

피뢰기 진단기술 정확도 향상을 위한 등가회로 분석에 관한 연구

김시경*, 이정우*, 유정봉*, 박현상*
맹승렬**, 강대수***

*공주대학교 전기전자제어공학부
**공주대학교 컴퓨터공학부
***공주대학교 정보통신공학부
e-mail: skim@kongju.ac.kr

Research on Equivalent Circuit Analysis to Improve the Accuracy of Lightning Arrester Diagnosis Technology

Sikyung Kim*, Jungwoo Lee*, Jungbong Yoo*, Hyunsang Park*
Seungryul Mang**, Daesoo Kang***

*Dept. of Electrical Engineering, Kongju National University

요약

국내 송/배전 선로에서 피뢰기는 연간 수십만개의 낙뢰, 유도뇌로부터 배전 및 수용가 전기설비의 보호를 목적으로 설치 운용되고 있다. 이러한 피뢰기의 열화 상태 및 교체 주기를 파악 하는것은 매우 중요하다. 특히, 피뢰기의 현재 열화 상태를 정확하게 파악 하여, 유지보수를 시행하거나 수명예측을 하는 것은 전기설비 운영의 필수 사항이다. 본 논문에서는 피뢰기 제품에 대한 열화 특성 및 수명 예측 평가를 위하여 사용되는 피뢰기 등가회로에 대한 분석을 수행하고 시중 상용화 제품에 적용 방법을 제시하였으며 진단의 정확성을 높이기 위한 파라미터 분석을 제시하였다.

1. 서론

국내 전력계통 송배전 선로에서 피뢰기는 연간 수십만개의 낙뢰, 유도뇌로부터 전기설비의 안전한 운영 및 보호를 목적으로 설치 운용되고 있다. 열악한 실외 환경 조건에서 동작되는 피뢰기의 운전 상태 및 교체 주기를 파악 하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 피뢰기 제품에 대한 열화 특성 및 수명 예측 평가를 위하여 사용되는 피뢰기 등가회로에 대한 분석을 수행하고 대표적인 제품에 대한 열화 진단기술에 대한 적용 방법을 제시하였으며 진단의 정확성을 높이기 위한 파라미터 분석을 제시하였다. 비선형 V-I 특성과 이에 따른 인덕턴스로 구성된 간단한 피뢰기 모델을 구성하였다. 다양한 파고 시간을 가지는 낙뢰 전류에 대하여, 금속 산화물 피뢰기에서 발생하는 전압의 정점까지의 도달 시간이 변동되는 효과를 얻었다. 또한, 상용 제품에 대하여 피뢰기 모델 매개변수를 선택을 통한 피뢰기 열화 예측 모델 분석 방법을 제시 하였다.

2. 피뢰기 열화 분석을 위한 등가회로

뇌충격 전류 및 유도뇌에 의한 외부충격에 따른 피뢰기의 열화 진단에 대한 주요 정보는 다음과 같다.

- 누설 전류의 주파수 또는 전압의 파고 도달 시간

- 누설전류의 크기 기본파 및 고조파 전류의 실효치, 피크치 및 주파수 성분
- 누설전류에 대한 파고 성분 및 주파수 특성 분석

2.1 피뢰기 등가회로 파라미터 설정

본 연구에서 금속 산화물 피뢰기 모델을 그림 1과 같이 설정하였다. 그림 1의 파라미터들은 피뢰기 특성인 누설 전류의 주파수 또는 전압의 파고 도달 시간이 실제치 와 모델이 일치 하도록 3차 시스템으로 설정하였다.

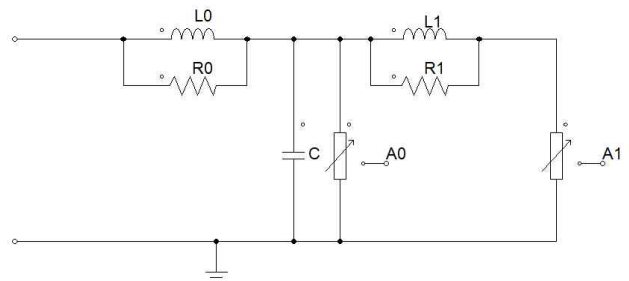


그림 1. 피뢰기 열화 분석을 위한 등가회로

피뢰기 열화 특성은 그림 1의 입력 전압 대비 입력 전류 변화에 대한 추이로부터 예측가능하다. 이를 위하여, 입력 전류

의 피크치 정점까지 도달하는데 소요되는 시간에 따른 비선형 변화 특성을 가지는 피뢰기 전압 구현이 필요하다. 이를 위하여 그림 1에 보여진 것 과 같이 직렬로 인덕턴스(L_0)와 인덕턴스(L_1) 및 어레스터(A_0, A_1)를 사용하여 모델링하였다. 인덕턴스 양단의 전압 변화는 어레스터(A_0, A_1) 양단 전압 변화를 야기 한다. 인덕턴스(L_0)와 인덕턴스(L_1) 전류의 정점까지의 시간이 감소함에 따라 전압 변동은 증가하기 때문에 피뢰기 열화 특성 변동을 묘사하는데 장점이 있다. 등가 회로에 사용된 셉트 커패시턴스(C)는 정점에 도달한 어레스터(A_0) 양단 전압과 방전 전류에 대한 전압 크기 곱셈이 일치하지 않는 경우에 대한 보정을 위하여 사용 되었다.

2.1.1 등가회로 시뮬레이션

피뢰기 열화 분석 등가회로 분석을 위하여 U사의 10(kV) 피뢰기를 사용하였다. 아래 그림 2는 피뢰기 외관 이며, U사 10(kV) 피뢰기 주요 사양은 표 1 과 같다.



그림2. U사의 10(kV) 피뢰기 외관
[표 1]피뢰기주요사양

정격 전압 KV (rms)	MC OV KV (rms)	Creepage lenth (mm)	30/60 μ s switching current KV (crest)	피뢰기 크기		
				피뢰기 전체 길이 (mm)	큰 barn의 직경 (mm)	작은 barn의 직경 (mm)
10	8.4	354	19	135.51	105	77

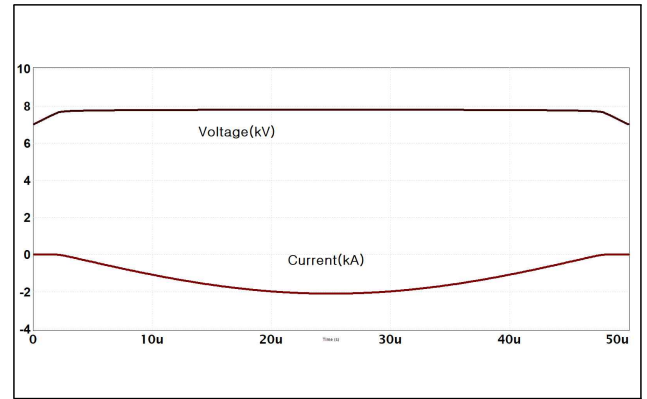
피뢰기 등가회로 모델의 각 매개변수(L_0, R_0, L_1, R_1 및 C) 중 매개변수 L_1 이 피뢰기 동작에 가장 큰 영향을 미치는 반면 다양한 다른 매개변수는 거의 영향을 미치지 않는다. 해당 내용은 다양한 L_1 값에 대한 파라메트릭(parametric) 수치 분석을 통해 알 수 있었으며 그 결과는 표2와 같다.

[표 2]피뢰기등가회로 파라미터

항목	값
L_0	0.22(μ H)
R_0	150(Ohm)
C	64(μ F)
L_1	7.5(μ H)
R_1	102[Ohm]

피뢰기의 주파수 분석을 위하여 그림1의 등가회로를 기준으로 L_0, R_0, L_1, R_1, C 및 비선형 특성 A_0 및 A_1 에 대한 초기

값을 산출 후 스위칭 서지 방전 전류와 관련된 방전 전압과 잘 일치하도록 어레스터 A 및 A_1 에 대한 단위당 값을 조정 하였다.(피크치 전압 5 μ s의 최대 도달 시간) 모델의 정확성을 입증하기 위하여 그림1과 표2를 기준으로 시뮬레이션을 수행 하였으며 그 결과는 그림 3과 같다.



[그림 3] 30(usec) lime-to-Crest 와 2[kA] 서지(Surge)조건에서 방전 전압 및 방전 전류 파형

시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.
- 주어진 방전 전류에 대해 금속 산화물 피뢰기에서 발생하는 전압은 전류의 정점까지의 시간이 감소함에 따라 증가한다.

- 5(usec) 이하의 방전 전류 경우 방전 전압은 방전 전류의 정점보다 먼저 정점에 도달한다.
- 0.5(usec)에서 48(usec)까지 파고드는 시간 범위에서 방전 전류에 대해 만족스러운 결과를 나타내고 있다.

3. 결론

본 논문에서는 비선형 V-I 특성과 이에 따른 인덕턴스로 구성된 간단한 피뢰기 모델을 구성할 수 있었으며, 짧은 파고 시간 동안 방전 전류에 대해 금속 산화물 피뢰기에서 발생하는 전압은 전류의 정점까지의 시간이 감소함에 따라 증가하는 효과를 얻었다. 본 연구에서는 피뢰기 모델 매개변수를 선택을 통한 피뢰기 열화 예측 모델에 대한 분석 방법을 고찰 하였다. 추후 모델의 정확성을 입증하기 위해 모델링 결과와 테스트 결과를 비교할 계획이다.

참고문헌

[1] 한송엽,이정우,이광호, “피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치 및 검출 방법”, 대한민국 특허, 등록번호 10-2068028, 1월, 2020년.
[2] M. Kezunovit et. al, “COMPUTING RESPONSES OF SERIES COMPENSATION CAPACITORS WITH MOV PROTECTION IN REAL-TIME”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, pp. 244-251, January 1995