배전선로용 피뢰기 진단형 누설전류 검출장치 설계

° 윤 기갑*, 박 종범*, 윤 석무**, 이 승학**, 김 홍필***, 김 광우 ****
*한국전력공사 전력연구원 **대덕대학 ***경일대학교 **** 진광 이엔씨(주)

Design of Leakage Current Detecting Equipment of an Arrester Diagnostic Type in a Distribution Line

° Gi Gab Yoon*, Jong Beom Park*, Suk Mu Yoon**, Seung Hak Lee**, Hong Pil Kim***, Kwang Woo Kim****
*Korea Electric Power Research Institute **Tae Dok College ***Kyung Il Univ ****Jin Kwang E&C Co..Ltd

Abstract - Since an arrester has been generally used at the distribution line and abroad for the protection of electrical equipments against overvoltage (or abnormal surge) taking place in or from an electrical system, a fault, especially, in the distribution line is very likely to result in the destruction of insulation of other protection devices to cause an overall paralysis of a power system, a chaos.

Considering the importance of arresters, its earlier replacement than its proposed life cycle causes an economical loss, and a negligence not to replace or repair it in time gives rise to a crucial accidence.

The purpose of this paper is to invent an electric leakage current detector and to solve such problems by the continuous and regular inspection of an arrester.

1. 서 론

국내·외적으로 전력 계통 전반에 걸쳐 눈부신 발전이 있어 왔으며, 또한 그 품질면에서도 괄목할만한 성장이 이루어졌다. 전력계통에 설치되어 운전중인 다양한 종류의 보호기기 중에서 본연구와 관련된 배전선로 보호기기로서는 recloser, sectionalizer, switch등이 있다. 이 기기들은 배전선로 계통의 핵심적인 고가의 보호기기들이다. 이들이 써지(Surge)로 인하여 소손되면 대규모의 정전이 발생되며 전력 공급의 신뢰도면에서도 심각한 악영향을 초래한다. 이러한 여러 가지의 보호기기들을 써지로부터 보호하기 위한 방안으로 피뢰기를 설치하고 있다.

피뢰기의 역사는 18세기 Benjamin Franklin에 의해 뇌현상이 방전현상이라고 밝혀진 이래 Gap 방식, Gapless 방식의 발전을 거쳐 최근 10여년간 반도체 소자 기술의 발전과 더불어 산화아연(ZnO) 소자가 개발됨으로써 새로운 형태의 피뢰기가 개발되었으며, 현재는 산화아연(ZnO) 소자의 피뢰기가 주류를 이루고 있다.

피뢰기에는 계통전압이 상시 인가되고 있으며 뇌써지가 수시로 인가되므로 피뢰기의 열화는 끊임없이 진행된다. 따라서 피뢰기의 정상작동 여부가 전체 계통의 운영에 중대한 요소가 되므로 피뢰기의 열화 방지를 위하여 많은 노력이 경주되고 있다.

피뢰기는 뇌써지 동작시의 산화아연(ZnO) 소자의 수명 단축과 계통전압이 상시 인가되어 흐르는 누설전류의 경년 변화에 따른 계속적인 증가에 의해 파괴된다. 따라서 피뢰기를 상시 감시하여 최상의 성능을 유지하는 문제가 계통의 안정에 매우 중요하다. 본논문에서는 피뢰기의 경년 변화에 대한 유지보수 시기 및 적정의 교체 시기를 판단할 수 있는 정밀급의 누설전류 검출기를 개발한다. 이를 이용하여 배전계통의 고가 보호기기에 설치되는 피뢰기를 상시 최적의 성능이 발휘되도록 하면서 적절한 시기에 교체함으로써 계통의 안정과 경제적인 이득을 얻을 수 있다.

2. 본 론

해외의 선진국에선 피뢰기를 상시 점검하여 유지 보수 시기를 예측할 수 있는 누설전류 측정기가 피뢰기의 특성에 따라 제작사별로 제작·판매되고 있으며, 그 종류도 업체마다 매우 다양한 현시점에서 이러한 문제점을 해결하기 위한 피뢰기 누설전류 검출기의 개발이 매우 절실하고 시급한 현실이다.

2.1 피뢰기의 열화 및 진단

2.1.1 산화아연형(ZnO) 피뢰기

산화아연형 피뢰기는 오래전에 선진국에서 많은 연구와 발전이 있어 왔으며 실용화 측면에서는 일본이 가장 먼저 현실화시켜 왔다.

일본에서 개발·실용화된 것은 먼저 발·변전소용 갭레스형이 실용화되고 이어서 배전선용, 송전선용, 교직 변환소용 등이 직렬 갭붙이를 포함하여 사용되고 있다.

산화아연형 피뢰기는 전압-전류의 비선형 특성이 매우 우수한 산화아연(ZnO) 소자를 특성요소로 함으로써 종래형 피뢰기의 SiC소자에는 필요 불가결하였던 직렬갭이 필요없게 된 것으로 현재 피뢰기라고 하면 산화아연형(ZnO) 피뢰기를 가리킬 정도로 보급되었다.

최근에는 산화아연형 소자의 특성 개량으로 전력계통 및 설비의 절연설계가 합리화되어 전력 가격의 삭감에도 크게 도움이 되고 있다.

전력설비의 중요성을 고려할 때, 공급 신뢰도의 향상과 설비의 콤팩트화, 경비 절감이라는 언뜻 모순되는 것과 같은 과제를 해결하기 위하여 산화아연형(ZnO) 피뢰기의 고성능화와 잔여수명 파악은 극히 중요하다 하겠다.

2.1.2 피뢰기의 열화 진단 및 잔여 수명

피뢰기의 연화 요인으로서는 현재까지 열화 기구가 충분이 분석되지는 않았지만 크게 다음과 같이 분류할 수 있다. 저항분 누설 전류의 증가에 의한 산화아연 소자의 열화, 상시 계통에 가해지는 전압에 의한 소자의 열화, 서지 단시간의 과전압이나 개폐서지와 같은 서지 흡수에 따른 열화, 흡습에 따른 열화, 기밀 구조의 열화, 기타 요인에 의한 열화 등이다.

피뢰기에 대해 종래부터 실시되고 있는 열화 진단법으로는 절연저항측정법, 전누설전류측정법, 저항분 누설전류측정(전력손실측정)법, 방전특성시험(직렬갭붙이 피뢰기) 등이 있다. 산화아연형 피뢰기에 대한

열화 진단 방법은 소자의 열화기구처럼 통일된 진단 방법이나 판정기준이 아직은 확립되지 않았다.

산화아연형(ZnO) 피뢰기는 일반적으로 직렬 갭을 사용하지 않기 때문에 운전 전압이 직접 ZnO 소자에 가해져 그림 2.1에서 처럼 상시 미소한 누설전류가 소자에 흐른다. 이 전류는 용량분과 저항분으로 구성되어 있으며 소자가 열화하면 그 v-i특성은 그림에서 처럼 점선과 같이 저하하고 저항분 전류가 증가하지만 용량분 전류는 별로 변하지 않는다. 이 저항분 전류의 증가로 소자가 발열하고 최종적으로는 열폭주하여서 지락사고를 일으킨다.

산화아연(ZnO) 피뢰기의 누설전류는 산화아연(ZnO) 소자 자체의 저항분 전류와 용량분 전류에 애관 등의 용량분 전류나 애관과 소자간의 용량분 전류가 중첩된 것이며, 저항분 전류나 용량분 전류와 대비하기 위하여 특히 전누설 전류라고 부른다.

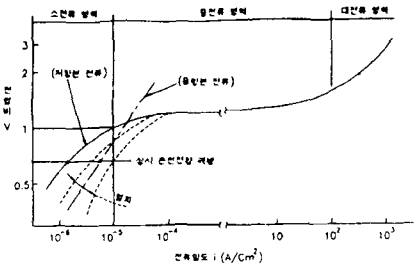

그림 1. 산화아연 소자의 $v-i$ 특성

산화아연형 피뢰기의 잔여 수명은 소자의 열화와 기밀구조의 열화에 따라 결정된다. 기밀구조의 열화는 모든 전기기기에 공통되는 사항이므로 소자의 열화에 초점을 맞춘다면, 누설전류가 증가하기 시작하여 열폭주에 이르기 까지를 잔여수명으로 볼 수 있다. 잔여수명의 추정은 계통의 보호기기의 안전과 직결된다. 잔여수명의 추정이 부정확하여 피뢰기가 정상수명을 마치기 전에 교체된다면 경제적인 손실이 매우 크며, 이와 반대로 정상수명을 마친 피뢰기를 계속 사용하게 되면 대형 계통 사고가 발생될 우려가 있다.

2.2 피뢰기의 누설전류 검출방식 분석

현재까지는 피뢰기의 전전류를 측정하는 방법이 산화아연형 피뢰기의 외부 진단기술의 주류를 이루고 있다.

산화아연(ZnO) 소자의 열화가 어느 정도 진행한 시점에서는 전전류 중에 저항분 전류가 점하는 비율이 크게 되며 전전류를 측정하는 것만으로도 용이하게 피뢰기의 이상진단을 할 수 있다.

이 때문에 감도의 면에서는 뒤떨어지지만 종래의 측정기술을 그대로 사용할 수 있으며 측정오차가 적고 용이하게 측정할 수 있는 전전류의 관리가 피뢰기의 외부 진단기술로서 넓게 보급되어 있다.

그러나 피뢰기의 열화를 촉진하는 것이 저항분 전류이므로 전전류의 측정만으로는 피뢰기의 상태를 완벽하게 점검할 수는 없다.

한편 최근의 Electronic 기술의 진보에 따라 적은 비율의 저항분 전류를 전전류 중에서 검출하는 기술이 여러 가지 개발되어 실용화 되고 있다.

초기의 산화아연(ZnO) 소자의 열화를 빠르게 검출하여 피뢰기의 열폭주 발생을 예측, 그것을 미연에 방지하기에는 그 저항분 전류를 관리하는 것이 가장 유효한 방법이다. 전전류에서 저항분 전류를 얻는 방법은 여러 가지가 있다.

2.2.1 자기 파형 삭제 방식

피뢰기의 전전류에서 자동적으로 삭제파형을 만들어 전전류와의 차동을 취해서 그림 2와 같이 저항분 전류를 얻는다.

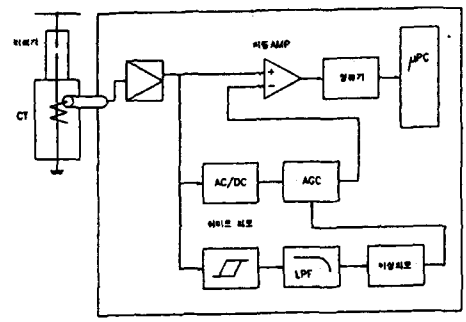

그림 2. 저항분 전류 측정 블록선도

CT에서 검출된 전 전류의 신호를 증폭하여 그 영점에서 반전하는 새로운 파형의 신호를 슈미트 회로에서 발생시켜 이것에서 적용 주파 성분을 검출하며 더욱이 용량분 전류에서의 지연을 새로운 회로에서 보정한다.

이 신호의 파고치를 전 전류의 그것에 합쳐 얻어진 삭제파형을 전 전류파에서 뽑아내어 저항분 전류를 얻는다.

이렇게 해서 얻어진 저항분 전류의 파고치를 취해서 마이크로 프로세서에 넣어 소정의 알고리즘에 기초하여 이상진단을 행한다.

이 방법은 PT/PD 등에서의 보정신호가 불요한 것, 또 센서로서 CT를 사용하고 있기 때문에 안전하며 내Surge성이 뛰어난 등의 장점이 있다.

2.2.2 동기 정류방식

피뢰기의 전전류를 검출하여 밴드패스 필터를 통하여 기본파 성분을 검출, PT(PD) 등에서 얻은 전압신호로 동기정류, 직류에의 변환, 증폭, 저항분 전류 신호를 얻는다.

이 방법은 계통의 고조파의 영향을 받지 않으며 측정 오차가 작은 장점은 있으나 전주에 설치되어 있는 피뢰기는 계통전압 확보가 불가능하다는 단점이 있다.

2.2.3 절 외부전원을 이용한 파형삭제 방식

CT에서 검출한 전 전류파 신호에 PT(PD) 등에서 얻은 전압신호를 미분하여 발생한 삭제파를 차동시켜 저항분 전류를 얻는다.

이 방식으로는 저항분 전류파형을 정확하게 얻을 수 있고 더욱 전압과 승산하여 와트 로스(Watt Loss)를 얻을 수 있는 장점이 있다.

2.2.4 제3고조파 방식

CT에서 검출한 전전류중 기본파의 다음에 저항분 전류에 많이 포함된 제3고조파를 밴드패스 필터로 검출하고 관련제어회로에서 선형화한 후, 더욱 증폭된 저항분 전류의 신호를 얻는다.

이 방식은 보조신호가 불필요한 것, 또 일반적인 계통의 제3고조파는 변압기 2차에서 단락시켜 상당히 적기 때문에 오차를 거의 포함하지 않는 저항분 전류의 신호를 얻을 수 있다. 그러나 국내 전력계통의 접지방식이 직접 접지방식으로 고조파방식에 대한 정밀도는 저하된다고 본다.

2.3 새로운 누설전류 검출기

본논문에서 새로운 개념 정립을 하여 채택한 측정 원리는 CT에서 입력된 전류파형을 데이터 처리하여 CPU에서 상반전 및 연산처리한 후 입력파형과 위상 반전한 파형과의 연산적인 관계로 저항분 전류만을 검출하는 방식으로 측정 원리를 설명하면 다음과 같다.

2.3.1 측정 원리

변류기를 이용한 합성분 전류값을 확보한 다음 증폭회로를 이용하여 증폭한 후 전류로 환산한 다음 합성분 전류로 인식한다. 환산된 합성분 전류를 A/D 변환하여 데이터(Data)로 처리하며 이를 출력한다.

A/D 변환된 데이터(Data)는 디지털 필터(Digital Filter)를 통해 연산처리하기 수운 깨끗한 파형(데이터)으로 저장되고 저장된 데이터의 최대치를 3 Point 부분을 검출하여 피크(Peak)치내의 1주기분 데이터(Data)를 검출한다. 이렇게 검출된 데이터로 합성분 전류를 계산하게 되고 또한 용량성분의 전류치를 삭제하기 위한 임의 파형(1주기분 데이터의 위상을 반전시킴)을 생성시켜 검출된 데이터(Data)와 위상 반전시켜 데이터(Data)의 합을 구하므로써 용량성 전류를 삭제하게 된다.

저항분 전류를 검출하는 방식은 입력 파형과 위상 반전한 파형의 데이터(Data)를 연산처리한 값으로 표시하며 데이터(Data)를 출력하면 저항분 전류만을 검출할 수 있다.

위의 합성분 전류(I_0) 데이터 파형 (1주기 데이터)과 저항분 전류(Ir) 데이터 파형이 구해지며 연산 처리에 의해 실효치가 구해진다.

2.3.2 시제품 설계 및 제작

본연구를 수행함에 있어서 누설전류 검출 방식에 대한 검토는 이미 앞에서 언급한 바와 같이, 기존 검출 방식은 여러 가지가 문제점이 있는 것으로 파악되었다.

이러한 다양한 문제점를 보완하여 피뢰기가 배전선로의 전주에 설치된 상태에서 외부전원을 사용하지 않고 입력 파형을 분석 및 데이터화 하여 새로운 개념의 누설전류 검출 방식을 개발함으로써 보다 더 정밀급의 누설전류 검출기를 개발하기에 이르렀다.

특히 누설전류 검출 방식에서 기존 방식의 큰 문제점은 외부 전원을 사용, 제 3고조파를 이용, 외부전원을 사용하지 않는 방법이라도 전주에 설치되어 있는 피뢰기의 누설전류를 측정할 수 없다는 단점 등이 있어 이러한 문제점을 다각적으로 검토하여 본 과제에서는 1인 조작가능, 외부전원 불요, 조작의 간편성등 크게 세가지 부분에 중점을 두고 설계하였다.

이러한 연구 결과로부터 누설전류 검출방식면에서 입력 파형을 데이터화 하여 파형을 분석 및 재구성함으로써 피뢰기의 열화에 크게 영향을 미치는 저항분 전류를 검출할 수 있었으며, 조작봉에 의한 1인 조작이 가능한 정밀급 누설전류 검출기를 개발하는데 이르렀다.

2.3.3 누설전류 검출기의 구조

새로운 개념을 도입한 정밀급 누설전류 검출기의 구조는 크게 외부 노이즈(Noise)를 차폐할 수 있는 차폐함, 조작자가 조작할 수 있는 조작봉, 피뢰기의 누설전류를 검출하는 CT부, CT에서 출력된 값을 입력하여 데이터 분석 및 광으로 송신 하는 측정부, 측정부에서 광송신한 출력값을 수신하여 조작자가 확인할 수 있는 표시부로 크게 5가지 영역으로 구분하여 설계·제작하였다.

본논문을 통하여 개발된 누설전류 측정기의 장점 가운데 하나는 측정데이터의 파형을 분석할 수 있다는 것이다. 전류파형을 분석한다는 것은 일반 휴대용 측정기로서는 어려운 과제이지만 본측정기의 누설전류 측정방식이 합성분 전류치에서 저항분 전류치를 검출하도록 LOGIC이 구성되어 있는 관계로 일반 오실로스코프와 같이 파형을 측정하고 저장할 수 있는 가능구현이 불가피하였나, 따라서 측정기는 측정 데이터의 길이(약 4 CYCLE정도)는 짧지만 파형을 분석하는데는 충분한 데이터를 기록할 수 있게 되었고 이를 활용할 수 있도록 측정기에 약 3 CYCLE분의 데이터 저장(자동으로 수행함) 기능을 갖추게 되었다.

3. 결 론

산화아연형 피뢰기는 기기 보호뿐만 아니라 절연레벨의 저감도 가능케 하며 전력계통 전반의 신뢰성 향상과 비용절감 면에서 기여하고 있는바가 크다.

그러므로 피뢰기의 중요성은 일층 커지고 피뢰기의 관리방법과 그 잔여 수명 추정 기술의 향상이 강하게 요망되고 있다.

이에 대응하는 방안으로 본연구를 수행하게 되었으며 만족할만한 결과를 얻게 되었다. 그러나 피뢰기의 잔여 수명을 확인할 수 있는 기준치까지 연구를 할 수 없었으며 앞으로 지속적인 관심과 시험을 통하여 피뢰기의 종류별 데이터를 축적하는 것과 적용기준을 명확히 하여 과대 서지에 의한 순시의 열폭주를 방지하고 기대 수명 기간내의 계획 갱신등 기밀 열화 예방 대책을 실시함으로써 가까운 장래에 산화아연형 피뢰기의 잔여 수명 추측 이론이 아니라 실용적으로 가능해질 것이라 기대한다.

본 연구를 통하여 한전 선로뿐만 아니라 일반 수용가의 수전설비내 피뢰기와 관련된 사고감소 및 효율적인 유지보수 업무를 도모할 수 있으며 관련 업체의 누설전류측정에 대한 관심과 기술력 향상에 도움이 될 것으로 기대한다.

[참 고 문 헌]

[1] 김주용, 김찬영, 송일근 "배전용 피뢰기의 열화 특성분석"한국전력공사, 전력연구원 , 1998.5

[2] EPRI, "Study of Distribution System Surge and Harmonic Characteristics" EPRI FL-1627, Project 1024-1, Final Roport, November 1980.

[3] EPRI, "Study of Lightning Current Magnitude Through Distribution Arresters" EPRI EL-1140, Project 1141, Final Report. September 1979.

[4] B.K. BOSE, "MODERN POWER ELECTRONICS :Evolution, Technology and Applications" 1992.

[5] J.H. Bull, "Voltage Spikes in L.V. Distribution Systems and Their Effects on the use of Electronic Control Equipment" Report No. 5254, Electrical Research Association U.K. 1968

[6] Michio Matsuoka, "Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 10, No.6, June. 1971.

[7] K. Nakada, T. Yokota, S. Yokoyama, A. Asakawa & Y. Hashimoto, "Energy Duty of Surge Arrester due to Direct Lightning Hits to Power Distribution Lines", Proceedings of The Internatinal Conference on Electrical Engineering, PP.339-402, Teajon, Korea, July, 1995.