

충격전압용 쉴드 저항형 분압기의 특성연구

김익수, 김영배, 문인옥, 서길수, 최재구, 김민규
한국전기연구소

A study on the characteristics of shielded resistor divider for impulse voltage

I.S Kim, Y.B. Kim, I.W. Moon, K.S. Seo, C.K. Choi, M.K. Kim
Korea Electrotechnical Research Institute

(Abstract)

The accuracy of impulse voltage measurement has been discussed and revised the IEC Publication 60-2 "High-voltage test techniques Part 2: Measuring Systems". Along with those activity, reference measuring systems have been experimentally investigated on their characteristics by step response method for lightning impulse voltage in our country.

In this paper, using EMTP, we enable to clarify dominant factors affecting the unit step response, and to evaluate the construction of measuring system.

1. 서론

산업의 발달 및 국민의 복지 향상 추구로 전기에너지의 수요는 더욱 더 급증하고 있으며, 인구의 도시집중화등으로 인하여 특정지역에 대용량의 전력수송이 필요하게 된다. 따라서 전기에너지를 더욱 효율적으로 수송하기 위하여 송·변전 설비는 고전압화를 필요로 한다. 이러한 초고전압 송전과 더불어 안정적 전력공급을 위하여 전력설비의 절연성능 검증은 필수적이다. 전력설비의 절연성능 검증시험에 있어서 중요한 요소는 충격전압 시험이다. 충격전압시험을 정확하게 하기 위하여는 충격전압의 측정기술에 대한 충분한 지식과 경험이 중요하며, 특히 측정분야의 기술진보에 따른 분압기의 성능 및 측정정도에 더욱 엄격한 정확성을 요구하고 있다.

본 연구에서는 충격전압시험을 정확히 행하기 위하여高精度 쉴드저항분압기의 설계, 제작에 있어서 필요한 분압기의 특성을 EMTP를 사용하여 해석하여 설계시 고려하여야 할 각 회로 경수의 영향에 대하여 기술하였다.

2. 충격전압용 기준분압기의 설계

1994년 IEC60이 개정되어, 전기시험의 인정기준을 IEC에 준거하는 세계 각국에서는 충격전압 측정에 있어서 기준분압기를 보유하고, 이것에 의하여 교정된 분압기를 사용토록 언급하고 있다[1]. 이 기준분압기의 특성은 직각파에 대한 응답특성이 IEC의 요구조건을 만족하여야 한다. 일반적으로 충격전압 측정용 기준분압기의 개발은 사용될 충격전압파형의 종류 및 정격전압이 정해지면 기증절연강도를 고려하여 분압기의 높이를 결정한 다음, 고압용 쉴드링을 시초로 하여 형상 설계와 고압부와 저압부 저항체 각 부분의 특성을 정하게 된다. 이 경우 특히 저항선용 사용하므로 열용량 특성과 제작의 용이성 및 무유도 특성을 고려한 권선방법등이 고려된다[3].

2.1 대상분압기의 구성도

대상으로 하는 충격전압 분압기는 700kV 뇌충격전압용 쉴드 저항형이다. 분압기의 고압부는 7,959Ω으로 무유도 권선법을 채택하였으며, 저압부는 무유도 권선법으로 된 저항을 8조 병렬로, 총저항 5.02Ω을 금속 상자내에 설치하였다. 그림1은 대상분압기를 포함한 측정시스템의 직각파 응답특성시험을 위한 구성도를 나타낸다.

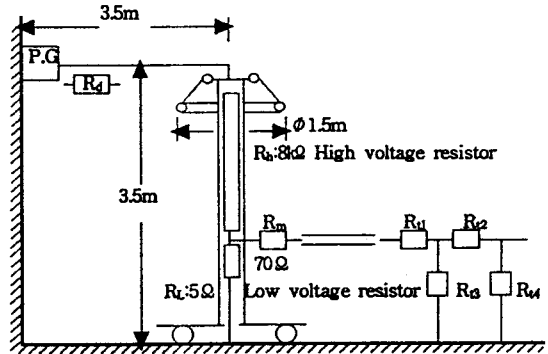


그림 1. 직각파 응답특성시험 구성도

2.1.1. 분압기의 등가회로

고전압 측정용 분압기는 정격전압이 높아짐에 따라서 고압 전극은 대형으로 되고, 지상고도 필연적으로 높게 된다. 이 결과로 표류 정전용량(이는 길이에 비례적으로 커진다)은 점차로 무시할 수 없게 된다. 또한 분압기의 고압부 및 저압부를 인덕턴스가 작은 무유도 권선법으로 감았지만 인덕턴스 성분도 무시할 수 없다. 따라서 저압부에서의 출력파형은 이 표류정전용량과 고압부와 저압부의 저항성분과 인덕턴스 성분으로 이루어지는 시간지연의 파형으로 나타내게 된다. 그림 2는 이들의 등가회로를 나타낸 것으로, 고압부의 저항을 일정한 15개의 전극으로 분할하여 저항과 인덕턴스($R_n - L_n$)로, 전극-전극간의 정전용량(C_n), 전극-대지간의 정전용량(C_g), 전극-쉴드간의 정전용량(C_{sh})을 상정하였다. 저압부는 저항과 인덕턴스, 대지간 정전용량만을 상정하였다. 측정케이블(5C2W)은 이중 차폐된 케이블로 특성임피던스 75Ω이다.

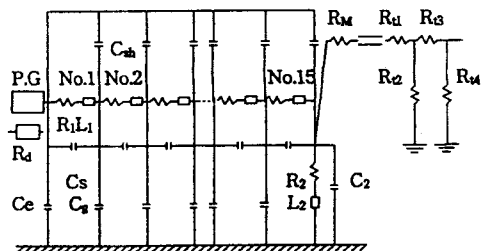


그림 2. 직각파 응답특성시험 구성도의 등가회로

2.1.2. 정전용량의 계산

가. 전극-대지간 정전용량

대상으로 하는 분압기 치수의 대부분은 고압부가 차지하고, 원통에 저항선을 감는 구조로 되므로 길이 l (m), 반경 a (m) 되는 원주도체를 대지위에 세운 경우를 상정하여 식(1)과 같이 근사적으로 대지와의 정전용량을 계산한다[2].

$$C_g \approx \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\log \frac{l}{a\sqrt{3}}} \quad [F] \quad (1)$$

$$\epsilon_0 : \text{진공유전율} (= \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \text{ [F/m)})$$

나. 셸드 전극-대지간 정전용량

셸드전극을 반경 ρ_0 의 원판으로 상정하여 지상고 H 되는 점에 수평으로 설치한 경우, 근사적으로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C \approx \frac{2}{\pi} \times \frac{\rho_0}{1 - \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{4H}{\rho_0})^2}}} \times \frac{1}{9 \times 10^9} \text{ [F]} \quad (2)$$

다. 직렬 정전용량

대상으로 하는 셸드 저항형 분압기의 저항선은 일반적으로 무유도선을 행하기 위하여 되접기의 형태로 된다. 이 경우의 인접하는 전극간의 직렬 정전용량은 저항선의 반경 ρ_0 , 저항선의 간격 H 로 평행하게 설치되어 있다고 상정하여 근사적으로 위의 식(2)로써 구해진다.

2.2. EMTP에 의한 특성 계산

셸드 저항형 기준 분압기의 설계, 제작에 있어서 변수로 되는 부분은 분압기의 셸드 링, 고압부, 저압부의 정전용량 및 인덕턴스로 생각할 수 있다. 이하 이들의 각 특성에 따른 직각과 응답특성을 그림 2의 등가회로를 사용하여 EMTP로 해석, 영향을 검토하였다.

2.2.1. 분압기 셸드 링의 영향

고전압용 분압기는 셸드 링이 없는 경우, 고전압이 인가되는 상부에 전계가 집중되므로 이를 완화하기 위하여 분압기 상부에 셸드링을 취부하게 된다. 셸드 링의 크기 및 대지간의 간격에 따른 대지간 정전용량값의 대소에 따른 직각과 응답특성을 그림 3에 나타낸다. 그림에서 보는 바와같이 대지간 정전용량이 작을수록 직각과 응답특성의 응답시간이 개선됨을 알 수 있다.

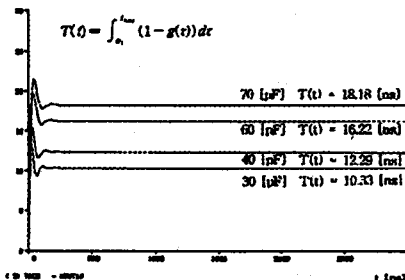


그림 3. 셸드링의 대지간 정전용량에 따른 직각과 응답특성

2.2.2. 분압기 고압부 인덕턴스의 영향

분압기 고압부의 저항은 온도상승에 의한 저항률의 증가를 억제하도록 $\pm 20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 의 낮은 저항-온도계수를 갖는 저항선을 채택하여, 전체 저항은 7.959Ω 로 하였다. 저항선의 길이가 일정하여도 감는 방법에 인덕턴스의 차이가 나게 되므로 이 영향에 대하여 계산을 하였다. 그림 4는 고압부 저항의 인덕턴스값의 변화 따른 직각과 응답특성을 나타내고 있다. 인덕턴스값이 작을수록 직각과 응답시간이 개선됨을 알 수 있다.

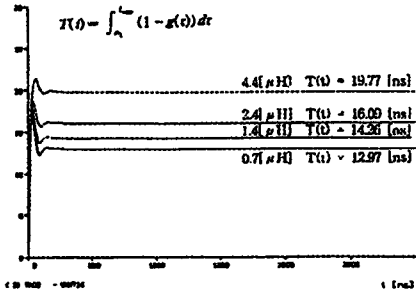


그림 4. 고압부 인덕턴스에 따른 직각과 응답특성

2.2.3. 분압기 고압부 정전용량의 영향

분압기 고압부의 대지간 정전용량, 직렬 정전용량(간략화를 위하여 서로 이웃하는 부분만을 상정함), 및 셸드 링-고압부간의 정전용량의 값에 따른 직각과 응답특성을 그림 5, 그림 6, 그림 7에 각각 나타내고 있다. 직각과 응답시간은 직렬 정전용량과 셸드 링-고압부간의 정전용량이 클수록 좋은 특성을 나타내고, 대지간 정전용량은 작을수록 좋은 특성을 나타낸다.

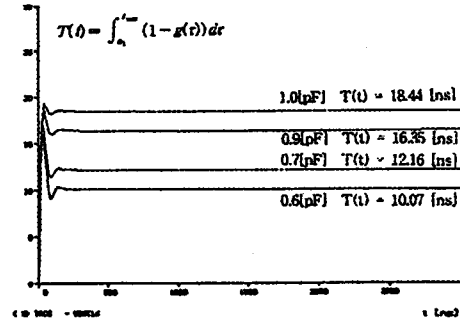


그림 5. 고압부 대지간 정전용량에 따른 직각과 응답특성

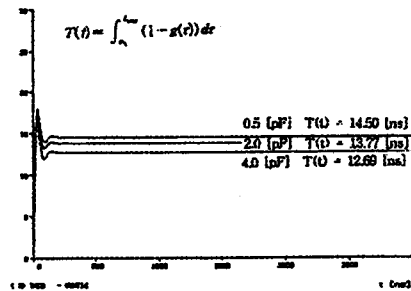


그림 6. 고압부 직렬정전용량에 따른 직각과 응답특성

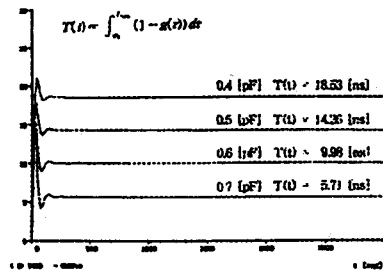


그림 7. 고압부-셸드 링간 정전용량에 따른 직각과 응답특성

2.2.4. 분압기 저압부 인덕턴스의 영향

분압기 저압부의 인덕턴스(0.1 μH)에 의한 직각과 응답파형을 그림 8에 나타내고 있다. 이 경우 진동이 크게 발생되므로, 충분히 작은 값으로 설계를 할 필요가 있다. 이를 위해서는 저항체로 흐르는 전류의 방향을 서로 상쇄하도록 방사상의 배치가 추천되는 한 방법으로 사료된다. 그림 9는 저압부의 정전용량을 10배 추가시켜 그림 8의 파형을 보상한 경우의 직각과 응답파형을 일례로 표시한 것이다.

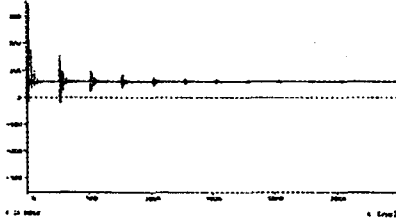


그림 8. 저압부 인덕턴스값에 따른 직각과 응답파형

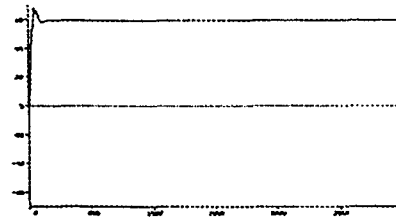


그림 9. 저압부 정전용량 보상에 의한 직각과 응답파형

2.2.5. 분압기 저압부 정전용량의 영향

분압기 저압부 대지간 정전용량값에 따른 영향을 그림 10에 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 저압측의 정전용량에 따른 직각과 응답시간의 특성에 거의 변화가 없었다.

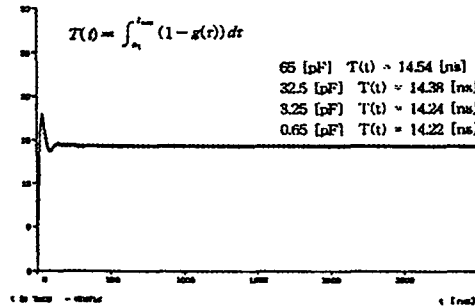


그림 10. 저압부 정전용량에 따른 직각과 응답특성

2.2.6. 제동저항 유무시의 직각과 응답특성

그림 11은 제동저항이 없는 경우의 직각과 인가시 응답파형을 나타내고, 그림 12는 제동저항을 삽입한 경우의 직각과 응답특성을 나타내고 있다. 직각과 응답시간특성은 제동저항이 있는 경우(14.259ns)가 제동저항이 없는 경우(2.2ns)보다 좋지 않지만, 일반적으로는 진동파형이 되지 않도록 제동저항을 사용하는 경우가 많다. 이 경우에 있어서도 제동저항의 인덕턴스 성분은 직각과 응답특성에 큰 영향을 미치므로 인덕턴스가 작은 무유도 저항으로 하여야 한다.

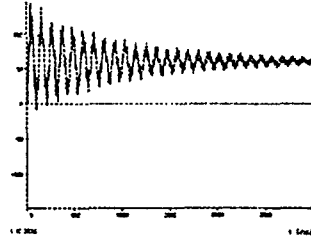


그림 11. 제동저항이 없는 경우의 직각과 응답파형

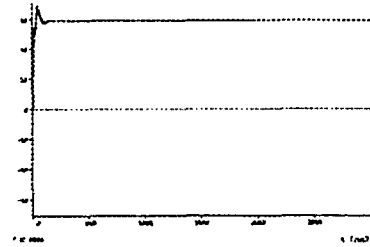


그림 12. 제동저항을 삽입한 경우의 직각과 응답파형

3. 결 론

뇌충격전압 측정용 기준분압기로서 특성을 갖는 엘드 저항형분압기의 설계, 제작에 있어서 고려되는 엘드 링, 분압기 고압부, 저압부 부분의 정전용량, 인덕턴스의 직각과 인가시의 응답시간 특성에 관한 영향을 EMTP로 간략화하여 검토한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- ① 엘드 링의 대지간 정전용량은 작용수폭 효과가 있다. 그러나 고전압이 인가되므로 전압의 완화 효과면에서는 큰 엘드 링을 사용하여야 하므로 이의 최적화가 필요하다.
- ② 고압부의 인덕턴스는 가능한 작도록 하여야 한다. 따라서 무유도 권선방식이 도입되어야 하고, 또한 열용량이 고려된 고저압부 저항을 사용토록 하여야 한다.
- ③ 고압부의 대지간 정전용량의 값에 따라 응답시간 특성은 큰 영향을 받으며 작용수폭 응답시간특성이 좋다.
- ④ 고압부의 엘드 링간 정전용량은 클수록 응답시간 특성이 좋다.
- ⑤ 고압부의 직렬 정전용량의 응답시간 영향은 별로 없으나, 클수록 그 응답시간특성은 좋아진다.
- ⑥ 저압부의 인덕턴스는 충분히 적게 할 필요가 있다. 응답파형의 큰 진동변화가 있는 경우는 정전용량의 적용으로 보상하는 방법을 모색할 필요가 있다.

향후 형상이 주어지면 전체계산법을 도입한 정전용량의 정도 계산에 의한 직각과 응답특성의 파악 및 보상기법 등의 적용이 필요하다고 사료된다.

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정연구 개발사업의 연구결과물의 일부입니다.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 60-2 "High voltage test technique, Measuring Systems" 1994
 [2] 高電壓試驗 핸드ブック 電氣學會 絶縁試験法 핸드ブック 改訂委員會編, 1983
 [3] 里 周二 의 3인 "等電位型抵抗分壓器의 스텝 응답시ミュレーション" T. IEE Japan Vol.117-B, No.4, pp 548-553, 1997