

2회선 송전선로의 새로운 디지털 평형계전방식

권기백 박철원 정호성 · 신명철 박재세 남시복
 LG산전연구소 국립원주전문대 성균관대학교 인천시립전문대 신성전문대

A New Digital Balance Relaying Technique in Two Parallel Transmission Lines

K.B.Kwon C.W.Park H.S.Jung · M.C.Shin J.S.Park S.B.Nam
 LGIS Lab. W.J. Natl Jr.College S.K.K.Univ. I.C. Jr.College S.S.Jr.College

Abstract - This paper presents a new digital balance relaying technique in two parallel transmission lines. To obtain relaying signals, selected model is simulated using EMTDC. Test results of the proposed method show efficacy.

여 편전원이 있는 경우, 지근단 사고시, 약전원(weak source)이 있는 경우 등의 다양한 고장조건을 통해 정확하고 신속히 동작할 수 있는 새로운 전류평형계전방식을 제안하고, EMTDC의 출력데이터(3,4)를 이용하여 그 우수성을 입증하였다.

2. 본 론

1. 서 론

1970년대초 부터 반도체 기술의 발달과 더불어 마이크로 프로세서를 이용한 디지털 계전기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이는 종래의 아날로그 계전기법에 비해 수치연산의 고속실행, 자기진단, 이상 감시기능 및 제어장치와의 연계가 용이한 장점들을 가지고 있다. 일반적으로 계통보호에는 고장시 발생하는 과도전류 또는 전압을 이용하여 고장을 해석, 보호하게 된다. 특히 송전선의 경우에는 점차 고압화, 장거리화 되면서 고장이 발생했을 때의 파급효과는 매우 크기때문에 신속하게 고장을 판단하고 이를 제거하는 것이 무엇보다도 중요하다[1].

한편 송전선로의 구성에 따라서 다양한 보호계전방식이 적용되는데, 일반적으로 1회선 중심으로 보호 알고리즘을 개발하고 적용하는 형태로 이어왔으며 타회선의 영향을 고려하더라도 각각 회선에 적용하는 보호방식이였다. 따라서 2회선을 하나의 단위로 보고 보호하는 방식인 평형계전방식이 제안되었다. 그러나 기존의 평형계전방식은 전류평형계전방식과 전력평형계전방식은 다양한 계통고장에 대해서 적절히 대응하지 못하였다. 각 회선의 전류를 비교하는 방식인 전류평형계전방식은 편전원이 있는 경우에 양 선로에 흐르는 전류의 크기는 거의 같아져서 부동작하고, 또한 양전원이 있는 경우에도 단락용량이 작은 쪽에서 지근단 사고가 발생하면 같은 현상을 일으킨다. 또 다른 평형계전방식으로써 전력 방향계전기는 방향을 판단하기 위해서 전압을 이용하기 때문에 지근단 3상 고장이 발생하면 계전기의 오동작을 하게된다[2].

본 논문에서는 상기와 같은 계전기의 오동작을 방지하는 전류의 변화분을 이용하는 새로운 계전방식을 제시하였다. 즉 각 회선의 선로에서 전류의 변화분을 이용하

2.1 제안된 방식의 전류 평형 계전방식

일반적으로 사용되는 방향 계전방식은 전압과 전류의 위상각을 비교하거나 한 전류의 위상각이 다른 전류의 위상각과 비교할 수도 있다. 만약 계전기 설치점 근처에서 고장이 발생하면 전압이 소멸하기 때문에 방향을 판별할 수 없다. 이런 관점에서 제안된 방식은 전류의 차에만 의존하기 때문에 전압소멸의 문제점을 극복할 수 있다. 고장의 발생은 계전기 설치점에서 정상상태의 고장전 전류로부터 고장후 전류를 변화시킨다. 송전선로의 한단에서 식(1)과 식(2)로 표현될 수 있다.

$$\Delta i_1(k) = i_1(k) - i_1(k-n) \quad (1)$$

$$\Delta i_2(k) = i_2(k) - i_2(k-n) \quad (2)$$

여기서, Δi_1 과 Δi_2 는 고장에 의해 발생된 전류변화

i_1 과 i_2 는 선로1과 선로2에서의 각 상에 대한 전류

k 는 가장 최근 샘플

n 는 1 주기당 샘플수이다.

제안된 방식은 시작요소(the starting element)와 차동요소(the differential element)로 나누어 설명할 수 있다. 우선, 시작요소는 계전기 동작을 초기화하는 첫번째 단계로써 고장후 전류의 크기는 특정한 한도에 의해 고장전 전류의 크기를 초과할 때 초기화 할 수 있다. 그리고 계전기 동작의 안정성을 증가시키기 위해서, 식(3)처럼 고장전후 전류의 합으로써 표현할 수 있다.

$$\sum_{k=1}^n |i_1(k)| \quad \text{와} \quad \sum_{k=1}^n |i_2(k-n)| \quad (3)$$

여기서, k 는 가장 최근의 샘플이다.

그의 $\Delta i_1(k)$ 과 $\Delta i_2(k)$ 비교는 보호영역에서 내부고장과 외부고장을 식(4)와 식(5)을 이용하여 구별할 수 있다. 리고 차동요소는 내부고장과 외부고장을 판별하는 요소이며, 선로1과2의 전류 변화분

외부고장에 대해서

$$|\Delta i_1(k)| = |\Delta i_2(k)| \quad (4)$$

내부고장에 대해서

$$|\Delta i_1(k)| \neq |\Delta i_2(k)| \quad (5)$$

내외부 고장을 판단한 후 내부고장이면 식(6)과 식(7)을 이용하여 고장상과 건전상을 구별할 수 있다.

If $|\Delta i_1(k)| > |\Delta i_2(k)|$ Line 1 고장. (6)

If $|\Delta i_1(k)| < |\Delta i_2(k)|$ Line 2 고장. (7)

또한 보호 알고리즘의 완전성(integrity)과 신뢰도(reliability)를 증가시키기 위해 다음의 식(8)로 표현할 수 있다.

$$\sum_{j=1}^k \Delta i_{12}(j) = \sum_{j=1}^{k-1} \Delta i_{12}(j) + |\Delta i_1(k)| - |\Delta i_2(k)| \quad (8)$$

여기서,

$$\Delta i_{12}(j) = |\Delta i_1(j)| - |\Delta i_2(j)| \quad \text{단, } j=1,2,3,\dots, k$$

$\sum_{j=1}^k \Delta i_{12}(j)$ 는 차동전류신호 k번째 샘플까지

두 선로에서 편차신호크기의 차의 합이다.

2.2 사례 연구

2.2.1 시뮬레이션 방법

본 논문에서는 EMTDC(Electro-Magnetic Program DC)를 이용하여 고장신호를 얻었다. 고장신호를 얻기 위해 세운 계통모델은 그림1과 같고, 전원은 154 [kv], 2회선 송전선로로서 80(km)의 공장을 갖고, 선로정수와 전원데이터는 표1과 같다.

전원 54[kv] 송전선로 80km 송전선로 80km 전원 54[kv]

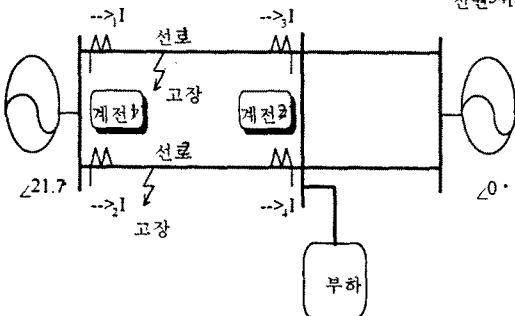


그림1 병렬 2회선 송전선의 모델계통

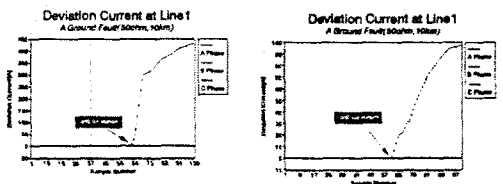
표1 병렬 2회선 송전선의 전원과 선로 데이터

전원 1	정상분 %임피던스	1.749∠82.61°
	역상분 %임피던스	1.701∠82.84°
전원 2	정상분 %임피던스	4.330∠79.50°
	역상분 %임피던스	2.115∠83.21°
선로	정상분 %임피던스	1.974∠83.02°
	역상분 %임피던스	5.000∠78.52°
부하	정상분 %임피던스	0.0184+j0.1454
	역상분 %임피던스	0.1006
	상호 %임피던스	+j0.44068
부하	정상분 %임피던스	0.0822
	상호 %임피던스	+j0.23772
부하	임피던스	80+j6.36

제안된 알고리즘의 우수성을 입증하기 위하여 다음과 같은 다양한 고장조건으로 시험하였다. 즉 고장저항의 영향, 지근단 고장, 편전원이 있는 경우, Cross - Country 고장이 발생한 경우를 살펴보았다.

2.2.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

우선, 선로1과 선로2에서 1선지락고장과 2선지락고장을 발생시켜서 계전기1과 계전기2에 의해 정확히 고장선로와 고장상이 구별되는지를 살펴보았다. 그림 2(a)에서 처럼 선로1에서 고장저항 50 [ohm], 고장거리 10[km], A 상 지락고장이 발생되었을 때 계전기 1은 고장 직후의 전류의 변화분을 인식하여 정확하게 선로1에서 A상 고장을 검출할 수 있다. 마찬가지로 계전기2에서도 그림 2(b)에서 나타내듯이 정확하게 고장을 검출할 수 있다.

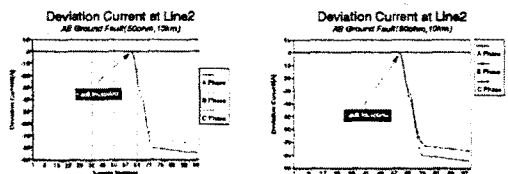


(a) 계전기 1

(b) 계전기 2

그림 2 선로1에서 1선지락고장

또한 선로2에서 동일한 조건하에서 2선지락고장이 발생되었을 때도 그림 3(a),(b) 처럼 계전기1,2에 의해 선로2에서 2선지락고장이 검출될 수 있다.



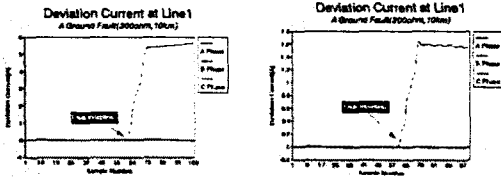
(a) 계전기 1

(b) 계전기 2

그림 3 선로2에서 2선지락고장

다음은 고장저항이 300[ohm]로 큰 경우이다. 그림

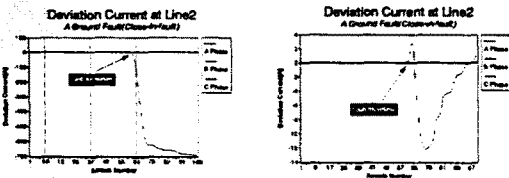
4(a),(b)에서 나타내듯이 선로1에서 1선지락고장이 발생하였을 때에도 계전기1,2에 의해 정확히 고장선로와 고장형태가 판별될 수 있다.



(a) 계전기 1 (b) 계전기 2

그림 4 선로1에서 1선지락고장 (고장저항 300[Ω])

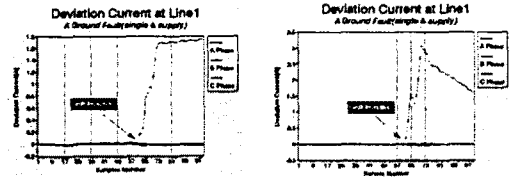
지근단 고장이 발생하였을 경우에는 전압이 소멸되므로 전압을 이용하는 계전기는 이에 대한 대책이 필요하다. 즉 전압을 기억하는 방식을 일반적으로 채택하고 있지만 이 또한 과거의 전압을 이용하기 때문에 계통의 현상에 민감하지 못한 단점이 있다. 그러나 제안된 방식을 통해 고찰한 결과 그림5(a)에서 나타내듯이 계전기 1에서는 고장난 선로, 고장형태를 정확하게 판별하였으며, 계전기 2에서는 그림5(b)에서 처럼 고장 순간 오동작한 결과를 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 다음과 같은 방법으로 해결할 수 있다. 우선 본 논문에서는 1주기당 12샘플링 하였다. 샘플수를 증가시키면 식(8)에서 나타내듯이 합의 구간이 커지므로 급속한 전류신호의 변화에 둔감하게 되어 결국 신뢰성 있는 계전동작을 낼 수 있다. 두 번째의 해결 방법은 본 논문에서는 전류신호를 전혀 필터를 거치지 않고 제안된 방식에 적용하였다. 따라서 위와 같은 순간 오동작은 입력된 전류신호를 필터를 거치고 난 후 제안된 방식에 적용한다면 순간 오동작은 방지할 수 있다.



(a) 계전기 1 (b) 계전기 2

그림 5 선로2에서 지근단 A상 고장

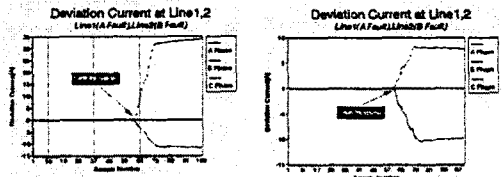
다음은 편전원이 있는 경우이다. 편전원으로 구성된 계통은 전원단에서 멀어질수록 고장전류의 크기는 작아진다. 따라서 선로를 보호하기 위하여 해당하는 계전기를 민감하게 설정하여 사용한다. 그림6(a),(b)에서 처럼 편전원이 있는 계통에서도 정확하게 고장선로와 고장형태의 판별할 수 있다. 즉 그림6(a)에서는 계전기1측에 의해서 선로1, A상 고장이 판별됨을 나타내며, 계전기2측에 의해서도 선로1, A상 고장이 판별됨을 그림6(b)에서 나타내고 있다.



(a) 계전기 1 (b) 계전기 2

그림 6 편전원인 경우 선로1에서의 1선지락고장 (고장저항 50[Ω],고장거리70(km))

Cross-Country 고장이 발생한 경우를 살펴보았다. 이 고장은 한 회선에 고장이 발생하고 동시에 또 다른 회선에서도 고장이 발생하는 경우로서 1회선에 적용되는 보호계전기에서는 이런 고장형태에 대해서 서로 다른 회선에서 발생된 고장이 한 회선에서 발생된 고장처럼 인식하게 된다. 그러나 전류의 증가분을 이용한 평형계전기는 이러한 고장에 대해 그림7(a),(b)에서 나타내고 있듯이 고장선로와 고장형태를 정확히 구별할 수 있다. 즉 계전기1,2측에 의해 선로1의 A상 1선지락고장과 선로2의 B상 1선지락고장이 판별될 수 있다.



(a) 계전기 1 (b) 계전기 2

그림7 선로1에서 1선지락고장(고장거리10(km)) 과 선로2에서 1선지락고장(고장거리 15(km))

그러므로 고장저항, 지근단 고장, 편전원이 있는 경우, Cross-Country 고장이 발생한 경우 등의 다양한 계통 조건에서 제안된 알고리즘의 타당성과 그 유효성을 입증하였다. 그러나 지근단 고장과 같은 전류신호의 변화가 심한 경우에 대비해서 필터를 거친 입력신호로써 제안된 알고리즘을 수행한다면 좀 더 신뢰성이 있는 계전기가 될 것으로 생각된다.

3. 결 론

본 논문에서는 2회선을 하나의 단위로 보아 각 회선의 전류의 증가분만을 이용한 평형계전기를 제안하였으며 그 유효성과 타당성을 검증하기 위해 각 종 다양한 고장 조건하에서 살펴보았다. 고장저항의 변화에 대한 영향, 지근단 고장에 대한 영향, 편전원으로 구성된 계통에서의 고장이 발생했을 경우, Cross-Country 고장이 발생하였을 경우 등의 다양한 계통조건에서도 제안된 알고리즘을 이용하여 2회선을 보호할 경우 정확하게 고장선로

와 고장형태를 판별할 수 있었다. 향후 단자수의 확장의 영향, 디지털 필터로 입력신호를 처리한 경우, 좀더 다양한 계통조건에서의 시험 등을 살펴보아야 할 것이다. 또한, RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용하여 실시간으로 알고리즘을 검증해야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- (1) 중산경조, 보호계전시스템, 1985, pp.58 ~ 66.
- (2) O.P. Malik et al., A New Digital Directional Transverse Differential Current Protection Technique, IEEE WM 015-8, PWRD., 1996.
- (3) Manitoba HVDC Rearch Centre, PSCAD Manual, 1995.
- (4) 한국전력공사 발전처, 계통보호업무참고자료, 1981.