2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

전철시스템에서의 보호시스템에 관한 연구

이희용*, 김왕곤*, 이종우**
서울산업대학교 철도대학원*, 철도연**

A study on the protection system in electrified railways system

LEE Heeyong*, KIM Wanggon*, LEE Jongwoo**
Seoul National University of Technolgy*, Korea Railroad Research Institute**

Abstract Recently, the load increasement and regenerative system of electrified railway system make a difficult to distinguish between the load current and fault current and it need a new intelligent protection system. In this paper, we proposed intelligent algorithm for discriminating normal and abnormal situation instead of the system being operated abnormally.

1. 서 론

전기철도는 직류급전 방식 및 교류급전방식이 있다. 급전계통의 고장 발생시에 보호 계전기가 동작되지 않아 설비 피해가 확대되거나, 동작되지 말아야 할 현상에 보호 계전기가 오동작 되어 불필요한 정전 피해를 일으킬 수 있다. 현재 연구되고 있는 대부분의 디지털 계전기는 아날로그 계전기의 기능을 단순히 디지털화 한 것에 불과하다. 전차선이나 급전선의 지락의 경우에는 과전류 계전방식을 사용하지만 지락 시 지락 점의 임피던스가 클 경우에는 극소의 고장전류가 흐르므로, 지락 사고 시에 고장검출에 실패하는 경우가 종종 있다. 사고에 의한 과전압 혹은 과전류는 연결된 기기를 파손시킬 수 있으며, 인명을 살상할 수도 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 고장판단을 위한 알고리즘을 개발하였다[1]. 이 알고리즘의 급전모선에서는 고장원인에 의해서 단락 혹은 지락이 발생하여 과전류 혹은 과전압이 도통을 하는 것을 검지하여 보호계전기를 작동시키도록 하였다. 급전회로에서는 다양한 고장에 의해서 과전류와 과전압이 시스템에 도통되어 사고발생, 운전불능 및 전차선을 파괴할 수 있는 예를 표 1에서 나타내었다.

표 2 교류회로의 사고, 영향 및 대책

보호대상	고장의 종류	발생현상	파급영향
급전용변압기	· 내부고장	· 층간권선단락 · 절연파괴	· 용량감소 · 전력공급불능
	· 회생에 의한 과전압		
급전모선	· 이상단락	· 과전류 도통	· 사고발생
	· 지락		
급전회로	· 단락 · 지락	· 과전류도통 · 과전압도통	· 사고발생
	· 부족전압		· 운전불능
	· 전차선 과부하	· 온도상승	· 전차선파괴

본 논문에서는 개발알고리즘을 실현하기 위한 보호기의 H/W의 설계(안)와 S/W 알고리즘을 제시하였다.

2. 지능형 보호계전기 기본모델

2.1 고장현상

급전설비에서 고장이 발생하였을 경우 일반적으로 ① 전류의 크기가 현저히 증가, ②상전 압이 현저히 저하, ③영상, 역상 전압이 증가 ④임피던스가 현저히 감소, ⑤ 고조파성분의 증대 및 분포의 변화 등이 발생한다. ①② 현상이 전혀 없어도 ⑤의 현상만 나타나는 경우가 있으며, ①②⑤ 현상이 현저하지 않아도 ③의 현상이 두드러지면 사고인 경우도 있다[2].

급전회로의 사고원인은 차량고장, 가선고장, 과부하, 동물, 외부 침입물, 수목전도, 뇌해 등이 있다. 급전시스템 사고는 뇌해, 혼촉, 지락 및 단락에 의해서 과전류 도통 및 고압 도통 등이 발생한다. 지락 및 단락의 경우에는 ①②④가 발생을 하게 되며, 섬락이 발생하였을 경우에는 ⑤의 현상이 발생한다. 급전계통에 변류기(CT)와 계기용변압기(PT)를 설치하여 고장이 발생하는 지를 감시하여 적절한 조치를 해야 한다.

2.2 급전회로의 보호시스템 설계

보호계전기의 주요 구성요소는 그림 1에서 나타난 것과 같이 입력부분, 입력데이터를 처리하여 고장이 발생여부를 판정하는 처리부, 그리고 차단이 필요할 때 회로를 신속히 분리하는 차단부로 구성되어져 있다. 교류회로에 고장이 발생한 경우에 대부분의 현상은 과전류와 과전압이 흐르게 된다. 이러한 이상전류 및 전압을 변전소 등에서 보호시스템에 의해 검출하여 차단기에 의해 고장전류를 차단한다.

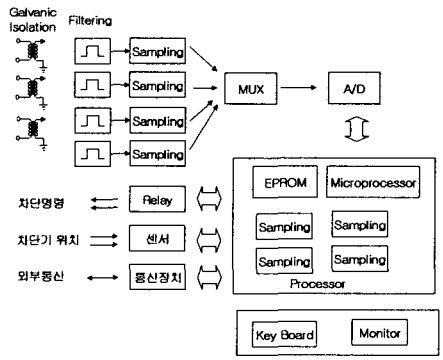

그림 1. 디지털 보호계전기 구조

2.3 교류급전회로의 고장종별

교류급전회로에서 지락 및 단락 등 다양한 고장의 종류가 있다.

1선 지락은 급전회로의 특 고압부와 대지(접지선, 콘크리트주, 철주 등의 접지구조물)간과의 절연이 파괴되어 고장전류가 흐르는 것이다. BT 방식의 경우에는 특고압부가 T상 전차선과 M상의 전차선 2선만 있으며, AT방식의 경우에는 각 상에 Feeder가 있기 때문에 접지종류는 4가지가 된다.

2선 단락은 급전회로의 특고압부 도체 상호간 및 귀회로 도체와의 절연이 파괴되어 고장전류가 흐르는 현상을 2선 단락이라 하고, BT방식의 경우에는 2가지 방식, AT 방식의 경우에는 6가지가 있다.

이상단락은 급전회로의 이 상간(T상에 대한 M상, 또는 B상에 대한 A상)의 특고압부 도체간의 절연이 파괴되는 현상을 이상단락사고라 한다. BT의 경우에는 1가지, AT 방식에는 4가지 고장종별이 있다.

급전회로 고장은 위에서 기술한 고장들이 동시에 중복되어 발생되는 경우도 있다. 3가지 고장 종류 중 회로보호 및 접지 점의 전위 상승 면에서 보아 가장 심한 것은 1선 지락고장이다.

2.4 고장임피던스

급전회로의 고장전류는 3상전원 임피던스, 급전용 변압기의 임피던스, 회로임피던스 및 고장 점의 저항에서 다음과 같이 구한다.

- 전원임피던스 :

$$Z_0 = V^2/P_s = (\%Z_0/100)V^2/P_s \quad (1)$$

- 급전용 변압기의 임피던스

· 단상의 경우 :

$$Z_{TR} = (\%Z_{TR}/100)V^2/P_{TR} \quad (2)$$

· 3상의 경우 :

$$Z_{TR} = (\%Z_{TR}/100)V^2/(P_{TR}/2) \quad (3)$$

- 급전회로의 고장임피던스 :

변전소에서 고장 점까지의 선로임피던스

단 : V : 급전전압 (kV), P_s : 수전 점의 3상 단락용량 (MVA) $\%Z_0$: 수전 점의 %임피던스 (%), Z_{TR} : 변압기의 편좌마다 $\%Z(\%)$, P_{TR_1} : 변압기 상당 용량, P_{TR_3} : 변압기의 3상 용량

2.5 고장전류

급전회로의 고장전류는 단락·지락 시의 고장전류와 이상단락 고장 다음과 같이 간단하게 구할 수 있다. 회로의 단락, 지락 시의 고장전류는 다음과 같다.

$$I_s = V/(2Z_0 + Z_{TR} + Z_L + r_g) \quad (4)$$

단

Z_L : 선로 임피던스, r_g : 고장 점 저항

이상단락 고장전류 계산에서는 급전용 변전소에서 2조의 단상교류가 레일을 공통으로 한 방면으로 급전하고 있기 때문에 변전소의 인출부와 section 부분에서 위상이 다른 전차선이 단락하는 이상단락 고장이 발생한다.

$$I_{MT} = V_{MT}/(4Z_0 + Z_M + Z_T) \quad (5)$$

단

V_{TM} : M상, T상간의 전압(kV),

Z_M : 급전변압기를 포함한 M상회로의 임피던스 (Ω),

Z_T : 급전변압기를 포함한 T상회로의 임피던스 (Ω)

3. 교류급전선보호계전기설계

3.1 보호영역

보호방식은 그림2와 같이 임피던스 영역을 설정하여 임피던스가 보호영역에 진입할 때 작동하는 보호 장치, 급전전류 변화분 ΔI를 감시하여 ΔI가 일정이상 일 때에 동작하는 보호 장치가 있다. 통상 2가지 보호방식을 조합하여 사용한다. 보호범위는 변전소에서는 급전 구분소(그림 3)까지 담당을 하며, 연장급전 시에는 SP에서 인접변전소까지 보호한다.

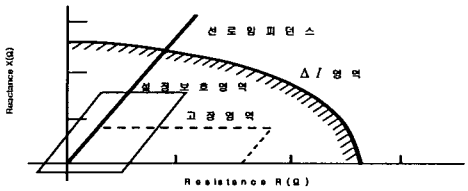

그림 2. 전류허용영역

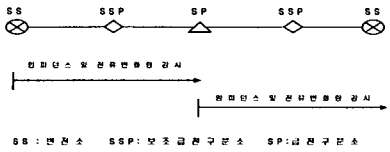

그림 3. 전류허용영역

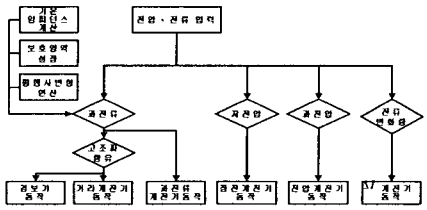

그림 4. 교류회로보호시스템동작구조

현재 교류시스템의 보호시스템으로는 급전회로의 임피던스를 감시 동작하는 거리계전기와 전류의 변화 분을 검출하는 ΔI형 고장선택 계전기를 사용한다. 그림 4에서 통합형 교류급전회로 보호시스템 구조를 나타내었다. 그림4에서 나타낸 기능에 대한 알고리즘은 아래와 같은 기능을 수행하며, 관련된 식은 [1]에서 언급을 하였다.

- *부하임피던스의 계산*

급전용 변전소의 PT 및 CT의 출력에서 전압·전류를 입력시켜, 저항분 및 리액턴스를 구한다. 그림파형은 그림6과 같이 되고, 1cycle을 N번 분할하여 $v_n \cdot i_n$을 n번째 샘플링 값으로 하고, 3 cycle의 평균을 취한 후 푸리에 급수의 계수를 구한다.

- *k조파 함유율 연산*

전류파형의 k조파의 성분은 푸리에 변환을 하여 구할 수 있다.

- *보호영역 설정*

보호영역의 설정은 SP까지의 임피던스와 접지저항을 고려하여 평행사변형을 설정하며, 배후저항과 임피던스는 2~5Ω으로 설정한다.

-*거리계전기 연산 알고리즘*

리액턴스와 관련된 동작 판별식은 위상차 산출 계산 알고리즘을 이용하여 다음과 같이 계산한다.

- *전류변화분 ΔI계산 알고리즘*

고장전류의 변화 분은 기저부하전류와 고장전류를 분별하기 위해서, 부하전류에 함유된 제3조파를 이용한 기본파 전류를 억제되는 것이 적은 것으로 본다. 변압기의 무부하 돌입전류에서도 제3조파가 함유되고, 기본파 전류를 억제하는 작다. 제3조파 함유율에 의한 기본파 전류의 제어는 제3조파 함유율이 15%로 기본파 함유율이 15%로 기본파 전류가 1/2로 되도록 분할하여 직선적으로 행한다.

- *과전류계전기 요소*

부하전류의 계통시간 특성을 고려하여, 고저항고장 및 전차선 선의 열적보호 등을 한다. CT에서 얻어진 값을 이용하여 기준보다 클 경우에는 과전류 릴레이를 동작시킨다.

- *과전압·부족전압계전요소*

PT를 이용하여 설정된 전압보다 높거나 낮은 과전압 및 부족전압 발생을 하면의 과전압계전기나 정전계전기를 작동시키도록 한다.

3.2 보호알고리즘

교류 급전서 보호기의 flow chart는 그림5에서 나타낸 것과 같다. 그림5의 flow chart는 다음과 같다.

① 전압 V 및 전류 I를 입력한다.

② 전압 V에서 기본파성분($1f_0$)을 추출한다. 전류I에 의해 기본파 성분, 고조파 성분($2f_0$, $3f_0$)을 추출한다.

③ V, I의 대영역, 중영역, 소영역 특성의 거리연산을 행한다.

④ 전류 I에 함유된 $3f_0 + 2f_0$함유율 I_A을 연산한다. 또 함유율 I_B를 연산한다.

⑤ $2f_0$ 함유율이 k_2(15%)이상 일 때는, 44F 릴레이 출력을 하지 않는다($2f_0$lock).

⑥ 전류I 가 1.5A 이하일 때는 44F 릴레이 출력을 하지 않는다.(51L)

⑦ 전류I가 15A 이상일 때는 44F 릴레이 출력을 한다.(51H)

⑧ $3f_0 + 2f_0$ 함유율 I_A가 k_1(5~15%) 일 때는 소특성 동작판정 결과를 출력한다. I_A가 k_1(5~15%) 일 때는, 대특성 동작판정 결과를 출력한다.

⑨ 중특성 동작 때는 부하접근으로 판정하여, 경보 출력한다. 단 $2f_0$함유율 I_B가 k_2이상일 때는 경보 출력을 하지 않는다.

⑩ 전압, 전류에서 추출한 기본파 성분($1f_0$)과 고조파 성분($3f_0$)의 진폭을 연산하여, 고조파성분($3f_0$) 억제계수 k_3(=10/3)을 걸쳐서, 기본파성분($1f_0$)에 억제를 한다.

⑪ ⑩의 연산에 의해 ΔI 추출연산(미분연산)을 행한다.

⑫ 전류 ΔI가 I_{KD}(1.5 ~ 6.0A) 이상일 때는, 50F 릴레이 출력을 동작한다. 또 $2f_0$함유율이 15% 이상일 때는 50F 릴레이 출력을 하지 않는다.(2f lock)

⑬ 기본파성분 $1f_0$가 I_{K1}(1.5 ~ 6.0A) 이상일 때는 51F 릴레이를 동작한다.

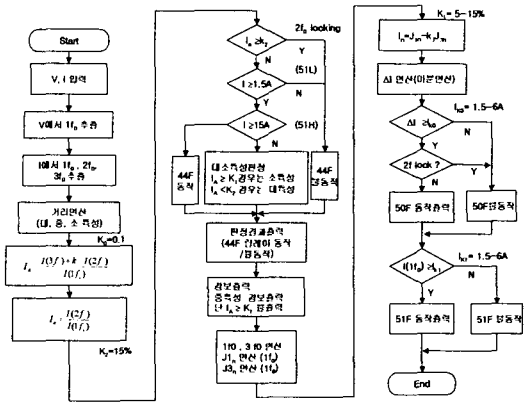

그림 5. 보호 계전기 동작 flow chart

4. 결론

기존의 단순기능형 보호계전기를 통합한 컴퓨화 하기 위해 알고리즘을 개발하였다. 각 보호계전기의 기능을 모델링한 방식으로, 거리계전기는 CT와 PT에서 얻어진 값을 가지고 계산을 하였으며, ΔI전류 변화분과 마찬가지로 전기에 포함된 고조파를 이용하여 보다 지능화된 보호기의 설계를 위한 알고리즘을 제시하였다. 향후 지능형 보호계전기가 되기 위해서는 CT 및 PT에서 발생하는 전류와 전압의 왜곡 성향을 밝혀 내야하며, 인공지능 판단기능을 첨가하는 것이 필요하다.

[참고문헌]

[1] 이희용 et al. "전철시스템에서의 보호시스템에 관한 연구", 철도학회 춘계학술대회, 경주, 2004

[2] 추진부 et al., " 지능형 보호계전기 연구개발 (1), 전력연구원 보고서, 98 전력연-단394, 1998

[3]. 持永芳文 et al., "交流電氣鐵道の 保護方式と その動向", RTRI Report Vol. 13, No.7, '99. 7

[4]. 久水泰司 et al., 交流給電保護繼電器の 開發, RTRI Report Vol.12, No. 7, '98. 7

[5]. Charles A. Gross, " Power System Analysis", John Wiley & Sons, New York