

컴퓨터기반의 변압기 디지털 비율차동계전기 시뮬레이션 알고리즘 개발

박진수*, 천영식*, 박일호*, 박관창*
한전KPS 기술연구원*

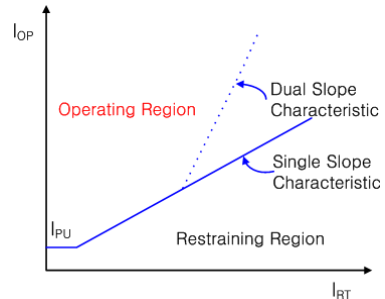
Computer Based Simulation for Digital Differential Protection Relay of Power Transformer

Jin-Soo Park*, Young-sig Cheon*, Il-ho Park*, Gwan-chang Park*
KEPCO KPS(Korea Plant Service & Engineering) *

Abstract - 19세기말에 차동보호계전방식이 이미 적용되었고 시스템 보호에 가장 먼저 사용되는 방식 중에 하나였다. 이 방식은 고장전력설비의 기기를 보호하기 위해 전류의 입출력값을 비교함으로써 고장을 검출하는 방법을 사용한다. 결과적으로 비율차동보호방식은 완벽하게 고장구간을 검출할 수 있으므로 전력설비의 중요기기의 후보호로 적합한 시스템이라고 볼 수 있다. 본 논문 변압기의 내/외부사고유형에 따른 전자기계식과 디지털 보호계전기의 동작특성을 컴퓨터기반의 해석 S/W를 이용하여 모델링과 동작특성에 대한 분석을 통해 보호계전기 동작특성의 신뢰성검증과 전력계통을 시뮬레이션하기 위해 구성하였다. 특히, 비율차동특성 보호 알고리즘을 계전기별로 모듈화하기 위한 기본 구조설계에 초점을 맞추었고 외부사고에 대해 각 보호계전기 동작특성을 비교함으로써 보호계전기 응답특성에 검증하는 기초 데이터를 생성하는 과정도 기술하였다.

차동보호는 보호대상의 입력 측과 출력 측의 모든 전류 흐름의 합을 계산한다. 자화전류와 충전전류는 제외하고, 보호대상이 고장이 아닌 한 이 전류의 합은 키르히호프 법칙에 의해 항상 0이다 <그림 1>.

내부고장시에는 차전류, 즉 동작전류가 감지된다. 변류기의 오차에 의한 오동작을 방지하기 위해서, 보호기능의 Pickup값은 흐르는 총 전류의 (안전화 전류 또는 Bias 전류)에 비례적으로 증가하게 된다.



<그림 2> 비율차동 보호계전기의 동작특성

비율차동보호는 <그림 2> 좌표에서 처럼 보호계전기 동작점을 정의하기 위해 동작전류(I_{OP})와 함께 억제전류(I_{RT})가 사용된다. 하나의 선분이 좌표상을 두개의 부분으로 나눈다. 윗부분은 동작영역이고 아래 부분은 억제영역이다. 이것을 비율차동계전기의 특성(Characteristic)이라한다. 차동계전기의 전형적인 특성은 작은 내부 사고에는 낮은 동작전류에서 동작되고, 높은 고장 전류에서는 높은 동작전류(I_{OP})에 동작한다.

$$I_{OP} = I_{1S} - I_{2S} \dots\dots\dots (1)$$

$$I_{RT} = k(I_{1S} + I_{2S}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, k는 보상계수이고, 일반적으로 0.5 또는 1이다.

비율차동계전기의 동작특성은 다음과 같은 방정식으로 표현된다.

$$I_{OP} > SLP_i \times I_{RT} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, SLP_i 는 비율차동계전기의 i 번째의 Slope 특성이다.

과도한 여자돌입전류에 의한 오동작이 이 기술의 큰 결점이다. 단락전류에 포함된 고조파는 무시되고, 고조파기반의 방법은 초기돌입전류에 대해 계전기동작을 억제하거나 블록킹한다. 고조파기반의 방법은 여자전류에 의한 계전기동작을 방지하면서 고장전류로 부터는 감도를 유지하는 것이다. 고조파 억제 차동계전기는 동작전류의 기본과성분과 [억제전류+동작전류의 고조파분]을 비교한다. 차동계전기동작조건은 아래와 같이 나타낼 수 있다

$$I_{OP} > SLP_i \times I_{RT} + k_2 I_{2h} + k_3 I_{3h} + \dots \dots\dots (4)$$

여기서, I_{OP} 는 동작전류의 기본과성분이고, I_{2h}, I_{3h}, \dots 는 동작전류의 고조파성분, k_2, k_3, \dots 는 상수(Constant coefficients)이다. 비대칭여자전류의 2차고조파는 돌입전류의 특징으로 나타난다.

최근에는 돌입전류를 인식하기 위해 2차고조파를 이용하고, 과여자에 의한 오동작을 피하기 위해 5고조파를 이용한다. Table 1은 기본파(100%)대비 고조파의 일반적인 크기를 나타낸다.

<표 1> 일반적인 고조파의 크기

자화 Inrush current내의 고조파 성분	크기(기본파의 %)
DC	55
2고조파	63

1. 서 론

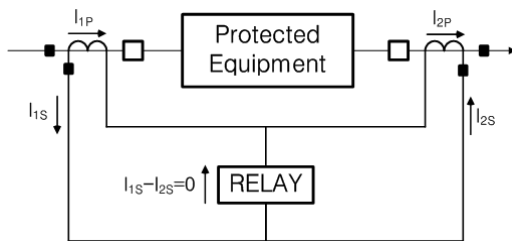
전력계통의 기기 중에서 전력용 변압기는 가장 중요하고 비싼 설비로써 고장이 발생되면 전력계통이 기능을 발휘하지 못하고 복구에 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 따라서 이와 관련된 계전기를 포함한 모든 설비를 모델링하여 계통고장에 따른 고장파형을 시뮬레이션을 통하여 얻고 설계된 계전기의 동작 상태를 확인하는 것은 중요한 일이다. 오늘날 다양한 종류의 소프트웨어 툴이 전력계통을 시뮬레이션하기 위해 사용되지만 이러한 툴은 사용하기에 편리한 반면 새로운 기기 모델을 시뮬레이션 하기는 매우 어렵고 불가능한 폐쇄적인 구조로 되어 있다. 또한 이러한 툴들을 능숙하게 사용하기 위해서는 충분한 훈련이 필요하다.

SimPowerSystems는 전력분석, 비동기기/케이블해석, 전력조류해석, FFT분석, 안정도해석등의 기능을 가지고 있으나, 보호계전기 모델을 가지고 있지는 않는다. ETAP, PSCAD/EMTDC와 같은 상업용 툴들은 대부분의 보호계전기 모델을 가지고 있지만 정확한 시뮬레이션을 위해서는 많은 경험을 통한 노하우가 필요하다. 전력공학문제의 시뮬레이션을 위해 가장 널리 사용되는 것이 MATLAB-SIMULINK이다. 많은 연구자들에 의해 MATLAB-SIMULINK를 사용하여 전력계통의 많은 시뮬레이션과 엔지니어링 적용이 이루어졌다.

전력용변압기는 전력계통에서 가장 중요한 설비 중에 하나이고 변압기의 차동보호계전기를 시뮬레이션 하는 것은 매우 필요한 일이다. 발전소 주변압기의 차동보호계전기를 시뮬레이션하기 위한 발전소 전력계통과 차동보호계전기 알고리즘 구현하고 관련 데이터를 추출함으로써 고장시의 계통조건과 보호계전기에 대한 이해를 돕기 위한 것에 초점을 맞췄다.

2. 본 론

2.1 비율차동 보호의 원리

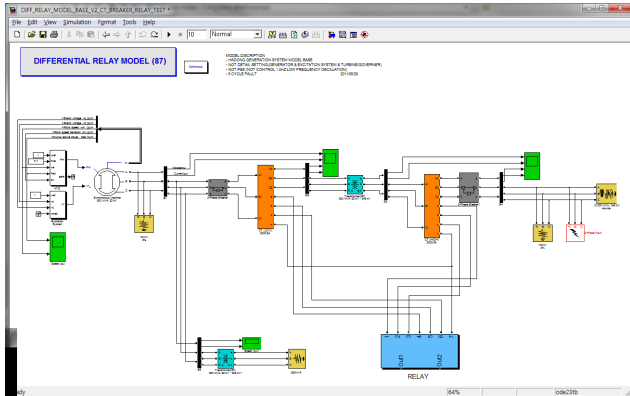


<그림 1> 비율차동 보호의 원리

3고조파	26.8
4고조파	5.1
5고조파	4.1
6고조파	3.7
7고조파	2.4

2.2 시뮬레이션 회로

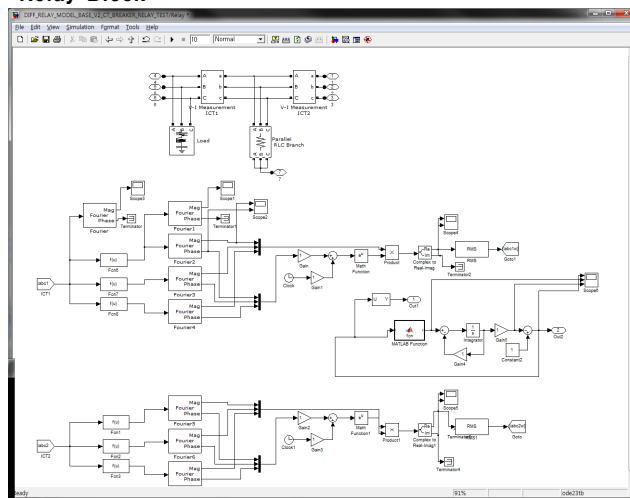
<그림 3>는 MATLAB-SIMULINK로 발전소 전력계통을 시뮬레이션 하였고, <그림 4>는 비율차동계전기를 시뮬레이션한 것이다



<그림 3> MATLAB-SIMULINK을 이용한 시뮬레이션

- CT : 3개의 Saturable Transformer block model로 구성. 모델은 권선저항, 누설인덕턴스, 철심의 자화특성, 철손, Saturable inductance에 철심 모델링. 20000/5A(Low), 2000/5A(High) Burden:1[Ω] 을 모델링.
- 삼상변압기 : Pn=500MVA, 1차전압: 22kV, 2차전압: 345kV 각변위 Yd1로 모델링.

Relay Block



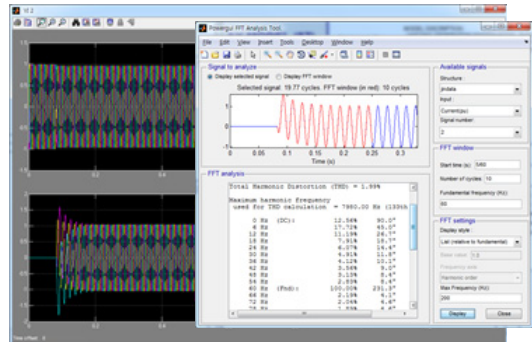
<그림 4> 비율차동 보호계전기 시뮬레이션 회로

- Fcn block(1-3, 6-7) : CT의 입력에 대한 영상분을 제거. 영상분 제거 Block을 수학적 수식으로 a,b,c상을 표현하면 Low측은 $\frac{1}{3}*(2*u(1)-u(2)-u(3))$, $\frac{1}{3}*(-u(1)+2*u(2)-u(3))$, $\frac{1}{3}*(-u(1)-u(2)+2*u(3))$ High측 CT는 $\frac{1}{3}*(\sqrt{3}*u(1)-u(3))$, $\frac{1}{3}*(\sqrt{3}*u(2)-u(1))$, $\frac{1}{3}*(\sqrt{3}*u(3)-u(1))$ 과 같다.
- Fourier: 이 block은 입력신호의 기본주파수의 1사이클을 푸리에 분석을 한다. 차단기 투입시 전압의 위상각과 잔류자속이 돌입전류의 최대값을 결정짓는 중요한 요소이고, 이것은 기본파와 2고조파를 포함하고 있다. 돌입전류에 포함된 고조파를 이용하여 비율차동계전기의 오동작을 방지하도록 계전기모듈을 설계한다. 디지털필터(Fourier blocks)는 디지털신호로부터 기본파,2고조파, 5고조파성분을 추출한다.
- Embedded MATLAB function : 영상분 제거 Block, 2고조파, 5고조파를 검출하는 Block을 거쳐 나타난 신호는, 계전기 설정 Block이나 피드백 Block을 입력으로 해서 비율차동보호계전기의 동작특성에 의해 차단기의 개폐를 결정하는 Block이다. 이 Block을 계전기의 모델에 따라 특정되어 진다.

2.3 시뮬레이션 결과

(1) Inrush Current

돌입전류에 대한 계전기의 동작을 점검하기 위해서 변압기는 무부하로 여자시키는 시뮬레이션하면 변압기가 초기여자하는 동안에 비율차동계전기는 동작되지 않아야 한다. 이 시뮬레이션 결과 디자인된 비율차동계전기는 돌입전류 하에서 동작되지 않는 것을 알 수 있었다.

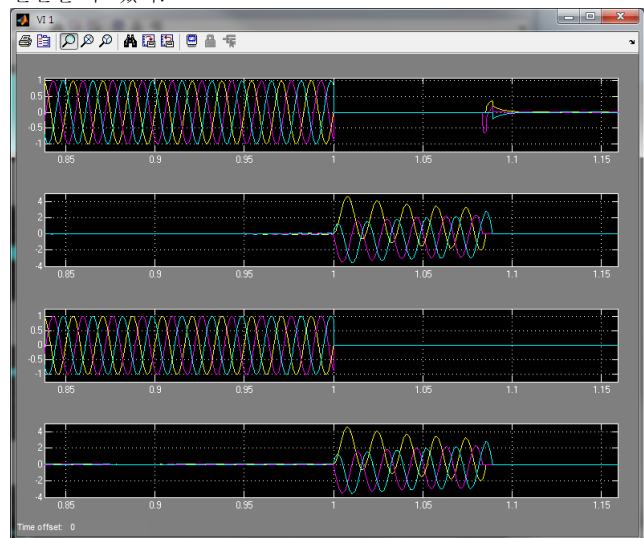


<그림 5> Inrush Current조건에서의 전압 전류

(2) 고장조건

외부고장조건(차동고장조건)에서 차동계전기의 동작을 보기 위하여 일련의 시뮬레이션을 수행하였다. 이 계전기 동작특성에 따라 동작여부가 결정되며 적절한 차동계전기의 선택 및 정정 값을 정할 수 있다.

<그림 6>는 변압기의 고압측에서 A,B,C상의 단락고장 조건이다. 결과를 통해 외부 고장시 계전기 알고리즘에 따른 동작특성을 관찰할 수 있다.



<그림 6> 3상 외부 단락고장 조건

3. 결 론

본 논문은 전력변압기 디지털차동보호계전기를 시뮬레이션하기 위해 MATLAB-SIMULINK 모델을 사용하였다. 발전소에서 발생하는 외부사고시 비율차동계전기 동작특성을 분석에 필요한 기본 계통 모델과 계전기 모델을 구축함으로써 향후 외부 사고 발생시 계전기의 오동작상태를 시뮬레이션함으로써 보호시스템의 적정성여부를 판정하는 틀로 사용할 수 있을 것이다.

향후 사고 유형별 모델링을 통해 추출된 데이터를 표준화하여 실제 보호시스템에 시뮬레이션이 가능하도록 구현함으로써 실제에 충실한 발전소 소내계통과 보호시스템을 구현할 수 있는 연구도 진행할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] B. VAHIDI and E. ESMAEELI, MATLAB-SIMULINK-Based Simulation for Digital Differential Relay Protection of Power Transformer for Educational Purpose [2010]
- [2] SIPROTECT Differential Protection 7UT613/63x V4.60 Manual