1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

초고압 계통에서의 공극 변류기의 과도 특성 분석

강용철*, 윤재성*, 이병은*, 강상희**, 박종근***
*전북대학교 전자정보공학부, **명지대학교 전기제어공학부, ***서울대학교 전기공학부

Analysis of Transient Characteristics of Air-Gapped CTs In EHV Transmission Systems

Y. C. Kang*, J. S. Yun*, B. E. Lee*, S. H. Kang**, J. K. Park***
*Chonbuk National University, **Myongji University, ***Seoul National University

Abstract- This paper describes the transient characteristics of air-gapped CTs in EHV transmission systems. An air-gapped CT is modelled using EMTP. Air-gapped CTs with the gap of 0, 0.5, 1.0 [mm] are analysed and compared with and without consideration of auto-reclosure. From the results, even small gap improves the transient characteristics after auto-reclosure.

1. 서 론

변류기란 전력계통에 흐르는 전류의 크기를 축소하여 보호 계전기에 입력하기 위하여 사용되는 기기인데, 철심 변류기를 주로 사용하고 있다. 그런데, 철심 변류기는 자기포화 현상이 있다. 또한, 1차전류가 0이 되어도 철심 내에 잔류 자속이 존재하여 재폐로 이후에 포화의 가능성을 증가시킨다.

현재 국내에서 변류기 포화를 방지하기 위한 대책으로는 정격전류의 20배가 되는 경우에 즉, 과전류 정수(overcurrent factor)가 20인 경우에 변류비 오차가 10[%]를 초과하지 않도록 단면적을 증가시키는 방식이 사용되고 있다. 그런데 요즘 국내의 전력 계통은 단락용량이 더욱 커지고 사고 전류의 크기가 매우 증가하였다. 그리고, 송전 전압이 격상함에 따라 시정수가 증가되어 직류옵셋 성분에 대한 영향이 더욱 커지게 되어 기존의 20인 과전류 정수로는 변류기 포화를 방지하기 어렵게 되었다. 따라서, 참고 문헌 [1]에서는 초고압 계통에서 변류기가 포화되지 않도록 하기 위하여 과전류 정수를 정량적으로 결정하는 방식을 제안하였다.

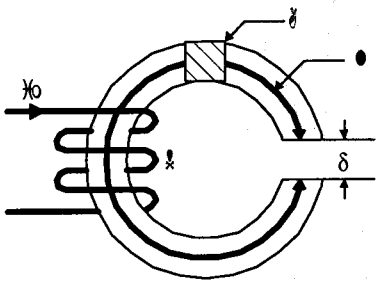
초고압 계통을 보호하는 계전기는 대부분 재폐로를 행하기 때문에, 재폐로를 고려한 경우에는 계전기 동작 시간이 커지고, 이로 인하여 과전류 정수가 기존의 것에 비해 매우 커진다. 또한, 재폐로를 고려하는 경우에는 차단기가 계통을 차단하였을 때 1차전류가 0이 되어도 철심 내에 잔류 자속이 존재하게 되는 데, 철심 변류기의 경우에는 최대값의 80% 정도까지 남아 있게 된다. 그 후에 고속 재폐로 하는 경우에는 잔류 자속이 변류기의 포화에 영향을 주어 단면적이 기존의 변류기에 비해 더욱 커야 한다. 자로에 작은 공극을 삽입하게 되면 재폐로 시 잔류 자속이 10-20%가 남게 되는 특성이 있으며, 이에 대한 제작 기술 및 특성에 대한 연구 결과가 발표되었다.[2-5] 하지만 이러한 연구 결과는 공극 변류기의 모델링이 어려워 여러 가지 가정을 세운 뒤의 결과이기 때문에, 보다 정확한 특성이 필요한 실정이다. 공극 변류기는 철심 변류기에 비해 잔류 자속이 현저하게 감소되는 장점이 있는 반면에, 자로에 공극이 삽입되어 철심의 자화 인덕턴스가 감소되므로 포화점 이하에서 변류비 오차가 증가하는 등 여러 가지 단점 있어, 사용하는 데 깊은 주의를 요한다. 특히 철심 변류기와 동시에 사용하는 경우에는 계전 알고리즘을 작성하는 데 많은 주의가 필요하다.

또한, 초고압 계통에서는 재폐로를 하게 되고 이 경우에 포화되지 않는 철심 변류기를 제작하는 경우에는 단면적이 매우 증대되어 이에 대한 대안으로 공극 변류기의 사용을 고려하고 있다. 그런데, 국내에서는 철심 변류기만을 사용하고 있기 때문에 이의 특성, 특히 과도상태에 대한 자료 및 기술은 매우 미비한 실정이다. 또한, 선진국에서도 이의 모델링에 대한 자료가 적어, 이의 구체적인 과도 특성에 대한 연구는 아직까지 발표되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 초고압 계통에서 보호용으로 사용되는 공극 변류기를 EMTP를 이용하여 모델링한 다음, 공극의 길이를 달리하고, 재폐로를 고려한 경우와, 고려하지 않은 경우에 대하여 과도 특성을 분석하였다.

2. 공극 변류기 모델링

그림 1은 자로에 공극이 존재하는 공극 변류기를 나타내었다.



i_m : 권선에 흐르는 전류(자화전류)
N : 권선비
A : 단면적
l : 철심부분의 길이
δ : 공극부분의 길이

그림 1. 공극 변류기

철심과 공극은 직렬로 삽입되어 있으므로, 이의 자기 등가회로를 나타내면 그림 2와 같다.

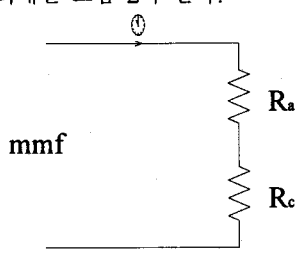


그림 2 공극 변류기의 자기 등가회로

여기서, 철심의 자기특성을 선형으로 가정하면, 철심과 공극의 자기저항(R_c, R_a)은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$R_c = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}, \quad R_a = \frac{\delta}{\mu_0 A} \qquad (1)$$

철심과 공극이 직렬로 연결되어 있으므로 철심과 공극에 유기되는 ϕ는 같고 그 자속은 식 (2)와 같다.

$$\phi = \frac{mmf}{R_c + R_a} \qquad (2)$$

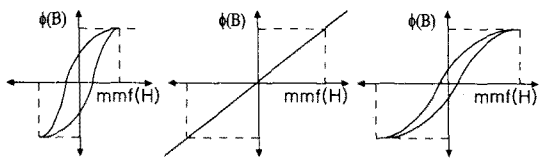
따라서, 공극 변류기의 전체 기자력(mmf)은 식(3)과 같다.

$$mmf = \phi R_c + \phi R_a = mmf_c + mmf_a \qquad (3)$$

여기서, mmf_c, mmf_a은 자속(ϕ)를 유기하기 위해 각각 철심부분과 공극부분에 필요한 기자력이고, 공극 변류기의 전체 기자력은 mmf_c와 mmf_a를 합하여 구할 수 있다. 자로에 공극이 존재하면 ϕ를 유기하기 위한 기자력이 철심 변류기의 경우보다 크게 된다.

일반적으로 철심의 기자력과 자속과의 관계는 선형이 아니고 매우 복잡하다. 그런데, 공극의 기자력과 자속의 관계는 선형이 된다.

공극 변류기의 자속과 기자력과의 관계를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(c)의 전체의 자속-기자력 곡선은 어떤 자속에 해당하는 그림 3(a)와 그림 3(b)의 기자력을 구하여 이를 합해서 구할 수 있다.



(a) 철심 (b) 공극 (c) 전체

그림 3. 자속-기자력 곡선

공극 변류기의 자화 특성에서 최대 자속은 공극의 유무에 관계 없이 일정함을 알 수 있다.

본 논문에서는 철심의 히스테리시스 특성은 EMTP내의 HYSDAT을 이용하여 구하였고, 공극의 자화곡선은 식 (1)을 이용하여 구하여, 이를 합하여 전체의 히스테리시스 특성을 구하였다.

3. 공극변류기의 과도특성 분석

과도 특성 분석을 위한 모델 계통은 그림 4에 나타나 있다. P 모선에서 2 [km] 떨어진 지점의 a상 지락사고를 모의하였고, EMTP를 이용하여 모델링 하였다.

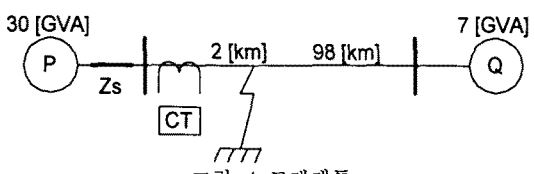


그림 4 모델계통

변류기의 설치 지점에 설치한 변류기는 C400 변류기로써, 변류비는 2000:5이고, $R_2 = 0.61[\Omega]$, 이의 단면적은 $A = 21[cm^2]$, 자로의 길이는 $l = 2[m]$이었다. 또한, HYSDAT을 이용하여 히스테리시스 특성을 생성하였고, 이 때 사용된 포화점은 (2.047[A],1.512[Vs]) 이었다.

2절에서 설명한 방식으로 공극 변류기를, 공극의 길이가 각각 0, 0.5, 1 [mm]인 경우에 대하여 모델링 하였고, 이의 히스테리시스 특성 곡선을 그림 5에 나타내었다.

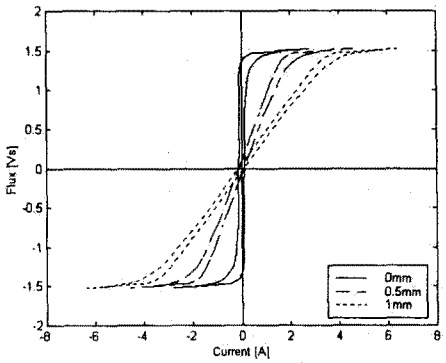


그림 5 공극 변류기의 히스테리시스 곡선

그림에서 알 수 있듯이, 잔류자속이 공극의 길이가 0 [mm]인 경우에는 1.3452 [Vs], 0.5 [mm]인 경우에는 0.0966 [Vs], 1 [mm]인 경우에는 0.0486 [Vs]가 되어, 공극을 조금만 삽입하더라도 잔류 자속의 크기가 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다.

3.1 재폐로를 고려하지 않은 경우

모델 계통에서 a상 지락사고의 경우의 2차 전류와 변류비 오차, 쇄교 자속을 각각 그림 6, 그림 7과 그림 8에 나타내었다.

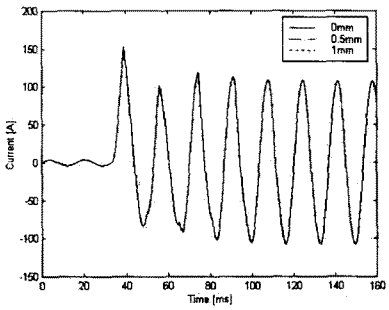


그림 6 2차 전류

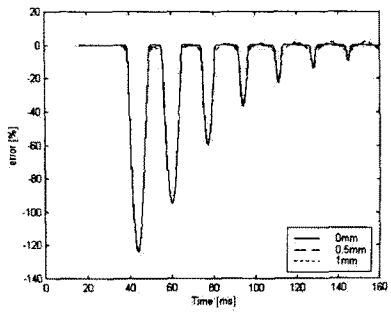


그림 7 변류비 오차

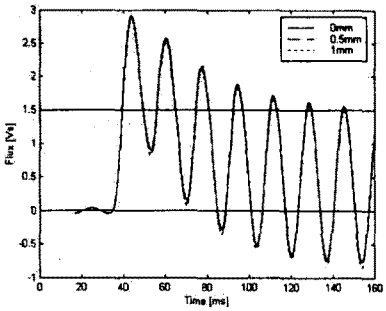


그림 8 철심 자속

재폐로를 고려하지 않은 경우에는, 공극의 길이가 0.5 [mm] 또는 1 [mm]와 같이 작다면 2차 전류와 철심 자속도 거의 같고, 변류비 오차와 같은 과도 특성이 거의 같음을 그림으로부터 알 수 있다.

3.2 재폐로를 고려한 경우

재폐로를 고려하여 과도특성을 분석하였다. 재폐로 시간은 24주기로 하였으며, 사고 제거 순간을 달리 하여 즉, 사고 제거 순간의 자속이 포화 자속보다 높은 경우(1.88 [Vs])인 경우의 2차 전류와 철심 자속을 그림 9와 그림 10에 나타내었다.

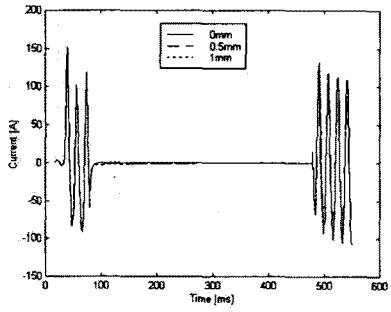


그림 9 2차 전류

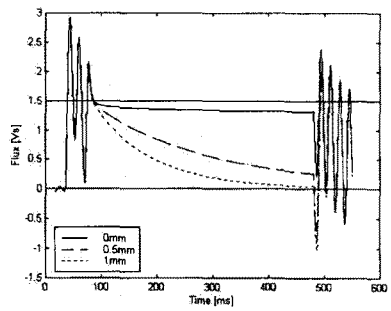


그림 10 철심 자속

사고 제거 이후에 철심 변류기의 경우에는 자속이 감소하여 잔류자속이 1.3452 [Vs]까지 감소하고 있는 도중에, 재폐로 하였으며, 재폐로 순간의 자속은 1.3147 [Vs]이었다. 공극의 길이가 0.5 [mm]인 경우에는 0.2584 [Vs], 1.0 [mm]인 경우에는 0.0417 [Vs]이었다.

사고 제거 순간의 자속이 1.0 [Vs]인 경우에 대하여 재폐로를 고려한 경우의 2차 전류와 철심 자속을 그림 11과 그림 12에 나타내었다.

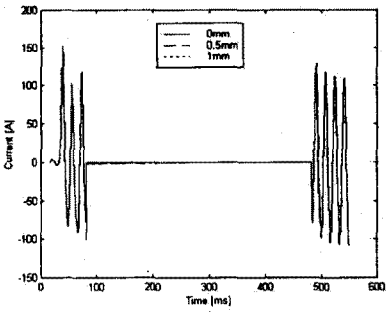


그림 11 2차 전류

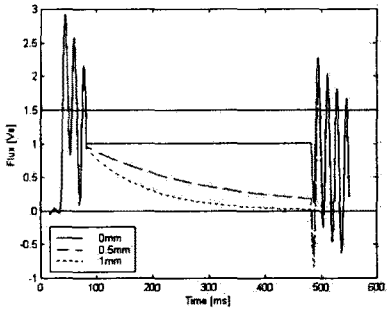


그림 12 철심 자속

사고 제거 이후에 철심 변류기의 경우에는 재폐로 순간의 자속은 1.0097 [Vs]이었다. 공극의 길이가 0.5 [mm]인 경우에는 0.1809 [Vs], 1.0 [mm]인 경우에는 0.0231 [Vs]이었다.

4. 결 론

본 논문에서는 초고압 계통에서의 공극 변류기의 과도특성을 분석하였다. 공극의 길이가 각각 0, 0.5, 1.0 [mm]인 경우에 공극 변류기를 EMTP를 이용하여 모델링하여 과도특성을 분석하였다. 그 결과, 공극의 길이가 작은 경우에는 재폐로 이전에는 그 특성이 거의 같으나, 사고 제거 이후에는 공극이 있는 경우가 훨씬 과도특성이 좋음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 이주훈, 강상희, 이승재, 강용철, 배주천, 안준기, 이청학, 이정택,"포화를 방지하기 위한 보호용 철심 변류기 설계 방법", 대한 전기학회 논문지 제48권 제2호, 1999년 2월

[2] IEEE Power System Relay Committee, "Gapped Current Transformer Characteristics and Performance", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, November 1990, pp.1732-1740

[3] E. E. Corner, R. G. Greb, E. C. Wentz, "Control of Residual Flux in Current Transformers", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-72, July/August 1973, pp. 1226-1233

[4] N. E. Korponay, "Non-gapped Cores, Antiremanence Gapped Cores or Linear Cores for Current Transformers", IEEE Trans. on PAS-97, No. 2, March/April 1978, pp. 569-573

[5] IEEE Power System Relay Committee, "Gapped Core Transformer Characteristics and Performance", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 5, No. 4, November 1990, pp. 1732-1740