

송전선 보호용 차동전류 계전기의 동작원리에 대한 그래픽 표현

이종범
원광대학교

Graphical Modeling for Operational Scheme of Current Differential Relay for Transmission Line Protection

Jong-Beom Lee
Wonkwang University

Abstract - Distance relay is being used for transmission line protection. Recently, current differential relay is used with high reliability in power system. This kind of relay is reported that it has a reliable detection ability, even so high impedance faults take place in transmission line. Therefore it is expected to use and expand widely in many utilities. Tripping of the relay is decided according to the difference between differential and restraint current. However the tripping criterion can be changed by the manufacturers. This paper presents an operational scheme of current differential relay for transmission line protection with graphical model. It is developed for educational purpose for students interesting in power system and protection engineer in utility. MATLAB is used to establish the models.

1. 서론

일반적으로 송전선로의 보호는 거리(또는 임피던스)계전기를 중심으로 이루어졌으며, 종류도 검출방식에 따라 모형 및 사변형 등으로 구분되어 발달하였다. 그래서 이들 거리계전기는 현재 송전선로 보호용으로 가장 많이 현장에서 운용되고 있다. 그러나 최근에는 차동전류계전기가 개발되어 송전선로 보호용으로 채용되기 시작하면서 더욱 신뢰도 높은 보호를 이룩하게 되었다. 특히 최근에는 송전선로의 고장현상이 복잡한 계통구성, 다양한 고장원인으로 인하여 보호계전기가 부동작이나 오동작하는 경우가 일부 있어 계통을 운용하는 입장에서 볼 때 매우 긴장해야 하는 경우가 있다. 이 가운데에서도 특히 송전선로에 고저항 지락고장(High Impedance Faults; HIF's)이 발생하면 계전기의 감도가 떨어져 부동작하는 경우가 있어 보호계전기의 정확한 고장검출능력은 매우 중요시 되고 있다. 그런데 이렇게 고장전류가 미세한 HIF's의 경우에서도 차동전류계전기는 거리계전기보다 매우 높은 검출능력을 소유하고 있음이 시험결과를 통해 발표되었다. 따라서 차동전류계전기는 그 검출능력의 우수성으로 인하여 사용범위는 더욱 확대될 것으로 전망된다[1]-[6].

전력계통의 보호분야는 정확해야 하며 그 이론 자체도 까다로운 부분이 많이 있어 이론적으로 이해하기에는 적지 않은 어려움이 있다. 보호계전기도 이제는 기계식에서 디지털 시대로 접어든지 이미 오래이고 대부분의 중요한 부분은 디지털 보호계전기로 바뀌었다. 그러나 이론 및 알고리즘에 대한 연구는 있어도 기존에 전력계통에서 운용되고 있는 보호계전기의 동작원리 및 Trip 배경을 이해시키기 위해 교육적인 차원에서 그래픽으로 모델링 한 경우는 아직 없다.

본 논문에서는 이런 배경에서 송전선 보호용으로 사용되는 차동전류계전기가 고장이 발생하였을 경우 어떻게 계전기가 동작하는가를 그래픽으로 모델링하여 표현하였다. 그리고 그래픽 모델링은 MATLAB에서 Simulink와 Power System Blockset Library를 사용하여 모든 결과들과 보호계전기 및 주변 구성요소들을 시각적으로 볼 수 있도록 하였으며 사용자에게 따라 아주 간편하게 데이터를 변경시켜 다른 상황하에서의 보호계전기 동작상황을 파악할 수 있도록 하였다. 그리고 송전선 보호용 차동전류계전기의 트립조건은 제조회사마다 약간씩 달리하고 있어 그 중에서 두 종류를 선택하여 본 논문에서는 모델링하였다[5]-[8]. 이러한 연구는 이론개발보다는 기존에 사용하는 보호계전기에 대한 보다 효과적인 교육용 목적으로 시도한 것으로서 이 연구를 통해 표현되는 송전선 보호용 차동전류계전기의 동작원리에 대한 그래픽 결과들은 학부 및 대학원생은 물론, 전력계통 보호분야에 종사하는 기술자 및 전력회사나 일반회사의 관련종사자들의 교육 및 연구를 위해 매우 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

2. 보호이론

(1) Case A

Case A의 보호이론은 영상, 정상 및 역상 전류와 각각의 계수들 각 전류성분에 곱한 값에 의해 이루어지는 자기 단과 상대 단의 전류로부터 동작치(Operating Quantity)와 억제치(Constraint(Bias) Quantity)를 계산하게 되며, 이들의 값으로부터 얻어지는 일정한 값과 Setting 값과의 비교를 통해 트립이 결정되게 된다. 이들의 이론을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$IT = C_o I_o - C_1 I_1 + C_2 I_2 \quad \text{----- (1)}$$

여기서 IT 는 sine파를 갖는 값이며, C_o, C_1 및 C_2 는 시스템 setting 값들이다. 그리고 자기 단의 값인 ITL (Local Quantity)와 상대 단의 값인 ITR (Remote Quantity)로부터 동작 값 OP 와 RES 을 다음과 같이 구한다.

$$OP = |ITL + ITR| \quad \text{----- (2)}$$

$$RES = |ITL| + |ITR| \quad \text{----- (3)}$$

그리고 식 (4)에 의해 트립 여부 결정된다. 여기서 SET 는 시스템 Setting 값이다.

$$IF [(OP - 0.7RES) > SET] then TRIP \quad \text{----- (4)}$$

(2) Case B

이 경우는 그림 1과 같이 차동전류와 억제전류의 크기를 일정한 수식에 의해 상호 비교함으로써 트립여부를 결정하는 방식이다.

$$|I_{diff}| = |I_L + I_R| \quad \text{----- (5)}$$

$$|I_{rest}| = \frac{1}{2} (|I_L| + |I_R|) \quad \text{----- (6)}$$

여기서,

I_{diff} : 각 상에서의 차동전류 크기

I_{rest} : 각 상에서의 억제전류 크기

I_L : 자기단에서의 각 상전류

I_R : 상대단에서의 각 상전류

만일, $|I_{diff}|$ 가 I_{S2} 보다 작은 경우에는 식 (7)에 의해 트립이 결정된다.

$$|I_{diff}| > k_1 \cdot |I_{rest}| + I_{S1} \quad \text{----- (7)}$$

여기서, k_1, k_2 는 기울기를 결정하는 상수이고, I_{S1} 은 최소 차동전류치이며, 만일 $|I_{rest}|$ 가 I_{S2} 보다도 크거나 같은 경우에서의 트립은 식 (8)에 의해 결정된다.

$$|I_{diff}| > k_2 \cdot |I_{rest}| - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S2} \quad \text{----- (8)}$$

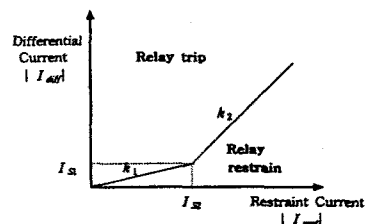


그림 1. 계전기 트립 기준

3. 송전선 및 차동전류 보호계전기의 그래픽 모델 구성

3.1 Case A

그림 2는 Case A의 경우에서 송전선 및 차동전류계전기의 동작 원리를 그래픽으로 표현하기 위해 수립된 모델링을 보여주고 있다. 이 모델의 데이터는 실제통의 일부를 대상으로 한 것이며, MATLAB 내에 있는 Simulink와 Power System Blockset Library를 이용하여 각각 구성하였다. 이 모델링은 크게 송전선의 모델링과 보호계전기의 두 부분으로 나눌 수가 있는데 모든 것들은 Block으로 표현되고 각각의 Block들은 각기 Subsystem을 갖고 있다. 송전선 부분은 양단의 Source와 임피던스를 갖는 SOURCE Block과 송전선로 및 고상위치와 고장저항의 크기를 입력할 수 있는 Fault Block이 포함되어 있는 TR. LINE Block가 있고 마지막으로 양단의 전류측정을 위한 Current Measu. Block으로 나누어져 있다. 시스템 특성을 변경하고자 할 경우에는 각 Block의 입력 값을 바꾸기만 하면 된다. 또한 차동전류계전기 기능 가운데에는 트립여부를 결정하기 위한 계산기능을 가지는 Block들이 있다. 여기서 나타낸 주요한 Block들을 보면 다음과 같다.

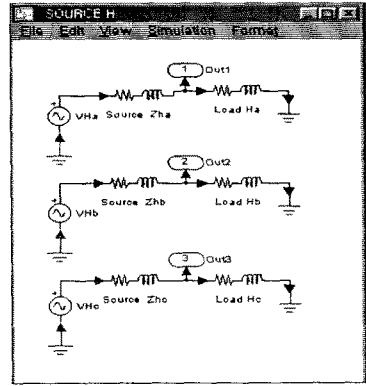


그림 4. SOURCE H Block 의 Subsystem

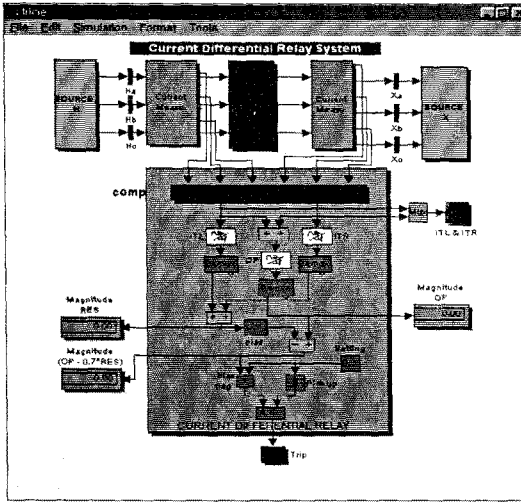


그림 2 송전선 보호용 차동계전기의 동작원리 표현을 위한 그래픽 모델(Case A)

(1) TR. LINE

그림 3은 송전선로와 고장을 나타내는 Block으로서 송전선로의 선로경수 및 고장 위치와 고장저항 및 고장상을 자유롭게 선정할 수 있다. 그림 3은 그 가운데 a상 선로의 50%지점에서 지락고장이 발생한 경우를 보이고 있다.

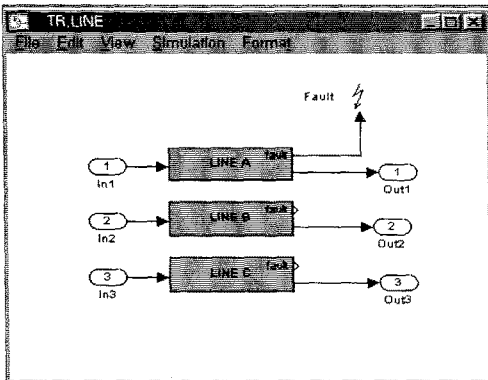


그림 3. TR. LINE Block 의 Subsystem

(2) SOURCE

그림 4는 양단에 있는 SOURCE Block 중 H측의 것을 보이고 있다. Source의 전압과 임피던스 및 부하를 포함시켰다.

(3) COMP

그림 5는 COMP Block의 MUX, comp 및 DEMUX의 세 부분으로 이루어진 Subsystem을 보여주고 있다. 여기서 S-function Block인 comp에서는 code화된 프로그램을 통해 양단에서의 식(1)의 값을 계산하여 출력으로 내 보내는 기능을 가지고 있다.

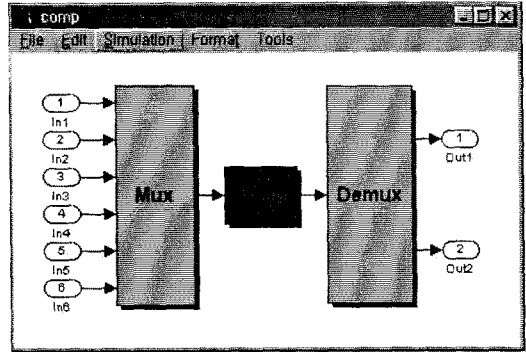


그림 5. COMP Block 의 Subsystem

3.2 Case B

그림 6은 Case B의 경우에서 송전선 및 차동전류계전기의 동작 원리를 그래픽으로 표현하기 위해 수립된 모델링을 보여주고 있다. 이 경우에서의 주요 Block들을 살펴보면 다음과 같다.

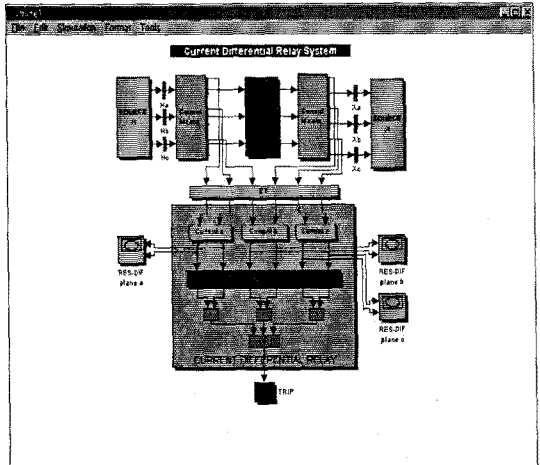


그림 6. 송전선 보호용 차동전류계전기의 동작원리 표현을 위한 그래픽 모델(Case B)

4. 시험 및 결과

시험을 위해 선정된 Case A 및 Case B 모델의 각종 파라미터는 모두 동일하며 트립 결정기준만 다르다. 여기서는 시뮬레이션 이후 0.05초에 고장이 발생하였다고 가정하였고 0.1초에 시뮬레이션을 종결시켰다. 표 1은 시험에서 사용된 입력자료이며 이 자료는 서울지역의 실제통 일부이다. 그리고 표 2는 Case A 및 Case B에서 사용되는 각종 계수들의 입력 값들을 보이고 있다. 한편 표 3은 Case A 및 Case B에서 거리와 고장저항 값의 변화에 따른 계전기 동작결과 및 트립 여부를 결정 짓는 각종 데이터의 결과들을 보이고 있다. 이 가운데 RES, OP-0.7*RES, Idiff 및 Irest는 모두 시뮬레이션에 종결된 0.1초에서의 값을 나타내고 있다. 표에서 보이는 바와 같이 Case A 및 Case B 모두 지락고장의 경우 트립이 정상적으로 이루어졌음을 보이고 있다.

표 1. 시험에서 사용된 입력자료

전압 [kV]	선로 임피던스[Ω]	Source 임피던스[Ω]		부하 임피던스[Ω]		CT 비율
		H측	X측	H측	X측	
154	1.0049 + j4.8318	5.0854 +j36.6489	1.2880 +j9.9167	551.7 +j181.7	155.1 +j50.9	800:5

표 2. 계수

모델	계수
Case A	C0= 5.0, C1=0.9, C2=1.1
Case B	k1=0.4, k2=1.0, Is1=0.3, Is2=4.0

표 3. 시험결과

계전기로 부터의 고장 위치 [pu]	고장 저항 R[Ω]	Case A		Case B		Trip	
		RES 크기	OP- 0.7*RES	Idiff 크기	Irest 크기	Case A	Case B
0.1	0	155.85	46.00	74.41	37.33	yes	yes
	10	106.58	28.47	49.09	24.65	yes	yes
0.3	5	138.45	39.46	65.09	32.66	yes	yes
	30	56.52	8.52	23.00	11.59	yes	yes
0.5	0	173.76	51.51	82.00	41.12	yes	yes
	20	105.90	27.56	32.49	16.34	yes	yes
0.8	10	261.47	78.02	53.70	26.96	yes	yes
	30	58.41	8.31	23.46	11.81	yes	yes
0.9	10	139.89	38.67	54.66	27.44	yes	yes
	20	76.90	16.16	33.38	16.78	yes	yes

그림 7은 한 예로서 Case A에서 고장위치가 0.5[pu]이고, 고장저항이 0인 경우 ITL과 ITR의 순시치를 고장전후에 대해 보이고 있다. 그리고 그림 8은 이 경우에서의 트립 결과를 보여주고 있다. 값이 0인 순간은 트립하지 않았고 1.0 순간은 트립하였음을 의미한다. Case에서 트립을 결정하기 위해 필요한 Setting값은 0.3으로 하였다.

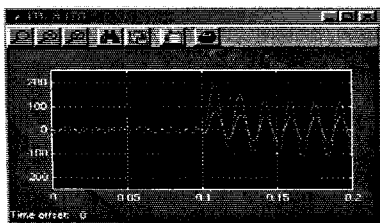


그림 7. ITL 및 ITR의 순시치(Case A)

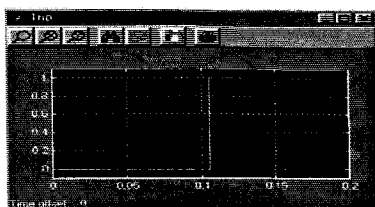


그림 8. 트립 결과

한편, 그림 9는 그림 7과 동일한 조건에서 Case B의 경우 고장이 발생한 상에서의 Idiff 및 Irest의 크기를 X-Y 평면에서 나타낸 것이다. 이로부터 Idiff가 트립영역에 존재하고 있음을 알 수 있다. 그리고 이 상황에서 계전기는 트립하였고 그 결과도 그림 8과 같이 나타났다. 이 이외에도 여기서는 제시하지 않았으나 출력으로 나타내고자 하는 여러 가지 항목들을 여러 가지 기능을 가진 아이콘을 추가함으로써 쉽게 파악이나 값으로 알아볼 수가 있다.

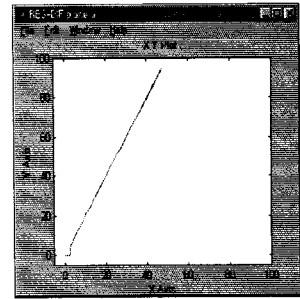


그림 9. X-Y Plane a의 결과
(Case B)

5. 결 론

본 논문에서는 송전선 보호용인 차동전류계전기의 보호 및 동작 원리를 MATLAB의 여러 Library들을 이용하여 그래픽으로 표현하였다. 여기서 제시하고자 하는 목적은 새로운 이론을 개발하는 것 보다는 기존에 개발되어 사용되는 보호계전기의 동작원리들을 관련자들이 쉽게 이해할 수 있도록 하는 교육적인 차원에 중점을 두었다. 따라서 본 논문에서 제시하고 있는 내용들은 학부 및 대학원 그리고 전력회사나 일반회사에서 전력계통 및 보호분야 관련자들의 교육과정에서 매우 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서 구성된 모델이 갖는 특성을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 고장저항과 고장위치를 임의로 입력할 수 있도록 할 수 있는 기능을 갖추어 송전선 보호용 차동전류계전기의 보호 및 동작 원리를 두 종류로 나누어 그래픽 모델링 하였다.
- (2) 입력 값들은 모두 크릭을 통하여 메뉴방식으로 요구하는 값들을 입력할 수 있어 매우 간편하다.
- (3) 모델구성은 Block으로 이루어져 있고 각 Block은 각기 Subsystem을 갖고 있어 매우 간편하게 그래픽 구성이 되어 있으며 계산 부분은 S-function Block에서 처리하였다.
- (4) 새로운 보호원리 및 알고리즘의 개발도 여기서 제시한 모델과 같은 구성방식을 통해 접근할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] P.J.Moore and A.T.Jons, "Performance of Adaptive Distance Protection under High Resistance Earth Faults", CIGRE, Sep. 1992.
- [2] KEPRI, "직접접지계통 송전선로 고저항 지락사고의 보호대책 연구", KEPRI, 1997.
- [3] Stanly H. Horowitz, and Arun .G. Phadke, "Power System Relaying", SP, 1995
- [4] Arun. G. Phadke and James S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", 1993.
- [5] ABB, "Current Differential Line Protection Relay", REL 356, ABB Network Partner, 1998.
- [6] IEE, "Power System Protection, Vol. Principles and Components", 1995.
- [7] BPA, Electromagnetic Transients Program Reference Manual, 1986.
- [8] MATLAB Manual, 1998.