

차단기 아크점점의 마모저감을 위한 차단시점제어

이우영, 박경엽, 오연호, 정진교, 김희진*
한국전기연구원, 비츠로테크(주)*

Control of the Breaking Instant for Mitigating Contact Wear of Circuit Breaker

W.Y. Lee, K.Y. Park, Y.H. Oh, J.K. Chung, H.J. Kim*
Korea Electrotechnology Research Institute, Vitzrotech Co.*

Abstract - The arcing contact wear of circuit breakers can be the major cause for the maintenance requirement. The control of arcing times as short as possible but larger than the given minimum arcing time may be the effective way to mitigate the contact wear and to lessen the expenditure of a maintenance. In this paper the method for minimizing the arcing time is described. The basic concept used in the proposed method is the estimation of the current interruption instant from the informations such as the phase angle at the instant of trip commands and the magnitude of interrupted currents.

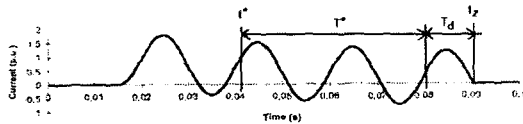
1. 서 론

차단기에 개폐제어기능의 도입은 마이크로프로세서 및 신호처리 분야와 같은 주변기술의 발전으로 인하여 점차 적용영역을 확장해 가고 있다.[1-5] 특히 조상설비와 같은 개폐과도현상의 완화 작용을 위하여 많은 관심의 대상이 되어왔으며 사고전류 차단시의 점점마모 감소를 위한 방안으로도 점차 적용을 실시하고 있는 추세이다. 이는 차단기의 life cycle cost를 최소화하고 유지보수를 위한 소호부 해체로 기인되는 신뢰성 저감에 대한 대책으로 적용되어질 수 있다.

본 논문에서는 계통회로 시정수와 접지상태 그리고 최소 차단시간 등의 관련정보를 바탕으로 최소 아크시간으로 각상의 사고전류를 차단할 수 있는 차단기 트립시점의 제어 방안을 제시하였다.

2. 개극시점 선정

차단기가 사고전류를 차단하는 데는 차단기 점점의 개극에 필요한 시간(opening time)과 전류차단을 위한 최소 아크시간(minimum arcing time)으로 구성되는 최소 차단시간(break time)이 필요하게 된다. 그리고 실제 전류가 차단되는 시점은 최소 차단가능시간 이후에 만나게 되는 첫 번째 전류 영점에서 이루어진다. 이러한 전류차단의 특성은 점점 간 아크발생의 시간이 전류위상에 대한 개극시점에 따라 달라질 수 있음을 뜻한다.



t*: 차단기 트립신호 발생시점

t2: 전류차단시점

T*: 최소차단시간 (opening time + 최소 아크시간)

Td: 지연시간

그림 1 사고전류의 차단동작 과정

크기가 임의로 변화되는 상황에서 수십 ms 이후의 전류 차단시점을 예측하는 것이 필요하다. 그림 1은 DC분이 포함된 전류파형에 있어 차단과정에 필요한 시간들을 표시한 것이다.

차단동작 과정을 바탕으로 계전기와 같은 외부의 동작지령 발생기로부터 주어지는 차단기 트립신호 발생시점에서 실제 동작이 이루어져야하는 시점까지의 지연시간은 전류차단의 영점을 예측하기위한 다음과 같은 몇 가지의 단계를 통해 연산되어진다.

단계 1: 사고전류의 크기 추정

직류성분이 포함된 사고전류로부터 전류의 크기를 추정하는 것은 차단기의 트립신호가 주어지는 시점에 대한 순수교류성분의 전류신호 상의 위상각을 추정하기위해 요구되어지는 과정이다. 사고발생으로부터 차단기 트립신호 입력시점까지는 릴레이 동작시간이 필요하게 되는데 이 기간동안의 사고전류신호로부터 최대 기울기를 측정함으로써 식(1)과 같은 관계로 전류치를 연산한다.

$$I_m \approx \text{Max.} \{ |dI_{SC}(t)/dt| \} / \omega \quad (1)$$

단 Im은 사고전류의 첨두치, I_{SC}(t)는 사고전류를 그리고 ω는 각속도를 나타낸다. 이는 사고전류의 기울기는 직류성분의 기울기와 교류성분의 기울기 합으로 이루어지는데 적용되는 계통의 시정수가 통상 45ms정도로 직류분의 기울기는 교류분의 변화정도에 비하여 일반적으로 아주 작기 때문에 고려하지 않아도 추정 결과에는 큰 영향이 미치지 않는다. 그리고 최대 기울기가 발생되는 시점은 전류신호의 교류성분이 영점을 통과하는 시점으로 식 (2)와 같이 주어지는 전류신호 기울기의 표현식으로부터 cos(ωt)의 값이 '1'이 되는 시점이 되므로 이러한 사항들을 적용하면 식 (1)과 같은 사고전류 값을 추정할 수 있는 관계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dI_{SC}(t)}{dt} = I_{DC}(t)' + \omega I_m \cos(\omega t) \quad (2)$$

여기서 I_{DC}(t)'는 사고전류 직류분의 기울기를 나타낸 것이다.

단계 2: 차단기 트립신호 시점의 위상각

차단기 트립신호가 입력되는 시점에서 통전되는 전류신호의 크기와 기울기를 측정하여 이때의 위상각을 추정할 수 있다. 앞서 식 (2)에 의해 표시된 전류 기울기 식으로부터 변화율이 상대적으로 작은 I_{DC}(t)'를 무시하면 위상각은 식 (3)과 같이 주어지는데 전류크기 Im만 알게 되면 위상각을 추정할 수 있게 된다.

$$\omega t = \cos^{-1} \left(\frac{dI_{SC}(t)}{dt} / \omega I_m \right) \quad (3)$$

따라서 차단기 아크 점점의 마모저감을 위한 적절한 차단시점 제어를 위해서는 사고전류의 크기와 DC분 전류

한 가지 유의해야할 부분은 동일한 전류신호의 기울기가

한 주기 내에 두 곳의 위상각으로 주어지기 때문에 기율기의 변화경향을 적용하여 이를 구분하는 것이 필요하며 그림 2는 위상각 위치에 따른 기율기의 크기와 변화경향을 표시한 것이다. 여기서 전류 크기가 아니라 기율기가 사용된 것은 직류분 전류의 영향으로 위상각에 따른 전류 크기의 부호가 대칭전류의 경우와 동일하지 않기 때문이다. 그림 2에서는 전류의 기율기가 음의 값이면서 점차 커지는 경향을 가지게 되면 이는 3사분면의 위상각임을 뜻한다.

2사분면 (neg, dec)	1사분면 (pos, dec)
3사분면 (neg, inc)	4사분면 (pos, inc)

pos: 양의 값, neg: 음의 값
inc: 증가경향, dec: 감소경향

그림 2 위상각의 위치에 따른 전류기율기의 크기 및 변화상태

단계 3: 차단기 트립신호 시점의 DC분 크기

앞의 과정으로부터 임의시점의 위상각 ωt 를 알게 되면 측정되는 전류신호의 크기 $I_{sc}(t)$ 로부터 그때의 직류성분의 크기 $I_{DC}(t)$ 를 추정할 수 있는데 식 (4)는 이를 나타낸 것이다.

$$I_{DC}(t) = I_{sc}(t) - I_m \sin(\omega t) \quad (4)$$

단계 4: 차단시점에서의 DC분 연산

차단기 트립신호 발생시점 t^* 으로부터 실제 전류가 차단되는 점까지는 차단기마다 다르지만 수십 ms정도가 소요되게 되며 지연시간에 따른 직류분 전류의 감소가 발생되어지게 되고 이에 따라 대칭분 전류신호의 전류영점과 동일하지 않은 전류영점이 발생되게 된다.

$$I_{DC}(t) = I_{DC}(t^*)e^{-\alpha t} \quad (5)$$

이때 시간 t 는 해당 차단기의 최소 차단시간만큼의 시간을 나타내는 것으로 회로의 시정수 α 에 의하여 직류성분이 변화되어진다. 엄밀히 말하면 이 값은 전류 차단시점의 직류성분 크기와는 동일하지 않지만 사고전류가 영점을 지나는 시점을 추정하는 목적에는 큰 오차 없이 사용되어 질 수 있다.

단계 5: 최소 차단시간 이후의 첫 번째 영점

차단기 트립발생 시점을 기준으로 최소차단 시간이 후 첫 번째 나타나는 전류영점을 추정하기 위해서는 차단기 트립신호 발생시점의 위상각이 최소차단시간으로 인해 변화되어지는 위상각을 추정하고 차단시점의 직류성분 크기를 고려하면 추정이 가능하다.

최소 차단시간(T^*)으로 인하여 발생된 위상각의 변위($\Delta\omega t$)를 추정하기 위하여 T^* 에서 위상각 변위에 영향을 미치는 부분만은 다음 식의 T_S 로 표현된다.

$$T_S = T^* - N \cdot T \quad (6)$$

T 는 전류신호의 주기를 N 은 $T > T_S > 0$ 의 조건을 만족시키는 자연수를 표시한다.

$$\Delta\omega t = \frac{2\pi \cdot T_S}{T} \quad (7)$$

$$\omega t_e = \omega t_m + \Delta\omega t \quad (8)$$

여기서 ωt_m 은 트립신호 발생시의 전류위상이고 ωt_e 는 최소차단시간 이후의 전류위상을 추정한 값을 나타낸 것이다.

단계 6: 최소 아크시간 유지를 위한 지연시간 산출

단계 4에서 산출한 직류분 크기와 동일한 크기로 부호가 반대가 되는 시점이 전류 영점이 되기 때문에 이때의 위상각은 식 (9)와 같다.

$$\omega t_{DC} = \sin^{-1}\left(\frac{I_{DC}(T^*)}{I_m}\right) \quad (9)$$

표 1 차단시점 직류분에 따른 전류영점 변위정도

		전류 부호	
		positive	negative
DC분 부호	positive	$+\omega t_{DC}$	$-\omega t_{DC}$
	negative	$-\omega t_{DC}$	$+\omega t_{DC}$

$$T_d = \frac{(A - \omega t_e) \pm \omega t_{DC}}{2\pi} \times T \quad (10)$$

단 A 는 $\omega t_e < \pi$ 의 경우 π 가 되고 $\pi < \omega t_e < 2\pi$ 의 경우 2π 가 된다. 그리고 분자항의 \pm 의 연산 경우 표 1의 기준으로 결정하여 수행한다.

이와 같은 단계들을 통한 전류차단시점 예측은 그림 3과 같은 흐름도로 표시되어지며 그 결과는 그림 4와 같다.

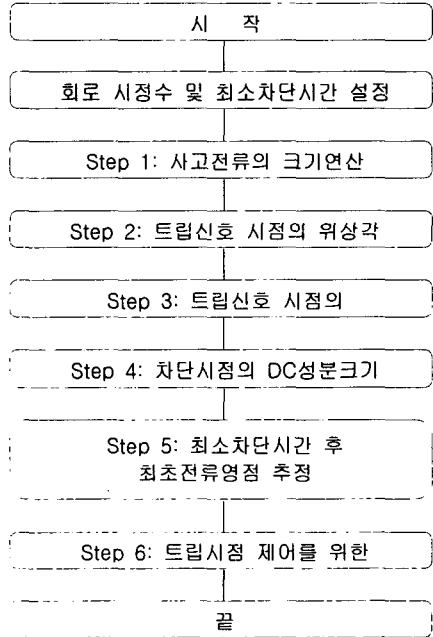


그림 3 차단시점 제어를 위한 흐름도

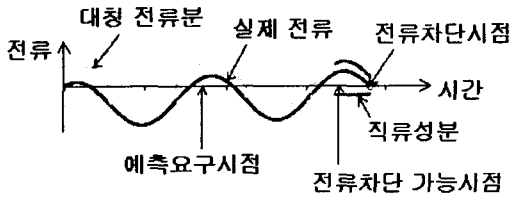


그림 4 전류차단시점 예측결과

그림 4는 비대칭전류인 실제 전류형상을 대칭전류분과 직류성분의 전류와 비교하여 나타낸 것으로 임의의 예측 요구시점에서의 전류 정보를 토대로 전류 차단시점을 예측한 결과를 보인 것이다. 전류차단 가능시점은 차단기에 트립신호가 입력된 후 opening 시간과 최소 아킹시간이 경과된 시점으로 이후로 만나게 되는 첫 번째 전류 영점이 실제 전류 차단시점이 되는 것을 표시하였다. 이 결과로부터 볼 수 있는 바와 같이 직류성분이 많이 포함되어있는 경우라 하더라도 대칭전류분의 전류영점과 실제전류의 전류영점과는 약 2ms이하의 차이만 발생하는 것으로 알 수 있고 opening 시간이 길어질수록 이 차이는 줄어들게 되어 아크시간에 따른 접점마모에는 직류성분의 영향은 크지 않은 것으로 여겨진다.

3. 회로조건에 따른 전류차단시점의 상관성

전원측 중성점의 접지상태에 따라서, 발생하는 단락 사고형태들은 각 상의 사고전류가 차단되는 전류 영점시점이 서로 다른 관계를 가지게 된다. 즉 전원측 중성점이 비접지인 상태에서 삼상 상간 단락의 경우가 발생하게 되면 최초 차단상과 다른 두상의 차단전류시점은 대칭전류인 경우 90°의 위상차이가 발생된다. 그리고 전원측 중성점이 접지된 경우 삼상지락이 발생되면 최초 차단상과 이를 따르는 차단상간의 전류 차단시점은 상간 60°를 기준으로 각각 지연되며 가운데 상의 경우 회로조건에 따라 60°-90°사이 범위에서 변경될 수 있다. 그림 5는 각상의 전류 차단시점을 나타낸 것으로 최초 차단 상을 R상으로 기준하였을 때 두 번째 전류영점이 나타나는 상은 T상으로 t2'와 t3'의 사이에서 회로조건에 따라 전류영점이 존재하게 되고 마지막으로 S상은 t4'에서 영점을 만나게 된다.

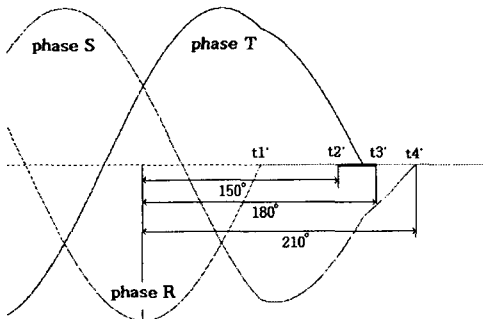


그림 5 각 상의 전류차단시점

그림 5는 차단전류에 직류성분이 없는 경우를 나타낸 것이나 직류성분이 존재하게 되는 경우 상간의 전류 영점 관계는 직류분에 의한 전류영점의 이동으로 대칭전류의 경우와는 다소 다르게 되어진다. 그러나 두 번째 차단상은 회로조건이 어떠한지라도 전류영점이 대칭전류의 경우보다 지연되어 나타나기 때문에 대칭전류상태의 전류영점을 기준으로 차단시점을 설정하여도 1ms 내지

2ms에 해당되는 약간의 아크시간이 연장 되는 정도로 차단시점을 제어할 수 있다. 마지막으로 차단되는 상은 비접지 상태의 경우 두 번째로 차단되는 상과 동일시점에서 차단이 완료되기 때문에 두 번째 상과 동일하게 제어되면 되고 전원측 중성점이 접지된 상태의 경우는 대칭전류상태의 영점에서 차단되기 때문에 선행 상들과 동일한 방식으로 결정될 수 있다. 표 2는 회로의 중성점 상태에 따른 상별 전류차단시점을 나타낸 것으로 두 번째 차단 상에서 알고리즘으로 예측한 값에 대해 다소간의 오차가 발생하게 되고 그 외의 상에서는 회로상태에 따른 시점 오차는 발생하지 않는다.

표 2 회로의 중성점 상태에 따른 상별 전류차단시점비교

	1st phase	2nd phase	3rd phase
solidly earthed neutral system	예측 값	예측값 + 오차	예측 값
non-solidly earthed neutral system	예측 값	예측값 + 오차	2nd 시점과 동일

4. 결 론

본 논문에서는 사고전류 차단시의 최소 아크시간 확보를 위한 차단기 제어시점 선정에 관한 방식을 제안하였다. 계통의 회로 시정수와 최소 차단시간은 기지의 값으로 가정하였고 회로조건에 따른 차단시점의 전류영점 변위는 아크시간에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 추후 제안된 알고리즘의 성능 검증을 위하여 차단기 트립 제어의 시험과정을 계획하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] H.Tsutada, T.Hirai, H.Kohyama, H.Ito, and K.Sasaki, "Development of synchronous switching controller for gas circuit breaker," IEEE/PES Transmission and Distribution Conference Proceedings, Vol.2, pp. 807-812, Oct. 2002.
- [2] Task Force 13.00, "Controlled switching - A state-of-the art survey(part I)," ELECTRA, No.162, pp 65-96, October 1995
- [3] Task Force 13.00, "Controlled switching - A state-of-the art survey(part II)," ELECTRA, No.164, pp 40-61, February 1996
- [4] Working Group 13.07, "Controlled switching of HVAC CBs guide for application lines, reactors, capacitors, transformers (1st Part)," ELECTRA, No.183, pp 43-73, April 1999
- [5] Working Group 13.07, "Controlled switching of HVAC CBs guide for application lines, reactors, capacitors, transformers (2nd Part)," ELECTRA, No.185, pp 37-57, August 1999