

편단 CT 포화 고장 발생시 양단 전류 순시치를 이용한 전류차동계전기의 내·외부 고장위치 판별방안

Discrimination Method of Internal and External Fault of Current Differential Relay using Instantaneous Value of Current in Case of Fault with One end CT Saturation

이 명 희[†] · 최 해 술* · 김 철 환**

(Myoung-Hee Lee · Hae-Sul Choi · Chul-Hwan Kim)

Abstract - This paper presents a simple and practical method which enables to prevent malfunction of protection relay due to differential current caused by one end CT saturation in case of external fault. This method uses difference of magnitude(instantaneous value) between the both end current just before the occurrence of differential current without a separate method to CT saturation detection. One end CT saturation is simulated by current transformer model using type-96 component and the presented method is verified by using EMTP MODELS with respect to internal and external fault with one end CT saturation. The presented method distinguished rightly between external and internal fault with one end CT saturation. This information can be used to prevent malfunction of current differential protection relay in case of external fault. And this method is not affected by sampling rate and has no calculation burden, so it will be applicable to differential current protection relay with ease.

Key Words : Current differential relay, CT saturation, EMTP, External fault, Internal fault

1. 서 론

오늘날, 송전선로 보호를 위해 가장 많이 사용되는 보호 방식은 전류차동 방식과 거리계전 방식이다. 특히 전류차동 방식은 양단 전류의 벡터합과 스칼라합을 이용하여 고장유무를 판단하는 방식으로 거리계전 방식과는 달리 자기구간 100%에 대한 고장판별이 가능한 장점이 있다. 따라서, 전류차동 방식의 계전기는 주보호용으로, 거리계전 방식의 보호계전기는 후비보호용으로 주로 사용된다. 그러나, 송전선로 보호용으로 사용되는 전류차동 방식은 자단전류와 함께 원방의 상대단 전류를 고장판별을 위해 동시에 사용하므로 상대단 전류를 수신하기 위한 통신수단이 필요하고 통신에러 발생시 오동작 방지를 위한 적절한 대책이 구현되어야만 한다. 또한, 전류차동 방식의 특성상 외부고장 발생시에 한쪽 단에만 CT 포화가 발생했을 경우에는 차전류발생으로 인한 오동작의 가능성이 있으며, 실제로 선로 양단의 1차측 CT 정격이 서로 다른 경우 외부고장 발생시 혼하게 나타날 수 있는 현상이다. 특히나 계통용량이 커짐에 따라 근단고장시 고장전류도 더 커져 CT 포화 가능성도 더 증가하게 되어 오동작 방지를 위한 외부고장시 CT포화 검출기능은 더욱

중요해졌다. 이와 같은 결과로 CT 포화 검출을 위한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 과형모양에 따른 차전류 발생유/무의 반복현상에 따른 검출 방법[1], 차분방정식을 이용한 방법[2]등이 있다. 그러나, 지금까지 제시된 많은 방법 중에서 복잡성, 실시간 연산의 문제등 여러 가지 이유로 실제 보호계전기에 적용된 것은 그리 많지 않은 편이다.

따라서, 본 논문에서는 송전선로 보호용 전류차동계전기의 동작성능을 만족시키면서 별도의 CT 포화 검출방안 없이 차전류 발생직전의 양단 전류 순시치 크기차를 이용하여 외부고장시에 발생한 편단 CT 포화에 의한 오동작을 방지할 수 있는 간단하고 실용적인 방안을 제시하였다. 본 논문에서 제시된 방안은 기존의 방식에 비해 수식을 통한 별도의 포화검출 알고리즘을 사용하지 않아 비교적 간단하고 구현이 용이하며, 정확도를 높이기 위한 샘플링의 횟수에도 제한을 받지 않는 장점이 있다. 또한, 외부고장시 고장전류의 크기에 따라 90도 이전에 발생한 비교적 초기시점에 발생한 CT 포화에도 계전기의 오동작 방지를 기대할 수 있다.

2. 본 론

2.1 전류차동계전기의 특성

송전선로 보호를 위한 전류차동계전기는 자단과 상대단 전류의 벡터합을 동작력으로 스칼라합을 억제력으로 한다.

즉, 그림 1과 같이 정상시에는 벡터합(동작력)의 크기가 거의 0이 되고, 고장시에는 그 크기가 증가하게 되는 원리를 이용하여 고장을 검출한다.

[†] Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Sungkyunkwan Univ., Korea
E-mail : mhlee90@skku.edu

* Dept. of Electronic, Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan Univ., Korea

** School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan Univ., Korea

Received : July 31, 2012; Accepted : October 30, 2012

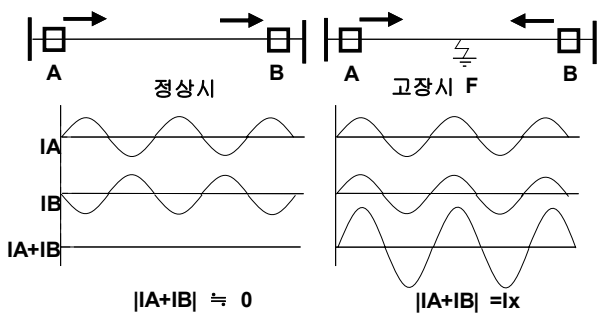


그림 1 전류차동계전기의 동작원리
Fig. 1 Operation principle of current differential relay

이를 이용하여 고장을 검출하기 위한 특성곡선은 그림 2(a)와 같으며, 큰 고장전류에서 발생할 수 있는 CT포화에 의한 오동작을 방지하기 위해 대전류 영역 특성곡선의 기울기를 조정할 수 있도록 되어 있다. 일반적으로 외부고장시 편단 CT 포화에 의한 오동작은 그림 2(b)의 동작계좌와 같이 대전류 영역에서 보다는 소전류 영역과 대전류 영역 경계점 근처의 동작영역에서 발생한다.

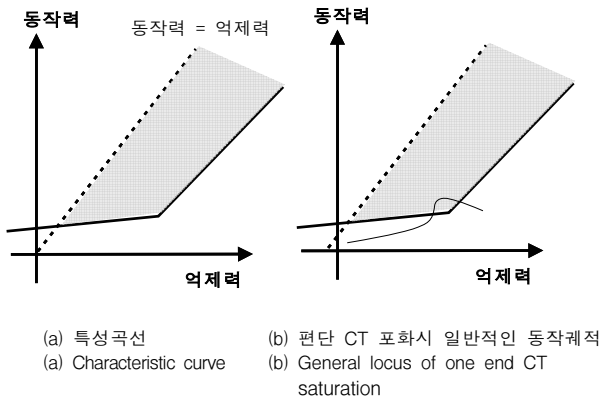


그림 2 전류차동계전기의 특성곡선
Fig. 2 Characteristic curve of differential current relay

2.2 내·외부 고장시 전류파형의 형태 분석

운전중인 선로에 고장이 발생했을 때 고장전류의 크기는 부하전류에서 고장전류로 증가하게 된다. 일반적으로 고장전류의 크기는 (고장발생 시점부터 포화되는 극심한 경우를 제외하면) CT 포화 여부와 관계없이 부하전류의 크기와는 뚜렷이 구분될 수 있을 만큼 차이가 발생한다. 그림 3은 내부/외부고장시 CT 포화가 발생하지 않은 경우, 그림 4는 내부/외부고장시 CT 포화가 발생한 경우에 대한 일반적인 전류의 형태를 나타낸다.

그림 4의 경우에서, CT 포화가 고장발생 직후부터 발생하지만 않는다면, 내부/외부고장간 차전류 발생전 전류의 순시치 크기는 서로 구분될 수 있을만큼 큰 차이가 발생하게 됨을 알 수 있다.

이와 같은 특징은 전류차동 보호계전기의 경우에 있어 CT 포화여부에 관계없이 고장시 발생한 차전류가 내부고장

으로 발생했는지 외부고장으로 발생했는지 판단할 수 있는 근거가 될 수 있다. 즉, 내부고장과 외부고장시의 차전류 발생전 전류 순시치의 크기를 비교함으로써 별도의 CT 포화 검출 알고리즘 없이 외부고장시 CT 포화에 의해 발생한 차전류에 의한 오동작을 방지할 수 있다.

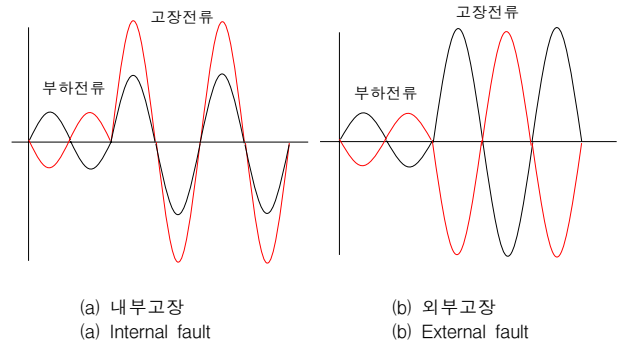


그림 3 고장전류의 파형형태
Fig. 3 Waveform of fault current

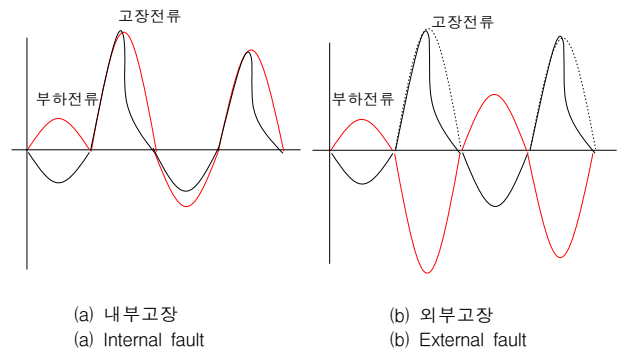


그림 4 CT 포화시 고장전류의 파형형태
Fig. 4 Waveform of fault current when CT saturation occurs

한주기에 12샘플링을 하는 보호계전기 경우에 대한 예를 그림 5에 나타내었다. 일반적으로 보호계전기는 아주 짧은 순간적인 외란에 의한 동작을 방지하고 확실한 고장상태에서 동작하기 위해 규정된 동작시간을 넘어가지 않는 범위 내에서 수차례(보통 2~4회) 연속으로 고장상태임을 인지한 후에 트립을 발생시킨다. 여기서는 4회 초과하여 인지하면 트립을 발생시키는 것으로 설정하며 CT 포화발생은 고장발생 3샘플 이후에 시작되는 것으로 가정한다. 따라서, 이 가정하에서는 3회 이하로 차전류가 발생하고 소멸하는 경우는 외부고장으로 쉽게 판단할 수 있으므로, 고장의 내부/외부 판단은 차전류 4회이상 발생시의 경우만을 고려하면 된다.

내부고장 편단 CT 포화발생 상태인 그림 5(a)를 보면 차전류가 4회 연속으로 발생한 시점 ⑤로부터 4개전의 위치 ①에서의 전류는 부하전류와 비슷한 크기이며, 그림 5(b)의 외부고장 CT 포화발생시에는 차전류 발생 바로 직전의 위치 ①에서의 전류는 고장전류가 되므로 부하전류의 크기와는 확실히 구분됨을 알 수 있다.

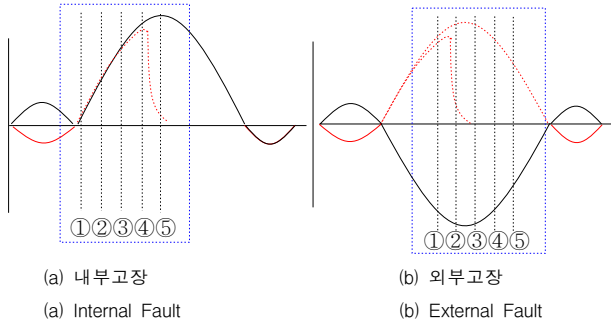


그림 5 12 샘플링시 내부/외부 고장의 구분
 Fig. 5 Discrimination of Internal and External fault in case of 12 sampling

2.3 내·외부 고장 판별 알고리즘

2.2절의 그림 5와 같은 방법으로 CT 편단 포화시 내외부 고장을 판별하도록 제안된 알고리즘은 차전류 발생시점을 판단하기 위한 양단 전류의 벡터합, 1차적인 판별요소로 사용되는 차전류의 연속발생 횟수, 내외부 고장여부를 최종적으로 판단하기 위한 차전류 발생전 양단 전류의 스칼라합과 기준 크기값으로 구성된다. 여기서, 양단 전류의 벡터합과 차전류 발생횟수는 별도의 추가구현없이 전류차동계전 기법에서 기본적으로 구현되어야 하는 사항이며, 스칼라 합 역시 매 샘플마다 연산되는 값이므로 쉽게 구할 수 있다. 마지막 요소인 내외부 고장 구분을 위한 스칼라 합 기준 크기값은 사전에 부하전류의 크기 및 대상 계통의 고장 모의를 통해 최소고장전류의 크기를 예상할 수 있으므로 정정을 통해 정확한 값의 설정이 가능하다. 그림 6에 제안된 알고리즘의 간략한 순서도를 나타내었다. 그림 6에서 차전류의 연속 발생 횟수 n은 적용할 계전기의 트립 특성에 따라 설정해 주면 된다.

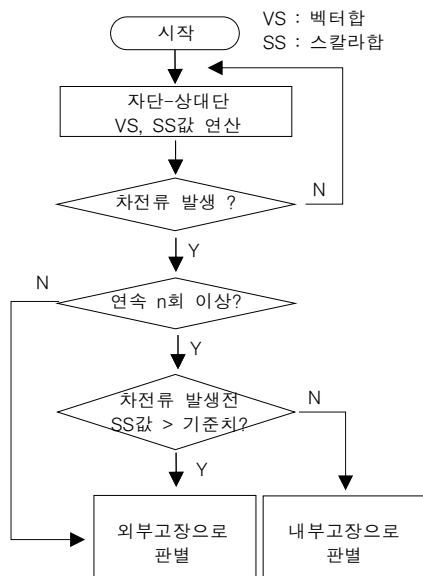


그림 6 알고리즘 순서도
 Fig. 6 Flowchart of algorithm

2.4 모의

앞의 2.2, 2.3절에서 설명한 방식의 편단 CT 포화시 내외부 검출 알고리즘을 검증하기 위한 모의를 수행하였다. 대개 부하전류는 정격전류 5A를 넘지 않으므로 내·외부 고장을 판별하기 위한 부하전류와 고장전류에 대한 크기 기준값은 5A로 하였으며, 최소동작치에 대한 정정값을 기준으로 하는 차전류 발생여부를 판단하기 위한 값은 3A로 하여 제안 알고리즘을 모의하였다.

CT 포화고장시 차전류 발생전 전류 순시치의 크기를 이용한 내·외부 고장판별 알고리즘을 검증하기 위해 다음과 같은 모델 계통을 이용하였다. 모델 계통의 전압은 154kV이며, 선로 길이는 2.5km이다.



그림 7 모델 계통
 Fig. 7 Model system

계통고장시 한쪽단에만 CT 포화를 발생시키기 위해 type-96 소자를 이용한, 포화점이 2.047A, 1.512Vs이고 CT 비가 2000:5인 변류기 모델을 사용하였으며[3], 표 1과 같이 다양한 잔류자속의 경우에 대해 각 상별 내·외부고장을 모의하였다.

표 1 모의 종류
 Table 1 Simulation case

고장상	고장위치	잔류자속
A상	외부(0km)	-80%, -40%, 0%, 40%, 80%
	내부(1.5km)	
B상	외부(0km)	-80%, -40%, 0%, 40%, 80%
	내부(1.5km)	
C상	외부(0km)	-80%, -40%, 0%, 40%, 80%
	내부(1.5km)	

이상과 같은 계통의 모델링 및 알고리즘 구현 및 검증을 위해 EMTP MODELS[4]를 이용하였으며, 주기당 12샘플링한 데이터를 사용하였다.

2.5 모의결과

각 상별 동일한 결과를 나타내게 되므로 본 논문에서는 대표적으로 A상에 대한 모의결과만을 나타내었다.

그림 8은 잔류자속이 0%인 경우의 내·외부고장에 대한 자단, 상대단 전류파형 및 외부고장 CT 포화검출 결과를 나타낸 것이다. 여기서, LIA는 자단전류, RIA는 상대단 전류, TRIP은 계전기 트립여부, EXTCTS는 외부고장시 CT 포화검출 여부를 표시하고 있다. 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 CT 포화가 일어난 내부고장시에 EXTCTS는 검출되지 않았지만, CT 포화가 일어난 외부고장시에는 TRIP 신호

발생전에 EXTCTS가 검출되었음을 알 수 있다. 따라서, EXTCTS가 검출시에 트립블럭 혹은 특성곡선의 변화를 통해 외부고장시 전류차동계전기가 오동작하는 현상을 방지할 수 있다. EXTCTS 신호는 고장이 제거되어 해당상 UV요소가 해소되었을 때 소멸되도록 하였다.

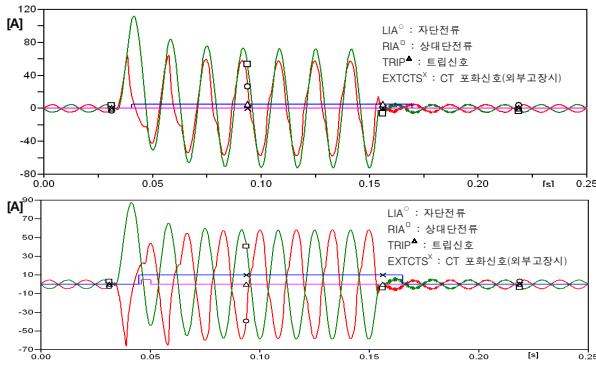


그림 8 잔류자속 0%시 내부고장(위)와 외부고장(아래)
Fig. 8 Internal(above) and external(below) fault in case of 0% remanent flux

그림 9는 그림 8의 경우에 대한 전류차동계전기의 동작 궤적을 나타낸 것으로 외부고장시 편단 CT 포화가 발생할 경우에는 궤적이 동작영역 내부에 위치하여 이에 대한 대책이 없을 경우 계전기가 오동작 할 수 있음을 보여준다.

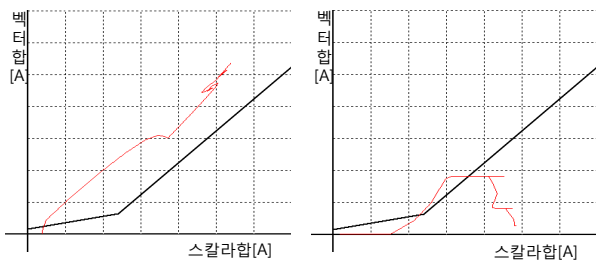


그림 9 잔류자속 0% 내외부 고장시 동작 궤적
Fig. 9 Operation locus in case of 0% remanent flux

그림 10은 그림 8의 외부고장시의 파형에 대한 차전류를 12샘플 데이터로 나타낸 것이며, EXTCTS 발생신호는 표 2에서와 보는바와 같이 정확히 4번째 차전류가 나타난 시점에서 발생했음을 알 수 있다.

표 2 차전류와 EXT 신호 발생

Table 2 Differential current and EXTCTS signal occurrence

자단전류	상대단전류	차전류발생	EXTCTS 신호
-64.954	68.268	3.314(x)	x
-24.630	84.483	59.853(o)	x
-7.177	86.915	79.738(o)	x
5.914	74.375	80.289(o)	x
16.229	49.045	65.274(o)	o

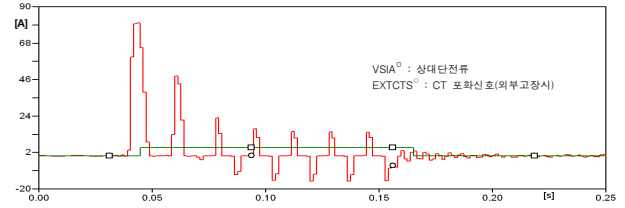


그림 10 잔류자속 0% 외부고장시의 차전류(12 샘플)
Fig. 10 Differential current(12 samples) in case of external fault at 0% remanent flux

그림 11과 그림 13은 각각 잔류자속 -40%와 -80%에 대한 경우의 내·외부고장 모의 결과로 외부고장시에는 모두 TRIP 신호가 발생하기 전 적절한 시점에서 EXTCTS 신호가 검출되었음을 알 수 있으며, 그림 12와 14는 각각 그림 11과 그림 13의 경우에 대한 전류차동 계전기의 동작궤적을 나타낸다.

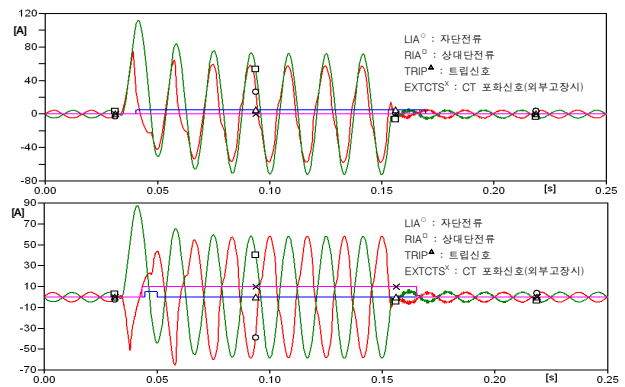


그림 11 잔류자속 -40%시 내부고장(위)와 외부고장(아래)
Fig. 11 Internal(above) and external(below) fault in case of -40% remanent flux

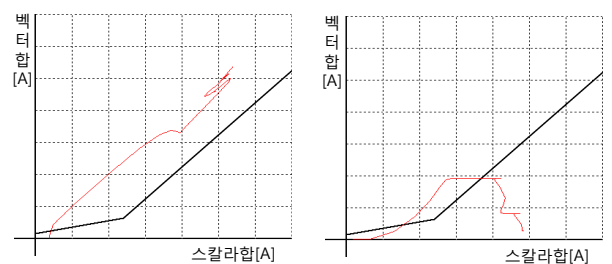


그림 12 잔류자속 -40% 내외부 고장시 동작 궤적
Fig. 12 Operation locus in case of -40% remanent flux

그림 15는 잔류자속 40%에 대한 모의 결과로 내부고장시에는 EXTCTS 신호가 발생하지 않았으며, 한쪽단 CT가 포화되어 차전류가 발생하는 외부고장시에는 전류차동계전기가 오동작하지 않을 수 있도록 EXTCTS 신호가 TRIP 신호보다 먼저 발생하였음을 알 수 있다. 그림 16은 이 경우에 대한 계전기의 동작궤적을 나타낸다.

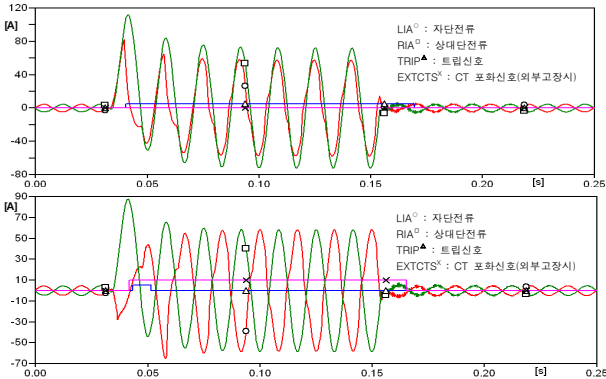


그림 13 잔류자속 -80%시 내부고장(위)과 외부고장(아래)
 Fig. 13 Internal(above) and external(below) fault in case of -80% remanent flux

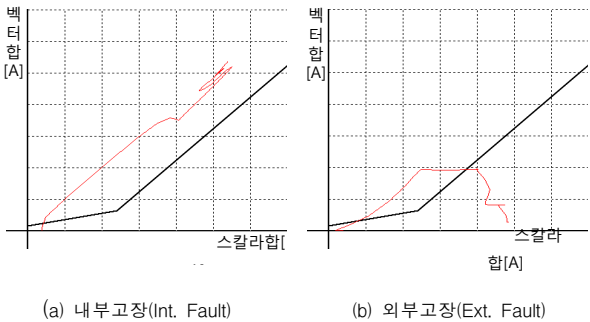


그림 14 잔류자속 -80% 내외부 고장시 동작 궤적
 Fig. 14 Operation locus in case of -80% remanent flux

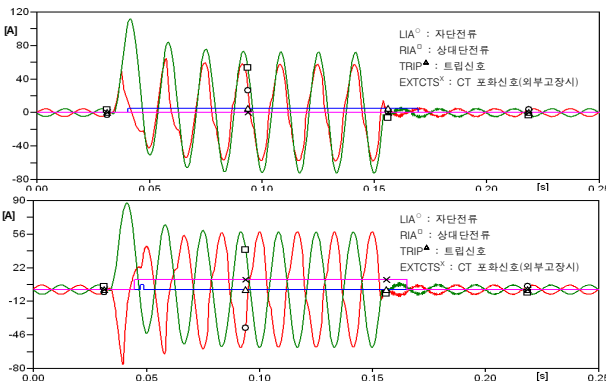
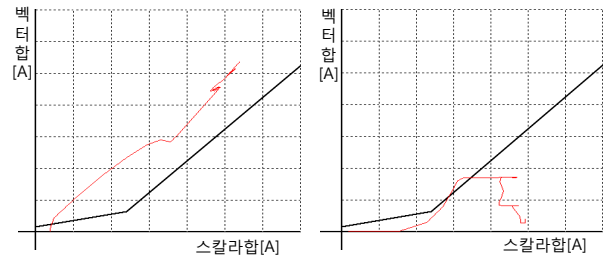


그림 15 잔류자속 40%시 내부고장(위)과 외부고장(아래)
 Fig. 15 Internal(above) and external(below) fault in case of 40% remanent flux

그림 17은 잔류자속 80%에 대한 모의 결과로 내부고장시에는 EXTCTS 신호가 발생하지 않았으며, 한쪽단 CT가 포화되어 차전류가 발생하는 외부고장시에는 TRIP 신호가 발생하지는 않았지만 외부고장시 CT 포화여부를 알려주는 EXTCTS 신호가 발생하였다. 이 모의 결과에서는 외부고장시에 CT 포화가 발생되어 차전류가 발생하였으나 동작궤적이 대전류 영역 아래쪽에 존재하여 TRIP 신호를 발생하지 않았음을 그림 18을 통해 알 수 있다.



(a) 내부고장(Int. Fault) (b) 외부고장(Ext. Fault)
 그림 16 잔류자속 40% 내외부 고장시 동작 궤적
 Fig. 16 Operation locus in case of 40% remanent flux

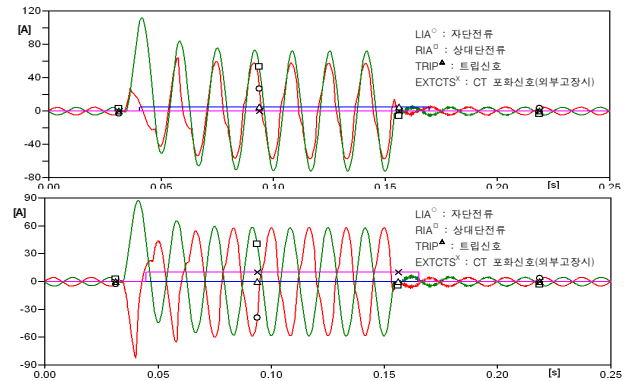
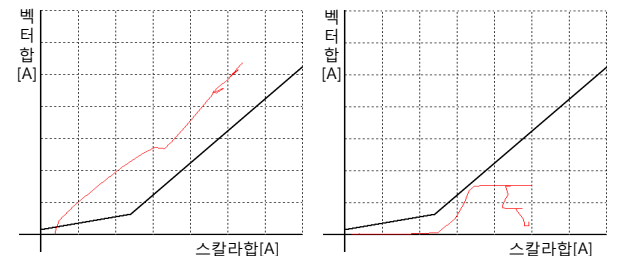


그림 17 잔류자속 80%시 내부고장(위)과 외부고장(아래)
 Fig. 17 Internal(above) and external(below) fault in case of 80% remanent flux



(a) 내부고장(Int. Fault) (b) 외부고장(Ext. Fault)
 그림 18 잔류자속 80% 내외부 고장시 동작 궤적
 Fig. 18 Operation locus in case of 80% remanent flux

3. 결론

본 논문에서는 계통고장시 한쪽단에만 CT 포화가 발생했을 경우 고장 발생지점이 보호영역 내부인지 외부인지를 구별하기 위한 알고리즘을 제시하였으며, 제시된 알고리즘은 차전류 발생전 순시 전류의 크기를 이용하는 것으로서 외부고장시 편단 CT 포화에 의한 전류차동계전기의 오동작을 방지할 수 있다.

EMTP 및 EMTP MODELS를 이용한 모의를 통해 제시된 알고리즘을 검증하였다. 다양한 잔류자속 상태의 변류기 모델을 이용해 편단 CT 포화를 발생시켜 모의 시험한 결과

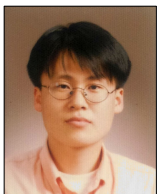
내부/외부 고장을 올바르게 인식하였고, 특히 CT 포화로 인해 차전류가 발생한 외부고장의 경우 트립발생전에 외부고장 포화 신호를 검출함으로써 계전기의 오동작을 방지할 수 있음을 보였다.

제시된 알고리즘은 간단히 차전류 발생전 순시전류의 크기만으로 편단 CT 포화시 내부/외부 고장위치를 판단할 수 있고, 샘플링 횟수에 관계없이 적용가능하며 연산부담이 거의 없어 실제의 전류차동 계전기에 쉽게 적용이 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] Mitsubishi Electric Corporation, Instruction manual of MDT-H, PCM current differential relay scheme for KEPCO.
- [2] Y.C.Kang, S.H.Ok, S.H.Kang, "An Algorithm for Detecting CT Saturation", KIEE, Vol. 50A, No. 6, pp275-278 2001
- [3] S.H.Kang, EMTP Summer Course, "System Protection Modelling and Application Case Study", August, 2006.
- [4] Gabor Furst, "MODELS PRIMER", 1995.

저 자 소 개



이 명 희 (李明熙)

1971년 1월 2일생. 1996년 2월 성균관대 공대 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 박사과정 수료
E-mail : mhlee90@skku.edu



최 해 술 (崔亥述)

1971년 2월 24일생. 1997년 2월 성균관대 공대 전기공학과 졸업(석사). 2006년~ 현재 성균관대 전자전기컴퓨터 공학과 박사과정
E-mail : haesul4078@skku.edu



김 철 환 (金喆換)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신대학 교수, 전력IT 인력양성센터 센터장
E-mail : hmwkim@hanmail.net