

배전용 변압기를 통한 저압전원선으로의 뇌서지 전파

이복희, 이수봉, 이동문

인하대학교, 차세대 고전압전력기술연구센터

Propagation of Lightning Surges on Power AC Lines through Distribution Transformers

Bok-Hee Lee, Su-Bong Lee, Dong-Moon Lee

Research Center for Next-Generation High Voltage and Power Technology Inha University

Abstract

A strong need to improve the quality of electric power is increased because of increasing use of the sensitive and small-sized electronic devices. The surges on the low-voltage ac power lines are induced by nearby lightning return strokes, and the facilities for HA, OA, FA, ME as well as computer are easily damaged by high-voltage transients. The behaviors of lightning surge characteristics transferred from the primary winding to the secondary winding in distribution transformers using a Marx generator were experimentally investigated. The transfer characteristics of lightning surge associated with a custom service ground of secondary side were also examined.

1. 서론

전원공급의 질적 향상의 중요성의 증가로 인한 중앙 및 공기업의 저압 전원선의 뇌과전압 조사가 특별히 관심을 끌었다. 과도 이상전압의 수많은 조사는 다양한 환경에서 수행되었다. 특히, 통신선과 컴퓨터 전원선에서의 과도 이상전압은 수없이 연구되었다. 그럼에도 불구하고 저압 배전선에서의 과도 이상전압은 잘 알려지지 않았다. 더욱 더 깊게 연구되어야 할 현상중의 하나는 배전용 변압기 1차권선에서 2차권선으로 이행되는 뇌서지와 관계된 것이다. 수많은 직격뢰나 유도뢰에 의한 뇌서지가 고압배전선에 유도되고 배전용 변압기 고압측으로 침입하여 저압 전원선으로 이행된다.

이 논문은 뇌서지에 대한 효과적인 대책을 제안하기 위해 배전용 변압기의 1차측으로부터 2차측으로 이행되는 뇌서지의 특성을 분석하는데 기초를 두었다. 1.2/40 μ s 임펄스 전압이 배전용 변압기의 1차측으로 인가되었을 때 1차권선으로부터 2차권선으로 이행되는 전압을 측정하고 산출하였다.

또한 2차측 수용가에 추가로 접지를 하였을 경우 이행되는 전압의 양상 또한 실험하였다.

2. 실험장치 및 방법

배전용 변압기 1차측 피뢰기의 설치 유무 및 2차측 수용가에 추가로 접지를 시설한 경우의 뇌서지 이행특성을 평가하기 위한 측정계를 그림1과 같이 구성하였다. 그림1에서 R1은 추가접지 했을 경우의 접지전극이고 R2는 배전용 변압기의 접지전극이다. 이들 접지저항값은 각각 1 Ω 과 5 Ω 으로 유지하였고 배전용 변압기의 용량은 10kVA와 20kVA에서 모의하였다. 배전용 변압기 1차측의 인가전압은 활선과 대지사이에 공통모드로 인가하였고 2차측으로 이행되는 전압은 활선과 중성선 사이의 차동모드와 활선과 대지 사이의 공통모드에서 측정하였다. 또한 2차측 수용가에 추가로 접지를 시설했을 때 인입선의 길이는 30m인 경우를 모의하였다.

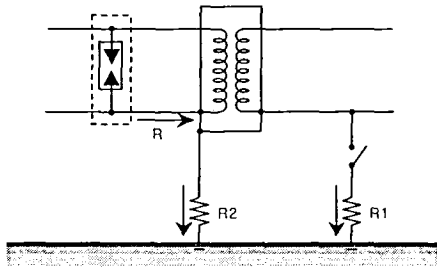
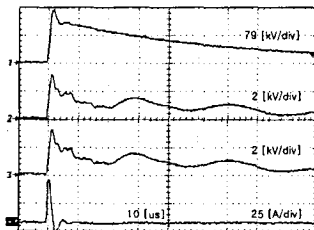


그림1. 실험회로
Fig.1. Test circuit

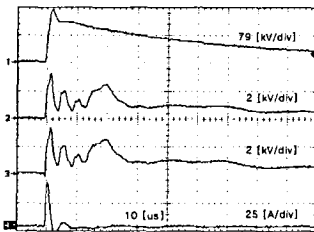
3. 결과 및 고찰

3.1 배전용 변압기 1차측 피뢰기의 설치 유무에 따른 뇌서지 이행특성

그림2는 배전용 변압기의 1차측에 피뢰기가 설치되지 않았을 경우 인가전압, 2차측 이행전압(차동모드, 공통모드), 접지전류에 대한 측정파형을 나타내었다.



(a) 10kVA 배전용 변압기



(b) 20kVA 배전용 변압기

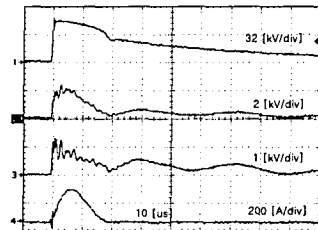
- 1 : 인가전압 2 : 공통모드전압
3 : 차동모드전압 4 : 접지전류

그림2. 배전용 변압기 1차측에 피뢰기가 설치되지 않았을 경우의 측정파형

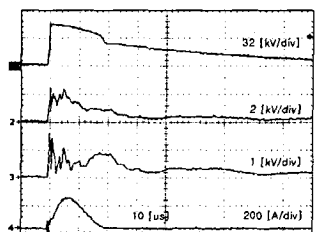
Fig.2. Measured waveforms in distribution transformers without a surge arrester

인가전압이 증가함에 따라 2차측으로 이행되는 전압은 증가하였다. 10kVA 배전용 변압기 이행전압 파형은 20kVA 배전용 변압기 이행전압 파형과 비교했을 때 파미부분에서 약간의 다른 양상으로 나타났다. 그러나 동일한 인가전압에서 10kVA와 20kVA 배전용 변압기 이행전압의 피크값과 접지전류는 거의 유사하게 나타났다. 고압 배전선으로 입사한 서지는 1차권선과 2차권선 사이의 표류 정전용량에 의해 변압기 2차측으로 유도되었다. 이것은 배전용 변압기의 1,2차 권선에서의 권수비와 정전용량에는 영향을 받지 않았다.

또한, 측정은 배전용 변압기 1차측 환선과 접지도체 사이에 피뢰기를 설치한 경우에 대해서도 모의하였다. 그림3은 인가전압, 2차측으로 이행되는 전압(차동모드, 공통모드), 접지전류에 대한 측정파형을 나타내었다.



(a) 10kVA 배전용 변압기



(b) 20kVA 배전용 변압기

- 1 : 인가전압 2 : 공통모드전압
3 : 차동모드전압 4 : 접지전류

그림3. 배전용 변압기 1차측에 피뢰기가 설치되었을 경우의 측정파형

Fig.3. Measured waveforms in the case that a surge arrester was installed at primary side

배전용 변압기 1차측에 피뢰기가 설치되었을 경우 2차측으로 이행되는 전압은 감소하였고 접지

전류는 피뢰기가 1차권선에서의 입사전압을 제한하기 때문에 눈에 띄게 증가하였다. 따라서, 그림4와 같이 2차측 공통모드전압은 차동모드전압보다 크고 이행되는 전압은 접지전류의 증가와 함께 선형적으로 증가하였다. 2차측에서의 공통모드전압은 배전용 변압기의 용량에는 거의 영향을 받지 않았다. 그러나 차동모드전압은 20kVA 변압기가 10kVA 변압기에 비해 높게 나타났다.

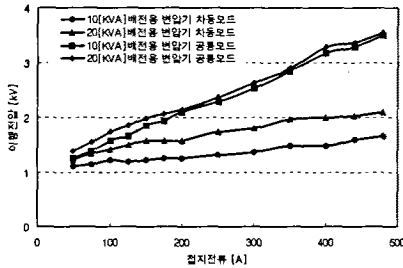
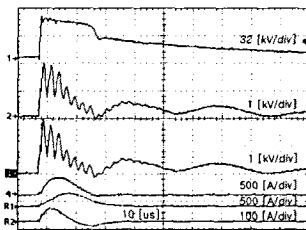


그림4. 배전용 변압기 1차측에 피뢰기가 설치되었을 경우 이행전압 특성

Fig.4. Characteristics of the transferred voltage in the case that the arrester was installed at the primary side

3.2 수용가 추가접지에 따른 뇌서지 이행특성

그림5는 2차측 수용가에 추가로 접지를 시설했을 경우 이행되는 전압 및 전류 파형을 나타내었다.



1 : 인가전압 2 : 공통모드전압 3 : 차동모드전압
4 : 접지전류 R1 : 추가접지전류
R2 : 변압기접지전류

그림5. 수용가 추가접지에 따른 측정파형

Fig.5. Measured waveforms associated with a custom service ground

2차측에 추가로 접지를 시설한 경우 공통모드로

이행되는 전압은 접지를 하지 않았을 때보다 감소하였다. 이는 길이가 30m인 인입선의 인덕턴스에 걸리는 전압이 차동모드전압에 포함되어 나타난 것으로 보여진다. 또한, 그림6과 같이 길이가 30m인 인입선의 2차측으로 이행되는 전압(공통모드, 차동모드)은 변압기의 용량에 거의 영향을 받지 않았다.

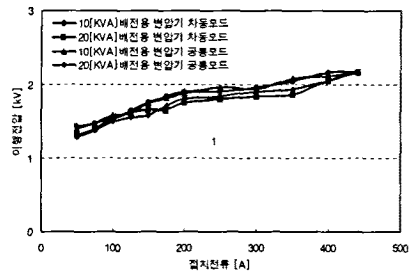


그림6. 수용가 추가접지에 따른 이행전압의 크기
Fig.6. Amplitudes of the transferred voltage associated with a custom service ground

3.3 뇌서지 이행에 대한 시뮬레이션

2차측으로 이행되는 서지 전압의 특성과 배전용 변압기의 파라미터에 대한 정보를 얻기 위하여 이론적인 시뮬레이션을 수행하였다. 2차측으로 이행되는 전압의 특성은 Pspice 프로그램을 통해 분석하였다. 그림7은 서지 전압의 결합을 위해 선로정수를 적용한 배전용 변압기의 등가회로를 나타내었다. 그림8은 실험과 시뮬레이션을 통하여 얻어진 인가전압과 배전용 변압기 2차측 이행전압 파형을 보여준다.

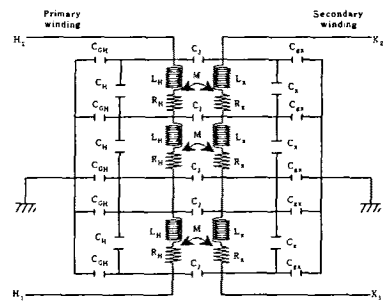
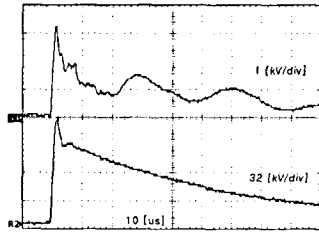
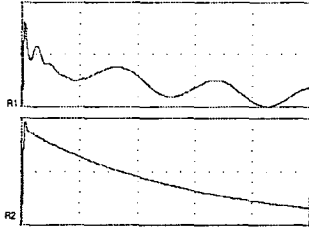


그림7. 배전용 변압기의 등가회로
Fig.7. The equivalent circuit of distribution transformer



(a) 실험 파형



(b) 시뮬레이션 파형

그림8. 실험과 시뮬레이션을 통해 얻어진 이행전압 파형

Fig.8. Waveforms of the transferred voltages obtained by experiment and simulation

시뮬레이션 결과 실험에 의해 측정된 파형과 유사하였다. 특히, 10kVA 배전용 변압기의 2차측으로 이행되는 전압의 측정파형은 시뮬레이션 결과와 흡사하였다. 배전용 변압기의 1차권선으로부터 2차권선으로 이행되는 전압 파형의 특성은 다음과 같다.

변압기를 통해 서지 전압이 결합하기 위한 4가지 메카니즘은 1,2차권선 사이의 표류 정전용량, 각 권선과 접지 사이의 표류 정전용량, 상호 인덕턴스 그리고 1,2차권선 각각의 저항값이다. 2차측으로 이행되는 전압의 진폭은 주로 1차권선과 2차권선 사이의 표류 정전용량에 의해 결정되었다. 또한 피크치 이후의 감쇠와 진동성분은 2차권선의 저항값과 2차권선과 접지 사이의 표류 정전용량에 의해 결정되었다. 이행되는 전압 파형의 파미에서 진동의 진폭은 1차권선의 저항값에 의해 주로 결정되어지고 진동 주파수는 1차권선의 인덕턴스와 1차권선과 접지 사이의 표류 정전용량에 의해 형성되었다.

4. 결론

뇌서지로 인하여 배전용 변압기 1차측으로부터 2차측으로 이행되는 전압의 특성은 실험적으로 연구되었다. 그 결과 변압기의 등가회로를 제안하였고, 이행되는 전압의 측정파형은 시뮬레이션 결과와 아주 유사하게 나타났다.

또한, 배전용 변압기 2차측 수용가에 추가로 접지를 시설했을 경우 접지를 하지 않았을 경우보다 공통모드로의 뇌서지전압 이행을 억제하는 측면에서 효과적임을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Alexandre Piantini, Caius V. S. Malagodi, "Voltage surge transferred to the secondary of distribution transformers". High Voltage Engineering Symposium, 22-27 August 1999 Conference Publication No. 467, IEEE, 1999.
- [2] Task Force Report, "Secondary(low-side) surge in distribution transformers". IEEE Trans, Vol. 7, No 2, April 1992.
- [3] M. B. Marz, S. R. Mendis, "Protecting load devices from the effects of low-side surges". IEEE Trans, Vol. 29, No. 6, November/December 1993.
- [4] C. K. Roy, J. R. Biswas, "Studies on impulse behavior of a transformer winding with simulated faults by analogue modeling". IEEE Trans, Vol. 141, No. 5, September 1994.