

분로 리액터용 개폐제어 차단기의 최적 개폐시점 선정

論 文

51B-12-2

Determination of Optimal Controlled Switching Instants for Circuit Breaker of Shunt Reactors

李 佑 暎* · 朴 敬 燁** · 鄭 鎮 教*** · 金 禧 鎮§

(Woo-Young Lee · Kyong-Yop Park · Jin-Kyo Chong · Hee-Jin Kim)

Abstract - In this paper the method to determine the optimal switching instants in order to reduce the transient surges during switching not relevant to the neutral treatment of shunt reactors is presented. This method consists of the following two steps. First, the instants of the voltage peaks between the contacts of each poles and the voltage magnitude as well as the moments of the current zero crosses were found out analytically. Next, the instants of the contact touches or separations were determined in consideration of the rate of decrease of dielectric strength of a circuit breaker and the variation of the its operating time. The results obtained from the EMTP(Electromagnetic Transient Program) analysis studies show that the making instants are established at the peak voltage of each three poles for any conditions of a neutral point and the possible upper limited values of inrush currents due to the variation of the mechanical operating time can be estimated. .

Key Words : circuit breaker, controlled switching, inrush current, operating instant, shunt reactor

1. 서 론

신뢰성이 무엇보다 우선으로 요구되는 차단기 조작 기술 분야에도 전자 및 디지털기술의 발전과 함께 차단기의 조작 제어와 같은 지능형 기술의 도입에 대한 장벽이 점차 낮아져 가고 있어 기존의 단순 개폐동작 단계를 넘어서고 있다. 최근 개폐제어 방식을 통한 차단기의 운용은 과도전압의 감소와 이로 인한 주변기기들의 전기적 스트레스를 최소화하는 효과적 방식으로 많은 관심의 대상이 되고 있다. 특히 분로 리액터(shunt reactor)의 개폐 시 발생하는 과도현상 즉 투입 시의 돌입전류(inrush current)에 의한 기계적 스트레스와 영상전류에 의한 주변 계전기의 오동작, 그리고 개극 시의 재단전류(chopping current)와 재점화(reignition)현상으로 인한 과도전압의 발생 등은 전력시스템 운용에 영향을 주는 장애요소의 대표적 예 중 하나로 들 수 있다. 이러한 과도현상의 발생을 억제하기 위해 기존에는 투입저항을 사용하거나 과도전압에 대한 전압경사도를 감소시키는 방안 등이 사용되어오고 있으나 최근에는 차단기의 각 상에 적절한 동작시점의 설정을 통하여 과도현상을 감소시킬 수 있는 개폐제어방식이 대체 방안으로 연구되고 있다.[1]-[5] 그리고 이미 분로 리액터의 적용분야에서는 분로 리액터의 중성점이 직접 접지된

경우와 비 접지된 경우에 있어 개폐제어 시의 차단기 동작시점들이 관련연구 결과들에 의해 제시된 바가 있다. 그러나 분로 리액터의 중성점이 임의의 임피던스를 가진 리액터로 접지된 경우에는 앞의 두 경우와는 다른 동작시점 결정이 필요하게 되지만 아직 이에 대한 연구결과는 발표되고 있지 않아 해결되어야 할 과제로 되어있다. [6][7] 따라서 본 논문에서는 분로 리액터의 개폐 시 발생하는 과도현상을 최소화하기 위해 분로 리액터의 중성점 접지형태에 관계없이 개폐시점 결정할 수 있는 방안을 제안하였다. 그리고 EMTP를 사용하여 제안된 방식으로 선정된 최적 전극부착 시점에서 실제 통전이 이루어지는 시점을 알아보고 더불어 차단기 동작오차를 고려한 투입전류 크기의 분포도 확인하므로 제안된 선정방안의 성능을 검증하였다.

2. 최적 개폐시점의 선정

분로 리액터용 차단기의 개폐시점 제어방식은 과전압 혹은 돌입전류와 같은 개폐 과도현상을 최소화하는데 효과적으로 적용되어지고 있다. 최적의 개폐시점은 적용되는 회로의 구성과 사용되는 차단기의 특성에 따라 달리 설정되어야 한다. 그림 1은 분로 리액터의 중성점 접지상태에 따른 가변적 회로 조건을 나타낸 것으로 접지 리액터 L_G 가 아주 큰 값이 되는 경우 중성점 비접지 조건에 가까워지고 아주 작은 값이 되면 중성점이 직접접지 된 회로조건이 되며 그 사이는 일정한 값의 인덕턴스로 중성점이 접지 된 것을 나타내게 된다. 대상으로 하는 차단기는 각상이 독립적으로 조작이 가능한 것으로 하며 개폐과정에서 전극의 이동에 따른 극간 절연전압의 크기변화는 선형적 기울기(K)를 가지는 것으로 가정한다.

* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 責 任 研 究 員

** 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 責 任 研 究 員, Group長

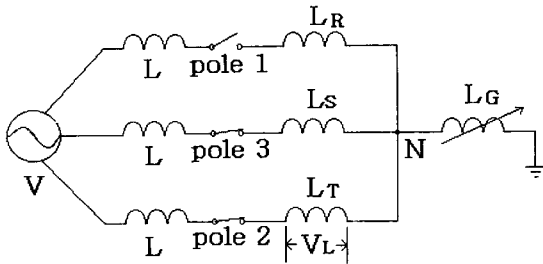
*** 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 先 任 研 究 員

§ 正 會 員 : 비츠로테크(주) 이사

接受日字: 2002年 6月 4日

最終完了: 0000年 9月 27日

다. 본 절에서는 설정된 조건 하에서 최적 투입 및 개극 시점에 대한 선정방안을 제시한다.



(L: 전원측 리액터, $L_{R,S,T}$: 각 상의 분로 리액터, L_G : 접지 리액터)

그림 1 개폐제어를 위한 분로 리액터의 회로구성

Fig. 1 Circuit configuration for the controlled switching of a shunt reactor

2.1 최적 투입시점

최적 투입은 분로 리액터의 투입전류를 최소화하는데 목적을 두고 있으며 이를 위해서는 차단기 각 상의 전극 간 전압이 최대치가 되는 시점에서 투입전류가 흐르기 시작해야 한다. 이 시점은 차단기의 접점이 기계적으로 부착되는 시점과는 동일하지 않으며 그 이유는 차단기 전극 간에 사용전압이 인가된 상태에서는 투입 시 선행방전이 접점부착시점 이전에 발생되기 때문이다. 따라서 최적투입시점의 선정은 위해서는 전류가 흐르게 되는 각 상 전극간의 최대전압 인가 시점과 크기를 구하고, 이로부터 사용되는 차단기의 전극 간 절연내력 기울기를 고려하여 기계적 접점부착시점을 설정하는 과정이 필요하게 된다. 개폐제어방식에서 제어대상이 되는 목표시점은 기계적 접점부착시점으로 동일한 션트 리액터 적용회로에 대해서도 차단기의 절연내력 기울기에 따라 전류가 흐르게 되는 시점은 동일하지만 설정하게 되는 목표시점은 다르게 된다. 먼저 접지 리액터의 크기가 차단기 전극에 인가되는 전압의 최대시점에 미치는 영향에 대해 살펴본다. 여기서 편의상 가장 먼저 동작하는 상을 R상으로 설정하면 순차적으로 전압 최대치가 발생하는 상은 T, S상이 된다. 따라서 R상은 인가전압의 최대치 시점이 전극 간 전압의 최대치 시점과 동일하게 되며 접지 리액터의 크기에 영향을 받지 않는다. 하지만 두 번째 통전되는 T상은 R상의 투입으로 인해 션트 리액터의 중성점 전위가 변화되어 인가전압의 최대치 시점과 크기가 다르게 되는데 식 (1)은 T상 전극 간에 인가되는 전압($V_T(\omega t)$)을 그리고 식 (2)는 식 (1)의 전극 간 전압의 최대치 시점(ωt)을 R상의 선행 전압 영점을 기준으로 하는 위상각으로 나타낸 것이다. 관련 식들의 유도과정에서 사용된 분로 리액터의 각 상 인덕턴스 값(L_R, L_S, L_T)은 동일한 것으로 가정하였는데 이 가정은 실제 적용상에서 무리 없이 적용될 수 있다. 즉 $L_{SR} = L_R = L_S = L_T \gg L$ 이며 L_{SR} 은 분로 리액터의 각 상 인덕턴스를 대표하는 것으로 표시하였다. 그리고 각 식에 포함된 변수 m 은 접지 리액터에 대한 션트 리액터의 인덕턴스 비($m = L_{SR}/L_G$)를 표시한 것이며 V_p 는 인가전압(상-대지간)의 첨두치 크기를 그리고 ω 는 각주파수를 나타낸다.

$$V_T(\omega t) = V_p \left[\sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) - \frac{L_G}{L_G + L_R} \sin \omega t \right] \tag{1}$$

$$= V_p \left[-\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1+m}\right) \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \right]$$

$$\omega t_T = \tan^{-1} \left(-\frac{1 + \frac{2}{1+m}}{\sqrt{3}} \right) \tag{2}$$

마지막으로 통전이 이루어지는 S상은 선행된 두 상의 투입으로 인해 중성점 전위($V_N(\omega t)$)가 T상의 투입 때와는 다르게 되는데 이때 극간의 전압은 식 (3)과 같이 표현되어지며 이는 결국 식 (4)와 같이 R상의 전압 영점을 기준으로 $7/6\pi (=210^\circ)$ 의 일정시점에서 최대치가 발생되며 그 크기는 식 (5)와 같이 변수 m 의 함수형태로 나타남을 보였다.

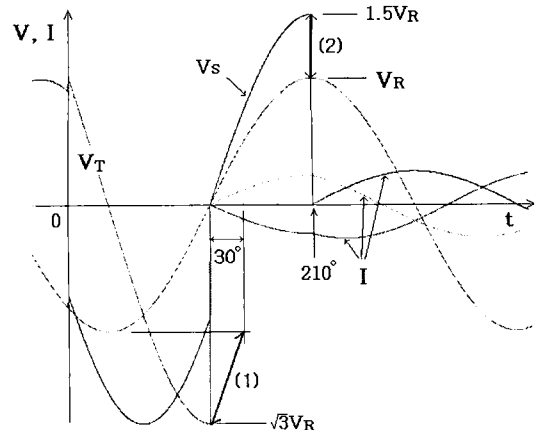
$$V_S(\omega t) = V_p \left[\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) - V_N(\omega t) \right]$$

$$= V_p \left[\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) - \frac{A}{L_{SR} + A} \left[\sin(\omega t) + \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right] \right] \tag{3}$$

$$\omega t_S = \frac{7}{6} \pi \tag{4}$$

$$V_S(\omega t_S) = V_p \left[1 + \frac{1}{m+2} \right] \tag{5}$$

그리고 식 (3)에 사용된 변수 A 는 접지용 리액터 L_G 와 션트 리액터의 인덕턴스 값과의 병렬 값을 나타내는 것으로 $A = \frac{L_G \cdot L_{SR}}{L_G + L_{SR}}$ 을 의미하며 이 식에서 두 번째 줄의 괄호 안 공통계수로 표기된 $\frac{A}{L_{SR} + A}$ 의 L_{SR} 과 A 는 괄호 안의 두 경우에 따라 서로 다른 요소들로 이루어지지만 분로 리액터의 각상 인덕턴스 값이 동일하다는 가정 하에서는 같은 값이 되어지게 된다. 즉 앞의 항 $\sin(\omega t)$ 에 대해서는 L_{SR} 은 L_R 이 되고 A 는 L_G 와 L_T 의 병렬결선된 값이 되지만 뒷항에 대해서는 L_{SR} 은 L_T 가 되고 A 는 L_G 와 L_R 의 병렬연결 값이 된다.



V_S, V_T : S, T상의 전극간 인가전압 (위상각 기준: R상의 전압 0°)

그림 2 투입동작 시 점점 간의 인가전압 Fig. 2 Voltages across the contacts during closing

그리고 마지막으로 투입되는 상의 분로 리액터 인덕턴스 값(Ls)은 차단기 극간전압에 영향을 미치지 않으나 투입 시 상의 순서가 임의로 변하고 따라서 Ls는 특정한 상을 의미하는 것이 아니기 때문에 모든 상의 인덕턴스 값은 극간전압에 상관성을 가지게 된다. 앞서 구해진 각 전극 간 전압형태는 그림 2와 같이 나타나며 변수 m의 값에 따라 T상 및 S상 인가전압의 첨두치 크기와 시점은 그림 2상에 굵게 표시된 영역 (1)과 (2)와 같이 변화되게 된다. 그림 2에서 영역 (1)로 나타나는 식 (2)의 T상 첨두치 시점 변화곡선은 그림 3의 곡선 (1)과 같이 변수 m의 함수로 영역 120°와 150°사이를 변화하게 되며 증성점이 직접 접지된 경우 120°가 되게 된다.

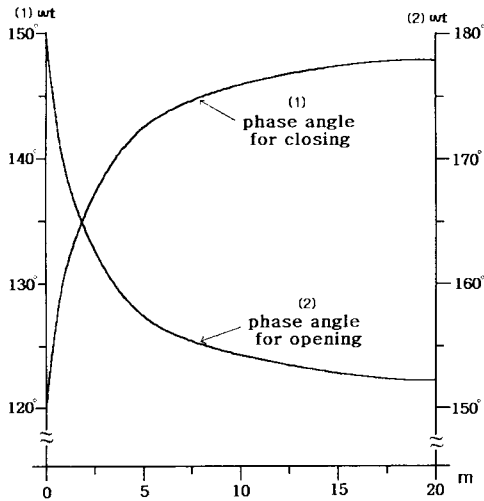


그림 3 변수 m의 변화에 따른 최적 개폐시점 ((1): 투입시점, (2): 개극시점)

Fig. 3 Optimum instant for switching with respect to the preceding zero crossing as a function of the factor 'm'

이렇게 각상의 전극 간 최대전압 시점과 크기가 구해지면 다음은 차단기 전극간의 절연내력 기울기를 고려하여 실제 제어목표가 되는 전극부착시점을 결정하는 과정이 필요하게 된다. 여기서는 전극 간 절연내력 기울기의 특성을 나타내는 변수로 K를 사용하고 이는 전극 간 절연내력 기울기(S_{CB})를 사용전압의 영점에서의 기울기(S_R=ωV_p)에 대한 표준화 된 값으로 정의하며 식(6)과 같다.

$$K = \frac{S_{CB}}{S_R} \tag{6}$$

그림 4는 접점부착 시점과 전류 통전시점과의 관계를 나타낸 것으로 과도투입전류가 나타나지 않는 전류 통전시점으로 전압 첨두치 P점에 대응되는 접점부착시점은 t₆가 된다. 여기에 차단기의 동작시간 변화(±ΔT)를 고려하면 P점을 기준으로 동일한 투입전압 크기를 가지는 점 A와 점B 간의 영역으로 통전시점 영역이 결정되고 이에 해당하는 접점부착시점은 t₃와 t₇간이 된다. 제어목표가 되는 접점부착시점(t_{target})은 동작변화에 최대 여유를 가질 수 있도록 두 시점 t₃와 t₇의 산술적 평균시점으로 t₅를 선정한다. 이렇게 설정되는 t₅점은 최대 투입전압점(P)에 대응하는 t₆와

동일하지 않게 된다.

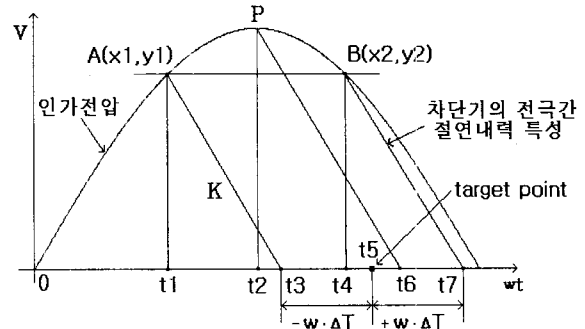


그림 4 접점부착 시점과 전류통전 시점과의 관계
Fig. 4 Relationship between the contact touch and the instant at which a current start to flow

이러한 관점에서 제어목표인 접점부착시점 t_{target}은 결국 CIGRE Working Group 13.07에서 제시된 결과[6]와 유사하게 K와 ΔT의 함수로 나타나게 되며 식 (7)과 같이 되어진다.

$$t_{target} = f(K, \Delta T) = \frac{T}{4} + \frac{\cos(\omega \cdot \Delta T)}{\omega K} \tag{7}$$

여기서 사용되는 전극 간 절연내력 기울기 K는 앞서 언급된 바와 같이 사용전압 영점에서의 기울기에 대한 표준값이기 때문에 변수 m에 따라 극간 전압이 달라지는 T, S상에 대해서는 동일한 차단기라 하더라도 극간전압에 따라 변경되어야 한다. 그리고 각 상의 제어시점은 R상을 기준으로 하여 동일한 시간 축 상에 표현함으로 각 시점간의 상관성을 가지도록 하는 것이 필요하다.

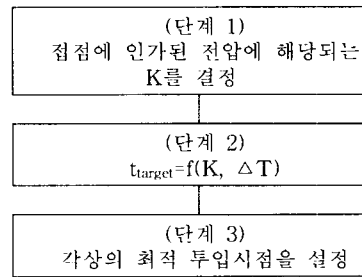


그림 5 각 상의 최적투입시점 선정과정
Fig. 5 Procedure for determining the optimum closing instants for each phases

그림 5는 각상의 접점 부착 제어시점의 설정과정을 단계별로 나타내었고 식 (8)과 식 (9)는 R상의 전압 위상각 영점을 기준으로 설정된 T상과 S상 최적 접점부착시점 t_{T'}, t_{S'}의 관계식을 나타낸 것이며 R상의 최적시점은 식 (7)과 같다.

$$t_{T'} = t_T + \frac{V_T(\omega t_T) \cdot \cos(\omega \cdot \Delta T)}{\omega \cdot K \cdot V_p} \tag{7}$$

$$t_S' = \frac{7}{12} T + \frac{V_S(\omega t_S) \cdot \cos(\omega \cdot \Delta T)}{\omega \cdot K \cdot V_P} \quad (9)$$

단 식 (9)에서 T는 사용전압의 주기를 나타낸다.

2.2 최적 개극시점

개극시점의 선정은 전류차단 시에 발생하는 재단전류나 재점호 현상으로 기인되는 과도전압을 최소화하는데 목적을 두고 있으며 차단기 개극 시의 아크시간을 어떻게 조정하느냐에 달려있다. 그러나 이 두 현상은 서로 상반되는 특성을 가지고 있어 사용목적에 적합하게 타협점을 찾아야 하지만 일반적으로는 재단전류의 경우보다는 재점호 현상에 의한 과도전압이 더 큰 문제가 되기 때문에 전류차단 예상시점으로부터 점점분리 시점이 최소 아크시간보다는 길어지도록 설정하는 것이 필요하다. 즉 이는 최적 개극시점이 최적 투입의 경우처럼 한 시점으로 정해지는 것은 아니며 재점호 가능영역을 벗어나게 하는 것이기 때문에 유일한 시점으로 설정되지는 않는다. 어쨌든 각 상의 전류차단 시점을 예측하는 것이 최적 개극시점을 선정하는데 필수적인 요건이 되기 때문에 접지 리액터의 크기에 따른 전류 차단점의 영향을 살펴본다. 여기서도 앞의 투입 시 현상분석 때와 동일하게 전류차단 상별 순서를 가장먼저 차단하는 상으로부터 R, T, 그리고 S상의 순서로 하기로 하며 이 가정은 일반적인 상태를 나타내는데 무리가 없다. 먼저 첫 차단 상인 R상은 중성점 접지조건에 관계없이 정상적 전류 상태에서부터 전류차단 시점의 예측이 가능하기 때문에 어려움이 없지만 두 번째 차단상 T상의 경우 접지 리액터의 크기에 따라 전류차단점이 영향을 받게 되며 식 (10)과 식 (11)은 이에 대한 관계식을 나타낸 것이다. 이는 R상이 차단을 하게 되면 선트 리액터의 중성점 전위가 변화되고 따라서 T상에 흐르는 전류의 위상이 변화되기 때문이다. 식 (10)은 T상의 선트 리액터에 인가된 전압을 나타내는 것으로 그림 1의 선트 리액터 L_T 의 인가전압 V_L 을 뜻하며 이로부터 차단기 T상에 흐르는 전류의 영점이 식 (11)과 같이 구해진다. 그리고 식 (11)의 접지 리액터의 크기에 따른 영향은 그림 3에 특성곡선 (2)로 표시되어 있다.

$$V_L = \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) - \frac{A}{L+A} (\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})) \quad (10)$$

$$\omega t = \tan^{-1}(\frac{\frac{2}{m+2} - 1}{\sqrt{3}}) \quad (11)$$

여기에서 구해진 시점의 기준은 R상 전압의 위상을 기준으로 나타낸 것으로 그림 6에는 각 상의 전류 차단시점이 표시되었다. 즉 R상 전류 차단시점은 $t1'$ 으로 기준시점에서 90° 뒤져있고 두 번째 차단상인 T상은 시점 $t2'$ 과 $t3'$ 간의 영역에서 접지 리액터의 크기에 따라 결정되어지며 마지막 S상은 $t3'$ 의 시점에서 T상과 동시에 차단되는 선트 리액터의 중성점이 비접지인 경우를 제외하고는 실제 전류 영점은 $t4'$ 에서 발생하게 된다.

최적의 접점분리시점은 식 (12)와 같이 사용되는 차단기의 최소 아크시간과 차단기 동작시간의 오차를 고려하여 앞서

선정된 예상전류 차단시점들을 기준으로 채택하게 된다.

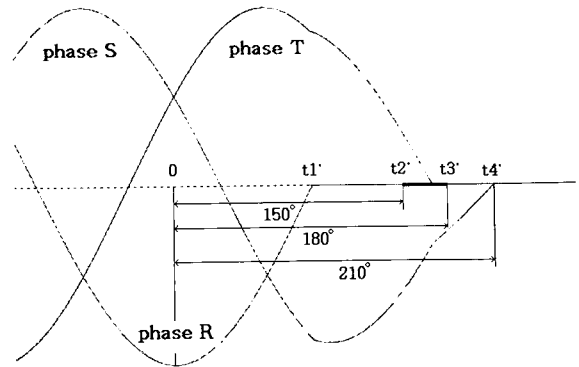
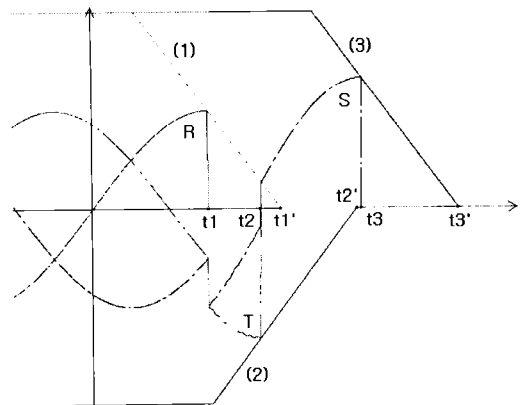


그림 6 기준 전압신호에 대한 각상의 전류 차단시점
Fig. 6 Current interrupting instants of each poles with respect to the reference voltage zero

$$\text{접점분리 시점} = \text{전류 예상차단시점} - (\text{최소 아크시간} + \text{동작 오차시간}) \quad (12)$$

3. 시뮬레이션 결과

제안된 방식으로 설정된 개폐시점의 성능검증을 위하여 그림 1과 같은 구성의 550kV급 송전선로용 분로 리액터 회로를 한 예로 선정하고 EMTP를 사용하여 투입시점 및 투입전류를 살펴보았다. 회로정수로는 전원측 임피던스를 190mH로 분로 리액터의 인덕턴스는 6.0H를 각각 사용하였다. 그림 7은 분로 리액터의 접지조건으로 변수 m을 1로 설정하고 차단기의 전극간 절연내력 기율기를 사용전압의 영점 기율기와 동일하게 가정하였을 때 앞서 제안된 방식에 의해 결정된 각 상별 전극부착시점($t1'$, $t2'$, $t3'$)과 이로 인해 발생된 전극간 전류 도통시점($t1$, $t2$, $t3$)을 나타낸 것으로 각 상의 전극간 인가전압의 침투치 시점에서 선행 아크방정으로 인한 전류가 흐르기 시작함을 알 수 있어 투입전류의 크기를 최소화 할 수 있게 되었다.



(1), (2), (3): 각 상 접점간의 절연강도 감소특성
그림 7 제안된 방식에 의한 최적 접점부착시점(m=1)
Fig. 7 Optimal contact touch instants obtained from the proposed method (m=1)

그리고 점점부착시점에 영향을 주게 되는 접지조건 및 차단기 전극간 절연내력의 기울기의 변화에 대해서도 그림 7과 동일하게 전극간 인가전압의 최대치 시점에서 선행 아크방전으로 인한 통전이 이루어지게 됨을 확인함으로써 제안된 방안의 성능이 검증되었다.

다음은 차단기의 투입시간이 일정한 범위 폭(ΔT)을 가지고 있는 경우에 대하여 이를 고려한 최적 점점투입시점 선정에 대한 제안된 방식의 성능검증을 수행하였다. 먼저 사용된 차단기의 점점투입시간 변화에 대한 통계적 특성은 정규분포를 가지는 것으로 가정하고 분포곡선에서 3σ 의 폭을 점점투입시간 최대변화 가능 값인 ΔT 로 설정하였다. 그리고 차단기 극간의 내전압 특성은 투입 스트로크가 이루어지는 과정에서 전극거리가 가까워짐에 따라 선형적으로 감소하는 것으로 하며 변화의 기울기 K (kV/sec)는 상-대지 간 정격전압의 영점에서의 기울기와 동일한 것으로 설정하였고 그림 8은 이를 나타낸 것이다. 제안된 방식으로 결정된 최적 전극부착시점을 차단기 동작특성을 나타내는 정규분포의 평균값으로 하고 이 차단기로 선트 리액터에 전원을 인가 할 경우 선트 리액터에 통전되는 투입전류의 크기에 대해 EMTP로 해석을 수행하고 그 결과를 살펴보았다.

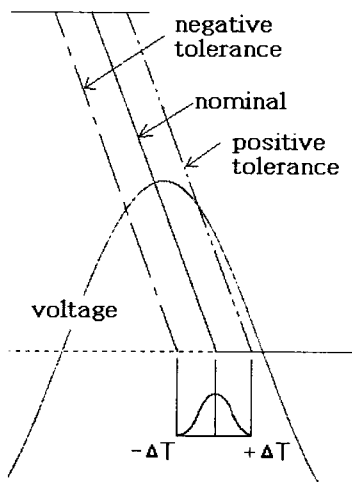


그림 8 투입시간 변화의 통계적 특성
Fig. 8 Probability characteristics of the variation in closing times

그림 9는 발생하는 투입전류의 분포를 투입시험 100회를 실시한 결과로부터 차단기 투입오차(ΔT) ± 1 ms와 ± 2 ms의 두 경우에 대해 나타내었다. 그리고 그림 10은 차단기 투입오차 ± 2 ms까지의 변화에 대한 최대 투입전류의 크기에 대하여 EMTP의 해석결과를 통하여 표시하였다.

이 결과는 ΔT 가 2.0ms인 경우 최대 빈도수가 1.4~1.5[p.u] 부근인 분포형태로 투입전류의 크기가 분포되고 1.8[p.u]의 투입전류까지 나타날 수 있음을 보여주었다. 그리고 다른 값의 ΔT 에 대해서도 $\pm 3\sigma$ 의 영역이 그림에서 굵게 표시된 부분에 해당되게 유사한 형태로 투입전류가 분포하게 된다. 만약 최대 투입전류의 크기를 정규분포 상 3σ 영역에서 1.5[p.u]이하로 제한해야하는 경우 차단기 투입시간 오차를 나타내는 ΔT 가 ± 1.4 ms이하로 되는 차단기를 사용하여야 함을

알 수 있다. 그리고 투입시간이 일정한 $\Delta T=0$ 인 경우는 투입전류의 크기가 1.0[p.u]로서 선트 리액터에 직류성분에 의한 과도전류가 발생되지 않고 대칭성분의 전류만 흐르게 됨으로 제안된 방식으로 결정된 각상의 전극부착시점이 최적임을 보여준다.

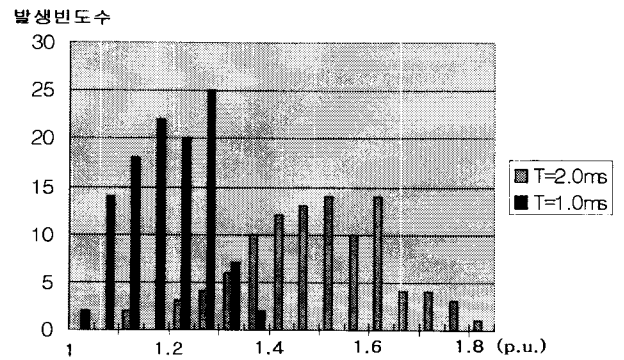


그림 9 돌입전류의 크기에 따른 발생빈도 분포
(시험회수 100회, $\Delta T=1.0, 2.0$ ms)
Fig. 9 Number of occurrence versus inrush currents in p.u.

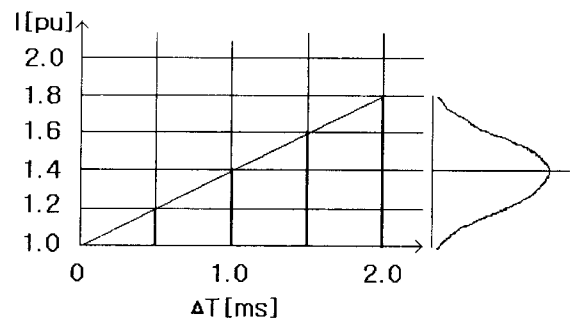


그림 10 차단기 동작시간 특성에 따른 돌입전류의 분포(K=1)
Fig. 10 Distribution of the inrush current with respect to operating time scattering

4. 결 론

본 논문에서는 분로 리액터의 개폐 시 발생하는 과도현상을 최소화하기 위해 분로 리액터의 중성점 접지방식에 관계없이 개폐시점을 결정할 수 있는 방식을 제안하고, EMTP를 사용하여 선정된 투입시점에서 투입전류의 크기를 확인하므로 제안된 방식의 성능을 검증하였다. 제안된 방식에 의하면 분로 리액터 중성점의 접지 임피던스의 크기에 따라서 두 번째 투입상은 투입시점에 30° (1.39ms)의 시간적 변화와 $\sqrt{3}$ 배의 전압크기 변화가 발생되었고 마지막 상은 시간적 변화 없이 1.5배의 전압크기 변화만 있음을 보여주었다. 그리고 개극 시에도 두 번째 상의 전류 차단 시점이 접지 임피던스에 따라 30° (1.39ms)의 시간적 변화를 나타내었고 마지막 상의 전류 차단점은 차단기의 전류 차단특성이 고려되어야 함을 보여주었다. 본 방식으로 설정된 투입시점에 대한 검증 결과는 중성점 접지 임피던스의 크기에 상관없이 투입전류의

적류성분이 나타나지 않게 되는 전극 간 최대 전압시점이 통전 시작점이 되었다.

그리고 차단기 동작시간 특성의 변화를 고려한 결과 투입 전류의 크기가 정상전류를 기준으로 $\pm 1\text{ms}$ 의 동작오차에 대해서는 발생분포의 중심이 약 1.2p.u. 정도이고 $\pm 2\text{ms}$ 의 동작오차에 대해서는 약 1.4p.u. 정도가 됨을 알 수 있었다. 따라서 차단기 극간 절연내력 기율기와 동작시간의 오차를 고려한 최적시점의 선정결과로부터 투입전류의 크기를 일정 크기 이하로 제한하기 위한 차단기 동작오차의 허용범위의 설정을 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

- [1] D.F. Peelo, J.H. Sawada, "Experience with controlled transmission line autoreclosing and controlled shunt reactor switching on B.C. Hydro system," CIGRE, 13-101, 1998
- [2] Y. Fushimi, T. Kobayashi, E. Haginomori, A. Kobayashi and K. Suzuki, "Re-ignition free controlled switching of EHV high power shunt reactor," CIGRE, 13-106, 1998
- [3] R.J. Rajotte, C. Charpentier, S. Breault, H.Hai Le and H.Huynh, "Field tests of a circuit breaker synchronous control," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp 1301-1309, July 1995
- [4] Task Force 13.00, "Controlled switching - A state-of-the-art survey(part I)," ELECTRA, No.162, pp 65-96, October 1995
- [5] Task Force 13.00, "Controlled switching - A state-of-the-art survey(part II)," ELECTRA, No.164, pp 40-61, February 1996
- [6] 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
- [7] 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

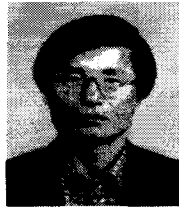
저 자 소 개



이 우 영 (李 佑 暎)

1957년 10월 2일생. 1980년 경북대전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원전자공학과 졸업(석사). 1982년~현재 한국전기연구원 신전력기기연구 그룹 책임연구원.

Tel: 055-280-1572, Fax:055-280-1589
E-mail: wylce@keri.re.kr



박 경 엽 (朴 敬 燁)

1957년 1월 3일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영국 Liverpool 대학 전기공학과 졸업(공학박사). 1978년 12월~1981년 5월 효성중공업(주) 전장설계부. 1981년 6월~현재 한국전기연구소 산업전기연구단 신전력기기연구그룹 그룹장(책임연구원).

전화 : 055-280-1561.
E-mail : kypark@keri.re.kr



정 진 교 (鄭 鎭 敎)

1967년 생. 1991년 강원대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1994년 강원대 공대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구 그룹 선임연구원.

Tel:055-280-1564, Fax:055-280-1589
E-mail: jkchong@keri.re.kr



김 희 진 (金 禧 鎭)

1959년 3월 13일생. 1980년 광운대전기공학과 졸업. 1982년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1982년~1984년 태영광업 근무, 1985~1994 효성중공업(주) 근무, 1994~현재 (주)비츠로테크 기술연구소장.

Tel:031-489-2004, Fax:031-492-2216
E-mail: hjkim@vitzrotech.com