전기 시험에 이용하는 경우가 늘고 있다.

본 논문에서는 실시간 전력계통 해석용 시뮬레이터인 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용하여 실제 보호 계전기와 같이 사용되거나 실제 보호 계전기가 없는 경우에 보호 시스템의 응용을 고려한 전력계통 모의가 가능하도록 소프트웨어(Software)적으로 거리 계전 모델을 구현하고 검증한 결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

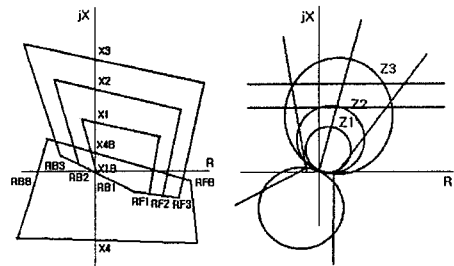
2.1 모델 개발

일반적으로 보호 계전기의 종류는 다양하지만 그 동작 원리, 동작특성 및 용도 면으로 분류하는 것이 가능한데 먼저 동작원리상으로 크게 분류하면 EM형(Electromechanical) 계전기, 정지형(Static) 계전기, 디지털형 계전기로 나눌 수 있다. 그러나 RTDS용으로 개발되는 거리계전 모델의 대상을 디지털형 계전기만으로 제한하였다. 그 이유는 현재 보호 시스템이 점차 디지털형 계전기로 교체되고 있는 추세이고 EM형 계전기나 정지형 계전기의 경우에는 비선형적 특성과 데이터 취득의 어려움으로 인해서 개발이 거의 불가능하다.

2.1.1 모델의 선정

거리 계전기의 기본적인 동작특성은 임피던스 특성, 리액턴스 특성, 모 특성으로 나눌 수 있지만, 최근의 디지털 계전기가 도입되면서 복합적인 특성을 실현하기에 용이한 다양한 형태의 특성들이 사용되고 있다. 그 중에서 가장 많이 사용되는 것이 사변형 특성과 모(Mho) 특성이다. 모(Mho) 특성을 가지는 거리 계전기인 DLP와 M-DAR 등의 동작특성을 살펴보고 사변형 특성을 가지는 거리 계전기인 MDT-A2, MDT-F 그리고 MXLIE 등의 동작특성을 살펴본 결과, 각 보호 계전기의 동작특성은 서로 모(Mho)형은 모(Mho)형끼리, 사변형은 사변형끼리 서로 유사성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 RTDS용으로 개발되는 거리 계전 모델은 임의의 실제 보호 계전기를 개발 대상으로 하지 않고 적절한 파라미터를 입력하여 각각의 특성을 표현할 수 있도록 모델링하였다.

다음의 그림 1은 개발하고자 하는 거리 계전 모델의 모(Mho)형과 사변형의 동작특성이다.



(a) 사변형 동작특성 (b) 모(mho)형 동작특성
그림 1. 개발 거리 계전 모델의 동작특성

2.1.2 모델의 개발절차

모델의 개발절차는 다음과 같다.

- ① 모델의 동작 특성 파악
- ② 모델의 입·출력 파악
- ③ 내부 변수 및 변수의 단위 파악
- ④ 블록 다이어그램 작성
- ⑤ RTDS 컨트롤스 컴포넌트(controls compiler)로 구성
- ⑥ 사용자 정의 모델(UDC : User Defined Component)로 구성

위의 ①의 모델의 동작 특성은 앞에서 살펴본 바와 같이 모(Mho)형과 사변형으로 크게 나누었고, ⑤의 RTDS 컨트롤스 컴포넌트로 구성은 제어 시스템을 간단하게 구현할 수 있도록 제공되는 RTDS의 기본 제어 블록들을 이용하여 ④에서 작성한 블록 다이어그램을 나타내는 것으로 반드시 필요한 작업은 아니지만, ⑥에서 사용자 정의 모델로 구현할 때 도움이 된다.

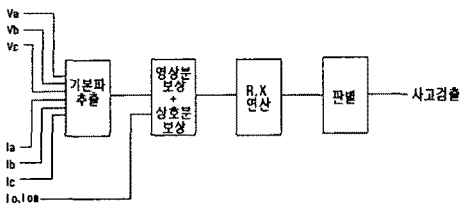


그림 2. 거리 계전 모델의 블록 다이어그램

거리 계전 모델은 보호 지점의 전압과 전류를 가지고 DFT를 수행하여 전압과 전류의 페이서(phasor)를 추출하고, 이것을 이용하여 임피던스의 페이서(phasor)를 구한다. 사고의 검출은 이 페이서 값이 동작 Zone 내로 들어 오는지 여부에 따라서 결정된다. 여기서 영상분 보상은 지락사고 시에만 적용한다. 다음은 그림 2의 블록 다이어그램을 RTDS의 컨트롤스 컴파일러 컴포넌트를 이용하여 나타낸 것이다.

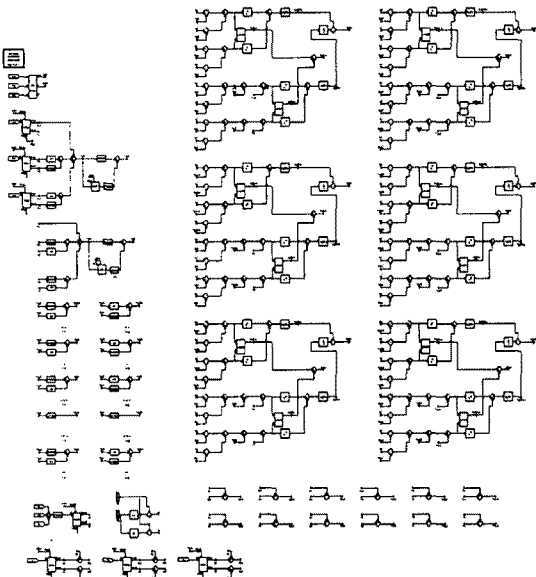


그림 3. 거리 계전 모델 - CC급

위의 그림 3에서 보는 컨트롤스 컴파일러 컴포넌트를 이용하여 모델을 구현하는 경우에는 위의 그림에서 보는 바와 같이 복잡한 구성을 가지게 되어서 사용자 편리하지 않으므로, ⑥의 사용자 정

의 모델로 변환하여 사용자의 편의성을 높였다.

(a) 아이콘 (b) 파라미터 입력창
그림 4. 임피던스 계산 모델

(a) 아이콘 (b) 파라미터 입력창
그림 5. 모(mho)형 거리 계전 모델

(a) 아이콘 (b) 파라미터 입력창
그림 6. 사변형 거리 계전 모델

위의 파라미터 입력창에 입력되는 데이터는 동작영역을 설정하는데 필요한 데이터로서 자기구간 선로 임피던스, 다음 최단선로 및 최장선로 임피던스, 부하 임피던스, 영상분 임피던스와 직상분 임피던스의 비, 선로저항, 선로임피던스 각, 선로허용 전류 등의 데이터를 이용하여 정정률을 통하여 결정된다.

2.1.3 임피던스 연산

거리 계전 모델의 임피던스 계산은 단락 임피던스 계산과 지락 임피던스 계산으로 나누어지며 다음과 같다.

① 단락 임피던스 계산

$$Vabr = Var - Vbr \quad (1)$$

$$Vabi = Vai - Vbi \quad (2)$$

$$Iabr = Iar - Ibr \quad (3)$$

$$Iabi = Iai - Ibi \quad (4)$$

$$Dab = Iabr^2 + Iabi^2 \quad (5)$$

$$Rab = \frac{Vabr \cdot Iabr + Vabi \cdot Iabi}{Dab} \quad (6)$$

$$Xab = \frac{Vabi \cdot Iabr - Vabr \cdot Iabi}{Dab} \quad (7)$$

Rbc, Xbc, Rca, Xbc 도 위와 동일하게 계산한다.

② 지락 임피던스 계산

$$Ior = Iar + Ibr + Icr \quad (8)$$

$$Ioi = Iai + Ibi + Ici \quad (9)$$

$$Iar' = Iar + Kr' \cdot Ior + Km' \cdot Iomr \quad (10)$$

$$Iai' = Iai + Kr' \cdot Ioi + Km' \cdot Iomi \quad (11)$$

$$Da = Iar'^2 + Iai'^2 \quad (12)$$

$$Ra = \frac{Var \cdot Iar' + Vai \cdot Iai'}{Da} \quad (13)$$

$$Xa = \frac{Vai \cdot Iar' - Var \cdot Iai'}{Da} \quad (14)$$

여기서,

$$Kr' = \frac{K_r}{3} : \text{영상분 보상계수}$$

$$Km' = \frac{K_m}{3} : \text{상호 임피던스분 보상계수}$$

Rb, Xb, Rc, Xc 도 위와 동일하게 계산한다.

2.2 모델 시험 및 검증

다음은 개발 모델의 성능을 확인하기 위한 시험에 관련된 내용이다.

2.2.1 시험 방법

모델 시험은 임피던스 연산의 정확성과 Zone 판별의 정확성으로 나눌 수 있으며, 임피던스 연산의 경우에는 단락사고 시의 임피던스의 정확성, 지락사고 시에는 영상분 보상과 2회선 계통의 경우에 인접선로에 의한 상호 임피던스분에 대한 보상이 잘 이루어지고 있는지를 확인한다. Zone 판별의 정확성은 임의의 정정 파라미터를 입력하고 R과 X값을 변동하면서 Zone 판별을 확인한다. 특히 Zone의 경계점 부근에서 정확하게 판별하고 있는지를 확인한다.

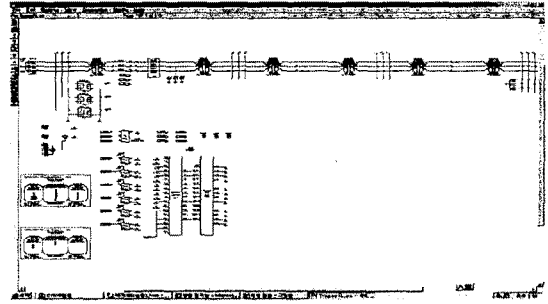


그림 7. 1회선 모의 계통

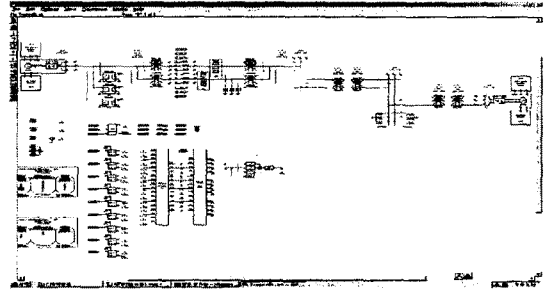


그림 8. 2회선 모의 계통

2.2.2 시험 결과

위에서 시험한 모의 결과는 다음과 같다.

표 1. 모의 결과

사고지점 \ 오차	1회선 계통		2회선 계통	
	단락	지락	단락	지락
50 (%)	0.5(%)	1.6(%)	0.3(%)	0.9(%)
75 (%)	0.3(%)	1.0(%)	0.0(%)	0.6(%)
90 (%)	0.3(%)	0.8(%)	0.3(%)	0.5(%)
150 (%)	0.8(%)	0.8(%)	0.0(%)	1.5(%)
170 (%)	0.5(%)	1.3(%)	0.1(%)	1.8(%)
250 (%)	0.8(%)	1.8(%)	0.0(%)	1.8(%)
270 (%)	0.8(%)	1.7(%)	0.0(%)	1.8(%)

여기서, 0.0(%)오차는 10e-1(%)이하의 오차를 의미한다.

3. 결 론

모의 결과를 살펴보면 임피던스 연산의 정확도는 최대 오차가 1.8 [%] 정도이고 지락사고 시보다는 단락사고 시에 임피던스 연산이 더 정확할데, 이것은 영상분 보상과 상호 임피던스분 보상 과정에서 생기는 오차에 의한 것이다. 또한 Zone 판별 오차는 10e-2 (%)이하의 오차를 보였다. 최소 동작 시간으로 5.0e-5[msec] 정도이다.

[참 고 문 헌]

- [1] P.G. McLaren, "Using a Real Time Digital Simulator to develop an accurate model of a Digital Relay", ICDS-95, April 1995
- [2] "보호 계전기 실무 I", 한국전력공사 연구원, 1993
- [3] 신대승 편저, "보호 계전 시스템 기술", 도서출판 기다리, 1992
- [4] 이상길 역, "보호 계전 시스템", 도서출판 세화, 1984