RTDS용 보호계전모델 개발

이주훈*, 이진*, 박시우**, 윤용범**
*LG산전, **한전 전력연구원

Development of Protective Relaying Models for RTDS

Joo-Hun Lee*, Jin Lee*, S.W. Park**, Y.B. Youn**
*LG Industrial Systems co., Ltd. **Korea Elec. Power Reserch Ins.

Abstract - 본 논문에서는 실시간 시뮬레이터인 RTDS(Real Time Digital Simulator)에서 실제 보호 계전기와 동시에 사용되거나 실제 보호 계전기 없이 보호 시스템의 응동을 고려한 전력계통 모의가 가능하도록 보호 계전요소들을 모델링하고 활용하는 방안에 대하여 소개하고자 한다.

1. 서 론

전력계통 보호 시스템을 구성하고 있는 계기용 변성기, 계전기, 차단기 등은 전력계통에 있어서 중요한 요소들로써, 특히 과도현상 발생 시의 보호 시스템을 구성하고 있는 요소들의 응동에 따라서 전력계통의 과도상태 응답이 결정될 뿐만 아니라 디지털 방식의 고속 계전기들이 사용되면서 보호 시스템의 응동을 고려한 전력계통 모의에 대한 필요가 더욱 커지고 있다고 하겠다. 그러나 기존의 전자기 과도현상을 모의할 수 있는 EMTP나 EMTDC와 같은 비실시간 전력계통 해석용 프로그램의 경우에 보호 시스템을 모델링하기도 어려울뿐만 아니라 전력계통과 보호 시스템 상호 간에 작용하는 현상을 동적으로 모의하는 것이 불가능하였다. 왜냐하면 비실시간 전력계통 해석용 프로그램의 경우에는 모의계통에서 1초동안에 발생되는 현상에 대한 응답을 얻기 위해서 수 분에서 심지어는 수 시간이 소용되는 경우도 있고, 기존의 실제 계전기를 시험할 때처럼 저장된 모의결과와 재생장치(Play Back)를 이용하여 실시간 결과처럼 사용하는 방법이 가능하다고 해도 이 경우에 피드백(Feedback)이 없는 개회로(Open Loop)로만 구성이 가능하므로 서로 보호협조하도록 구성되어 있는 전력계통 보호 시스템의 응동을 모의하기에는 부적절하기 때문이다. 예를 들면, 임의의 병행선로를 가지는 전력계통의 한 병행선로에서 사고가 발생하여 해당 선로의 주보호 계전기의 동작하는 경우에 이 주보호 계전기의 동작여부에 따라서 동작여부가 결정되는 다른 계전기의 응동을 모의하기 위해서는 계전기의 트립(Trip)신호가 다시 피드백(Feedback)될 수 있어야 한다는 것이다.

본 논문에서는 실시간 전력계통 해석용 시뮬레이터인 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용하여 보호 시스템의 응동을 고려한 전력계통 모의가 가능하도록 보호계전모델을 개발하는 방안과 활용 방안에 대하여 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 보호계전모델 개발

일반적으로 보호 계전기의 종류는 다양하지만 그 동작원리, 동작특성 및 용도 면으로 분류하는 것이 가능한데 먼저 동작원리상으로 크게 분류하면 EM형(Electromec-hanical) 계전기, 정지형(Static) 계전기, 디지털형 계전기로 나눌 수 있다. 그러나 RTDS용으로 개발되는 보호계전모델의 대상을 디지털형 계전기만으로 제한하였다. 그 이유는 현재 보호 시스템이 점차 디지털형 계전기로 교체되고 있는 추세이고 EM형 계전기나 정지형 계전기의 경우에는 RTDS용 보호계전모델로 개발하는 것이 매우 힘들기 때문인데 다음과 같다.

① EM형 계전기나 정지형 계전기의 경우에 상세한 데이터를 취득하는 것이 어렵다.
② EM형 계전기나 정지형 계전기의 경우에 비선형적 특성을 가지는 것들이 많이 있어서 이 비선형적 특성을 RTDS용 모델로 정교하게 표현하는 것이 어렵다.
③ 실제 EM형 계전기나 정지형 계전기와 함께 개발된 모델을 사용하여 전력계통 모의를 하는 경우에 동일한 입력파형을 주는 것이 어렵다.

위에서 ③항의 경우에서 동일한 입력파형을 주기가 어렵다는 것은 실제 EM형 계전기나 정지형 계전기는 아날로그(Analog) 신호를 입력으로 받고 RTDS용 보호계전모델의 입력파형은 디지털(Digital) 신호이므로 신호가 변환되면서 생기는 파형의 왜곡에 의해서 상이한 결과를 보일 수 있다는 것이다.

2.1.1 모델 선정

개발모델 선정을 위하여 154kV 계통과 345kV 계통의 선로 보호용 디지털 계전기만을 대상으로 조사하였으며 다음의 표와 같다.

제조회사명	Mitsubishi			Toshiba		G.E	ABB
계전요소 \ 모델명	MDT-A2	MCD	MDT-F	MXL1E	D2L7E	DLP	M-DAR
단락거리계전요소	O	X	O	O	X	O	O
지락거리계전요소	O	X	O	O	X	O	O
과전류계전요소	O	O	O	O	O	O	O
지락과전류계전요소	O	O	O	O	O	O	O
전류비율차동계전요소	X	O	X	X	O	X	X
과전압계전요소	X	O	X	X		O	X
부족전압계전요소	X	O	O	X	O	O	X
탈조계전요소	X	X	O	O	X	O	O
지락과전압계전요소	X	X	X	X	X	X	X
주파수계전요소	X	X	O	O	X	X	
결상계전요소	X	X	O	O	X	X	O
동기검출계전요소	X	X	O	O	X	X	

표1. 선로 보호용 디지털 계전기

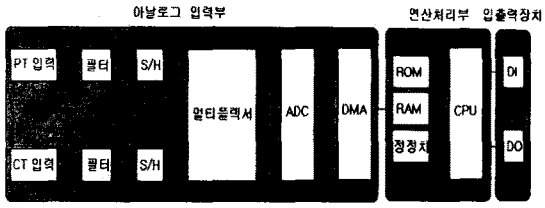
765kV 계통에서는 모든 보호 계전기들이 디지털형 계전기들이 사용될 것으로 예상되지만 154kV 계통과 345kV 계통의 모선 및 변압기 보호용으로 사용되고 있는 계전기들은 현재까지 대부분 EM형 계전기와 정지형

계전기들로써 앞에서 설명한 바에 의해서 개발대상에서 제외하였다.

일반적으로 디지털형 계전기들은 위의 표1.에서 보는 바와 같이 EM형 계전기와 정지형 계전기과 다르게 복잡적인 동작특성을 구현할 수 있기 때문에 하나의 계전기안에 하나 이상의 계전요소를 가지고 있다. 따라서 표1.에서 분류하여 나타낸 11가지의 계전요소를 RTDS용 모델로 개발하게 되면, 이들의 조합하여 특정의 디지털 계전기를 구현하는 것이 가능하므로 개발모델은 특정 계전기 모델을 대상으로 하지 않고 표1에서 나타낸 계전요소들을 개발대상으로 선정하였다.

2.1.2 모델개발상의 고려사항

디지털형 계전기는 아날로그(Analog) 전압과 전류를 입력으로 받아서 일정한 시간간격으로 샘플링(Samplin-g)하여 디지털 데이터로 변환하고 마이크로 프로세서(Micro-Processor)를 이용하여 보호계전 기능을 구한 기기로 정의할 수 있는데 구성을 그림으로 간략하게 나타내면 다음과 같다.



S/H : Sampling Holder
ADC : Analog to Digital Convertor
DMA : Direct Memory Access
DI : Digital Input
DO : Digital Output

그림 1. 디지털형 계전기 구성

디지털형 계전기의 모델링은 앞에서 설명한 바와 같이 EM형 계전기와 정지형 계전기를 모델링하는 작업보다는 용이하다고 볼 수 있지만 모델검증을 위하여 실제 계전기의 결과와 그 계전기의 주요 계전요소를 모델링한 RTDS용 계전모델의 결과를 비교하여야 하는 경우에 몇가지 고려하여야할 사항들이 있다. 첫째는 계전기의 주요기능 외의 부가기능과 관련된 것이다. 불필요한 부가기능까지 모델링하는 것은 무의미할 뿐만 아니라 결과에서 오차를 발생하게 하는데, 이것은 일반적으로 실제 디지털형 계전기는 위의 그림 1.에서 보는 바와 같은 주요기능 외에도 부가적인 기능을 가지게 되는데 이런 부가적인 기능들의 선택여부에 의해서 DSP 카드(Digital Signal Processing Card)상에서의 연산속도의 차이에 의해서 2~3 샘플(Sample)정도의 차이를 보이게 됨에 따라서 발생하는 오차이다. 두 번째는 RTDS용으로 개발되는 계전모델의 경우에는 계전기 입력신호(전압, 전류)가 바로 입력되기 때문에 실제 계전기내에 있는 보조계기용 변압기와 보조 계기용 변류기를 모델링할 필요가 없다는 것이다. 세 번째는 필터에 의해서 오차가 발생할 수 있는데 32 샘플링(Sampling)의 5차 버터워쓰(Butterworth) 필터의 경우 최대 3%정도의 오차를 발생시키게 된다. 네 번째는 샘플링(Sampling) 시간 동기화(Synchronization)의 문제이다. 이 문제의 경우에는 RTDS용 계전모델이 입력신호를 받아들이는 시간이 실제 계전기에서 입력신호를 받아들이는 시간이 서로 달라서 발생되는 문제로 동일한 실제 계전기들 간에서도 자주 발생하는 문제로 입력된 입력신호가 저장되는 버퍼(Buffer)의 위치가 서로 불일치하여 발생되는 문제이다. 다섯 번째는 RTDS는 한 타임스탭(Time Step)내에 모든 연산을 수행하는 실시간 시뮬레이터(Simulato-r)이므로 매우 복잡한 계전기를 모델링하는 경우에는 타입스탭이 증가시키게 되어 연산속도 향상을 위하여 계전 알고리즘(Algorithm)을 간략하게 나타내야할 필요가 있다. 마지막으로 전력증폭기를 사용하여 전력계통 모의를 하는 경우에 전력증폭기에 의해서 발생될 수 있는 오차를 고려해주어야 한다.

위에서 살펴본 바와 같이 컴퓨터 프로그램된 디지털형 계전기의 경우도 연산처리부만을 동일하게 구현하는 것으로 RTDS용 계전모델에서 동일한 결과를 얻을 수 있는 것은 아니고, 현재까지는 계전기를 정밀하게 벤치마킹(Benchmarking)할 수 있는 계통모델이 없기 때문에 임의의 한 모의결과가 일치한다고 해서 모든 모의결과가 일치한다는 것을 보장할 수 없기 때문에 오차를 최소화할 수 있는 방안과 더불어서 모델시험용 벤치마킹 계통을 찾는 것이 요구된다.

2.2 개발모델 활용방안

앞에서 설명한 바와 같이 RTDS는 비실시간 전력계통 해석용 프로그램과 달리 계전모델들로 보호 시스템을 구성하는 경우에, 전력계통과 보호 시스템간, 그리고 보호시스템을 구성하고 있는 계전기들과 차단기들간에 상호작용하는 응동을 동적으로 모의할 수 있으므로 다음과 같은 분야에서 활용하는 것이 가능하겠다.

① 실계통에서 발생할 수 있는 계전기의 오동작 또는 부동작의 원인을 분석하고자 할 경우
② 정정툴을 검증하거나 변경하기 전에 미리 적용해 보고자 하는 경우
③ 보호협조 방안을 수립하거나 미리 적용해보고자 하는 경우
④ 특정지점의 계전기를 다른 특성의 계전기로 변경하고자 하는 경우나 미리 적용해보고자 하는 경우
⑤ 실계통의 사고기록 데이터를 이용하여 사고를 재현하고 동일한 상황에서의 계전기의 응동을 고찰하고자 하는 경우
⑥ 계통의 구성이 여러 가지 이유(계통의 연계나 보수)에 의해서 변경되는 경우 계전기의 응동의 변화를 고찰하고자 하는 경우

이들 경우에서 얻어진 모의 결과는 전력계통을 안정화라는 측면에서 전반적인 계통보호업무에 활용이 가능할 것으로 생각된다.

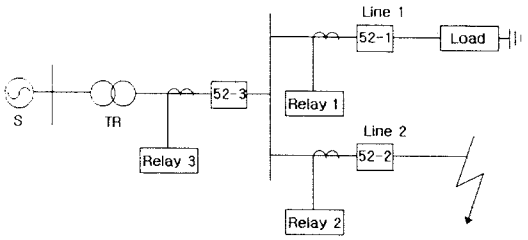
2.3 활용사례연구

앞에서 제시한 계전모델 활용방안 중에서 ①에 해당하는 실계통에서 발생할 수 있는 계전기의 오동작 또는 부동작의 원인을 분석하고자 하는 경우의 사례연구로써 외부 사고시에 발생될 수 있는 불평형의 외란조건에서 계전기가 오동작하는 경우이다.

2.3.1 모의계통

일반적으로 동일한 전압계통의 인접선로나 좀 더 높은 전압계급의 인접선로의 사고로 인해서 계통전압이 영향을 받게되어 전압(실효치)이 과도상태를 보이다가 다시 정상상태로 복구되는 현상을 볼 수 있는데, 이 때 부하

의 영향에 의해서 전압이 복구되는 시간이 지연되는 경우가 발생하게 된다. 주로 과도상태에서 정상상태의 전압으로 복구되는 시간의 지연을 발생시키는 부하는 낮은 관성계수를 가지는 유도 전동기 부하들로써 사고에 의해서 발생된 전압 하락(Voltage Sag)현상에 의해서 급속하게 속도가 줄었다가 다시 정상속도로 회복되면서 일정시간동안 부하전류가 증가하게 되어서 외부사고에 의해서 건전 선로의 과전류 계전기가 오동작하는 경우가 발생하게 된다.



전원	정상분, 영상분 임피던스 = 1Ω∠84.3°
변압기	154kV/66kV 100 MVA(3상) △-Y(접지)
선로	정상분 임피던스 = 8.54 Ω∠69° 영상분 임피던스 = 25.63Ω∠69°
부하	R//L = 6.43Ω∠4.13° 전동기 부하 (S=0.3)

그림 2. 모의 계통

위의 그림 2.에 보인 모의 계통에서 2번 선로(Line 2)의 50% 지점에서 1선 지락사고가 발생한 경우에 계전기들이 정상적으로 동작한다면, 2번 계전기(Relay 2)가 차단기 52-2만을 트립(Trip)하고 나머지 계전기들은 동작하지 않아서 1번 선로(Line 1)에 의해서 부하에 전원이 계속 공급되어야 한다. 그러나 사고 시에 발생된 영상분과 역상분 전류가 1번 선로(Line 1)으로 흘러들어가면서 1번 선로(Line 1)에 연결되어 있는 낮은 관성정수를 가지는 유도 전동기의 속도를 급속하게 감소시키면서 1번 선로(Line 1)의 1번 계전기(Relay 1)을 오동작하게 만든다.

2.3.2 모의결과

다음의 그림 3.은 그림 2.의 1번 선로(Line 1)에 설치되어 있는 1번 계전기(Relay 1)에 의해서 측정되는 전압과 전류를 실효값으로 변환하여 나타낸 것이다.

2.3.3 결과분석

일반적으로 위에서 설명한 바와 같은 인접선로의 사고의 영향으로 인하여 발생된 전압 불안정 현상 때문에 건전 선로의 전압복구(Voltage Recovery) 시간이 길어지면서 발생되는 계전기의 오동작을 방지하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하고 있다.

① 동작치(Pickup)를 높게 지정한다.
② 사고제거시간(Fault Clearing Time) 최소화한다.
③ 계통 임피던스를 줄인다.
④ 전동기 부하측에 저전압 요소를 동시에 사용한다.
⑤ 부하전류 줄여준다.
⑥ 부하를 균일하게 분포시킨다.
⑦ 과전류 계전기에 강반한시 또는 초반한시 특성을 사용한다.

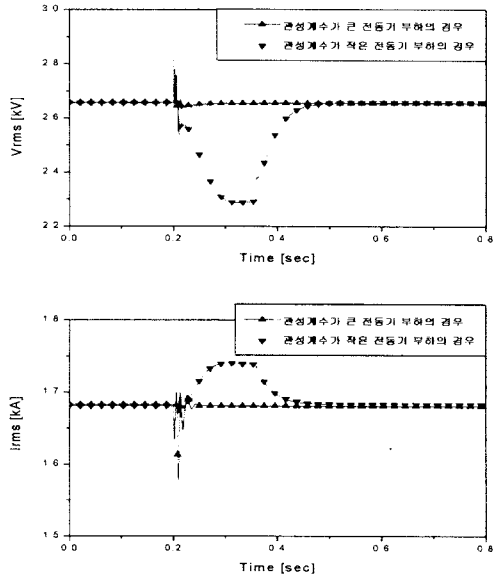


그림 3. 계전기(Relay 1)의 측정 전압과 전류(실효값)

그러나, 위의 ①과 같은 방법은 사고에 대한 계전기의 감도를 저하시키는 문제가 있어서 계속적으로 사용하는 것은 바람직하지 못한 방법이다. 그리고 ②~④의 방법들은 비용이 많이 들어서 경제적 부담이 증가되는 방법들이다. ⑤~⑦의 방법들은 비교적 경제적 부담없이 실현이 가능한 방법들이다.

보호 시스템의 입장에서 살펴보면 각 상(Phase)별로 저전압 계전요소를 추가하고 방향성을 가지는 계전요소를 추가하여 인접선로에서 발생한 외부사고에 의해서 건전 선로의 과전류 계전기가 오동작하지 못하도록 트립저지(Block)하거나 과전류 계전기가 동작하는데 소요되는 시간이 증가되도록 제어하는 방법이 제안된다.

3. 결 론

본 논문에서는 RTDS용 보호계전 모델 개발방안, 개발 시에 고려하여야할 사항 그리고 활용방안을 제시하였으며, 사례연구를 통하여 보호업무에 활용가치가 있음을 보였다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사, "계통보호 종합전산 프로그램 개발", 최종보고서, pp.113~246, 2000
[2] 한국전력공사, "변전설비 현장 가이브북", pp.5~165, 1999
[3] P. McLaren, "Comparisions of relay transient test results using various testing technologies", ICDS, 1997
[4] P. McLaren, "Using Real Time Digital Simulator to Develop an Accurate Model of a Digital Relay", ICDS, 1995
[5] R.P. Wierckx, "Fully Digital Real Time Electromagnetic Transient Simulator", IERE, pp.218~228, 1992
[6] P. McLaren, "A Real Time Digital Simulator for Testing Relays", IEEE, Vol. 7, No. 1, pp.207~213, 1992