'96 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (1996. 7. 22~24)

펄스발생기에 의한 과도접지저항의 측정과 분석

박종순°, 양정재, 이경옥, 이복희, 이복규*, 옥영환*
인하대학교 전기공학과, 한전 전력연구원 전력계통연구실 정보통신그룹*

Measurement and Analysis of Transient Grounding Resistance with the Pulse Generator

J.S. Park°, J.J. Yang, K.O. Lee, B.H. Lee, B.K. Lee*, Y.H. Ohk*
Inha Univ., KEPRI*

Abstract

Grounding is the art of making an electrical connection to the earth. In order to protect man, electrical and/or electric equipments from the lightning strokes, all the energy of lightning strokes must be diverted via a safe path to earth. It is essential to the transient grounding resistance against lightning strokes.

In this paper, measurements and analyses of grounding surge impedance have been investigated. For measurements of grounding surge impedance the pulse generator was designed and fabricated. The pulse generator has rise time of 22.4 ns and pulse duration of 8 μs. The transient grounding resistance has been measuring by injecting low power and step current between the earthing system under test and a remote reference earth and measuring the potential rise caused by this current. As a result, the transient grounding resistance against lightning surge in the short time domain is much higher than steady state grounding resistance.

1. 서론

접지저항은 보호종류와 보호수준을 정하는데 많은 영향을 주며 접지시스템의 과도특성을 고찰하는 것은 객관적으로 가장 중요한 해석요소가 된다. 최근에 고도 정보화 시대가 급속히 발전함에 따라 건물내에 설치된 기기와 전자·통신 설비의 뇌써-지에 대한 방호대책이 더욱 부각되고 있으며, 이들 기기를 보호하는 접지시스템 설계의 초점이 과도접지저항의 정확한 특성파악에 모아지고 있다.[1]-[2] 과도상태의 대표적인 예로써 낙뢰에 의한 뇌써-지가 침입한 경우의 접지저항은 정상상태의 접지저항보다 대단히 크기 때문에 뇌써-지에 대한 효과적인 보호수준을 얻기 위해서는 접지시스템의 과도특성의 평가가 필수적인 요소이며 집중적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 뇌써-지에 의한 과도접지저항 특성을 파악하기 위해 펄스발생기의 제작과 이를 이용한 과도접지저항 측정 및 특성 분석에 대해 기술하고자 한다. 펄스성형 네트워크(Pulse forming Network : PFN) 이론을 적용하여 펄스발생기를 설계·제작하였으며 이를 이용하여 펄스성의 정전류파형을 접지전극에 인가시 접지전위상승을 측정하여 접지저항의 과도특성을 분석하고 검출한 바 이의 결과에 대해서 기술한다.

2. 펄스발생기의 원리 및 제작

2.1 펄스성형 이론

접지전극의 과도접지저항 측정시 유의할 점은 인가전류파형의 파두장이 짧은 것이 요구되며, 이상적으로는 직각파에 가까운 것이 바람직하다. 파두장이 완만한 파형으로부터 산출한 과도접지저항 특성은 참값으로 보기 어려우므로 과도접지저항의 특성을 나타낼 때에는 인가전류파형을 명기할 필요가 있다. 파두장이 짧고 직각파에 가까운 인가전류파형을 인위적으로 만들어주는 방안으로 펄스성형 이론에 의한 써-지 발생회로를 구성하고 과도접지저항 측정에 적용하도록 하였다. 펄스성형은 진행방향의 단위길이당 인덕턴스 L과 정전용량 C가 일정하며 손실이 없는 선로에서도 펄스를 발생시킬 수 있지만 집중정수인 L을 직렬로 C를 병렬로 여러 개 접속한 펄스성형 네트워크(Pulse Forming Network : PFN)를 구성하여도 같은 동작원리로 적용할 수 있다.[3]

그림 1은 N개의 C와 L의 조합으로 이루어진 PFN 회로도로서 부하저항 R에서 원하는 출력파형을 얻게 된다.

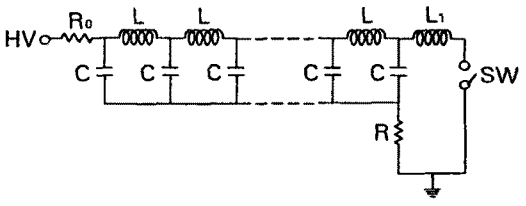


그림 1 펄스성형 네트워크 회로도
Fig. 1 Circuit diagram of pulse forming network

출력전류파형의 기본적인 특성은 다음과 같다.[4]

펄스폭 $$\tau = 2N\sqrt{LC} \quad (1)$$

부하에서의 출력전압 $$V = \frac{R}{Z+R} V_0 \quad (2)$$

부하에서의 출력전류 $$I = \frac{V_0}{Z+R} \quad (3)$$

여기서,

C : 각 단의 캐패시턴스

L : 각 단의 인덕턴스

R : 부하임피던스

R_0 : 충전저항

V_0 : 충전전압

이다. C와 L로 이루어진 특성임피던스 Z ($=\sqrt{L/C}$)와 부하임피던스 R이 정합을 이룬 경우 (2) 식에서 부하의 출력전압은 (4) 식과 같이 되며, 제 1단의 L_1, R, C로 구성된 폐회로에 의해 출력전류파형의 상승시간은 (5) 식으로 결정된다.

$$V = \frac{V_0}{2} \quad (4)$$

$$\tau_r = \frac{\pi}{2\sqrt{\frac{1}{L_1 C} - \frac{R}{4L_1^2}}} \quad (5)$$

2.2 펄스발생기의 설계 및 제작

PFN 회로를 적용한 상승시간 30 ns 이하의 써-지 전류를 발생시키는 펄스발생기를 설계·제작하였다.

표 1은 설계·제작한 펄스발생기의 주요 사양이다.

표 1. 펄스발생기의 주요 사양

Table 1. Principal specifications of pulse generator

항목	사양
콘덴서 (C)	0.11 [nF], WV. DC. 6 kV
인덕터 (L)	1.1 [μH]
제 1단의 인덕터 (L_1)	2.89 [μH]
부하저항 (R)	100 [Ω]
충전저항 (R_0)	1 [MΩ], 시멘트저항
스위치 (SW)	수은 릴레이
단수 (N)	306 단
구조형태	기판형 2층구조

입력측에서 직류전압을 인가하였을 때 부하측 저항 R에서 직각파 써-지 전류파형을 얻을 수가 있다. 저항 R에서 측정한 전류파형과 전압파형을 동시에 측정하여 그림 2에 나타내었다. 전류파형의 경우 22.4 ns의 빠른 상승시간과 약 8 μs의 펄스폭을 가지는 것을 알 수 있다. 설계치는 각각 상승시간이 26.7 ns이고 펄스폭이 8.17 μs로서 펄스폭은 측정치와 비교해 크게 문제가 없으나, 상승시간의 실측치가 22.4 ns로 얻어진 것은 파두부에서 약간의 오버슈트에 기인한 결과라 생각된다.

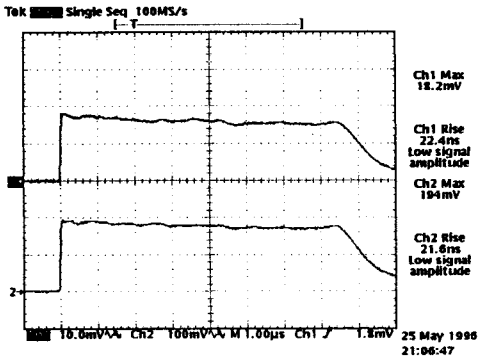


그림 2 펄스발생기의 출력 전류·전압파형

Fig. 2 Output current and voltage waveforms of the pulse generator

3. 과도접지저항 측정 및 결과

제작한 펄스발생기를 이용해 실제의 접지시스템에 대한 과도접지저항 측정계를 그림 3과 같이 구성하였다.

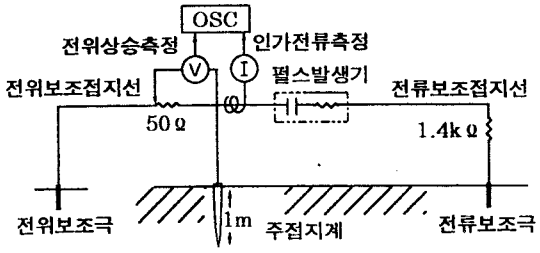


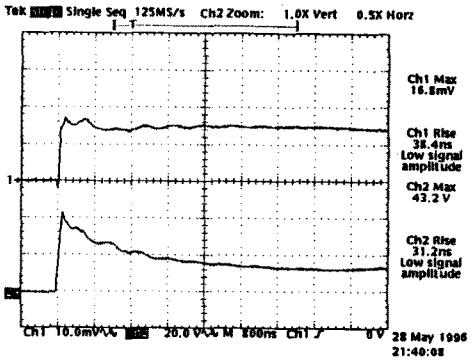
그림 3 과도접지저항 측정계의 개략도

Fig. 3 Schematic diagram of the transient grounding resistance measuring system

펄스발생장치에 의해 뇌써-지 전류가 주접지전극에 유입되면 접지전극의 전위는 상승하며, 전류보조접지극과 반대방향으로 설치한 전위보조극을 사용하여 전위상승량을 측정할 수 있다. 동일 시간축상에서의 전위상승치와 유입전류치를 구하면 그것의 비, 즉 V/I가 과도접지저항치가 된다.[4][16] 주접지전극으로는 길이 1 m의 봉상전극을 사용하였으며 펄스발생기에 의한 인가전류파형이 8 μs까지 일정한 직각파양상을 보이므로 전위상승으로 인한 과도저항 성분의 유효한계 역시 8 μs의 시간대까지 고찰하는 것이 타당하겠다.

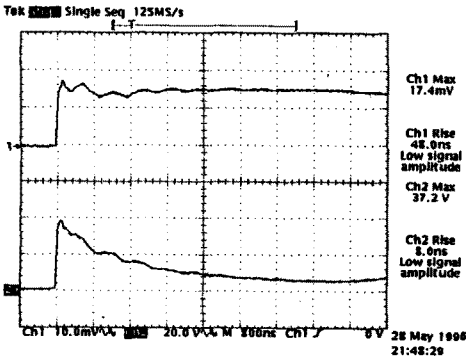
그림 4.(a) 와 4.(b) 에 정상접지저항이 서로 다른 두 가지 경우의 인가전류파형과 전위상승파형을 나타내었다. 인가전류파형의 최대치는 각각 그림 4.(a) 에서 0.84 A, 그림

4.(b) 에서 0.87 A를 나타냈다. 그림 4.(a) 의 인가전류·전위상승파형에 의한 정상접지저항은 약 23 Ω이었고, 그림 4.(b) 의 경우는 정상접지저항치가 약 5.7 Ω이었다.



위 (전류) : 0.5 A/div 아래 (전위) : 20 V/div

(a) 정상접지저항이 23 Ω인 경우



위 (전류) : 0.5 A/div 아래 (전위) : 20 V/div

(b) 정상접지저항이 5.7 Ω인 경우

그림 4 정상접지저항이 서로 다른 두 경우의 인가전류·전위상승파형

Fig. 4 Injection current and potential waveforms as the steady state grounding resistance is different

이 두 경우에 대한 과도접지저항치는 그림 5 에서처럼 약간 다른 양상을 나타냈다. 정상상태 접지저항치가 23 Ω인 경우는 감소하면 과도저항치가 약 0.5 μs 부근에서 약간 증가하다가 1 μs 부근에서 다시 감소하여 2~3 μs 부근에서 정상상태로 접어들었으며, 정상접지저항치가 5.7 Ω인 경우는 4 μs 가 될 때까지 계속적으로 감소하여 정상저항으로 안정되는 양상을 띠었다. 두 경우 모두 최대 67 Ω의 과도접지저항 상승치를 보였으며, 2 μs 이전의 급격한 변화를 보인 반면에 5 μs 이후에는 거의 정상상태에 가까운 접지저항치를 기록했다. 표준 뇌임펄스전압에 대해서만도 접지저항이 적은 경우 과도접지저항은 정상접지저항보다 수 배 정도 높으므로 뇌써지가 입사된 경우 접지극의 전위상승은 정상접지저항을 고려한 경우보다 훨씬 더 높이 나타난다. 이는 뇌써지 보호대책에 있어 대단히 중요한 요소라고 생각되며 특히 정상접지저항의 증배율은 높게 나타났다.

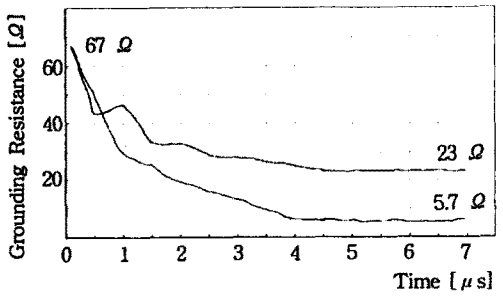


그림 5 정상상태 접지저항이 23 Ω인 경우와 5.7 Ω인 경우의 과도접지저항 비교

Fig. 5 Comparison between the transient grounding resistances in case that the steady state grounding resistance are 23 Ω and 5.7 Ω

4. 결론

PFN 이론에 의한 펄스발생기를 제작하여 접지저항의 과도특성을 분석하는데 적용하였다. 펄스발생기는 30 ns 이하의 상승시간과 8 μs 정도의 펄스폭을 가지는 써-지전류를 발생시키며 그 성능이 과도접지저항 측정에 적절하다고 인정된다.

봉상전극의 정상상태 접지저항이 서로 다른 경우에 대해 접지저항의 과도성분의 변화를 비교하였으며, 정상저항치가 큰 경우가 작은 경우보다 비선형적인 요소를 강하게 나타내었다. 과도성분의 최대치는 정상상태 접지저항의 크기에 영향을 거의 받지 않았고 5 μs 이후에는 정상상태로 안정되는 특성을 보였다.

본 연구에서는 과도접지저항을 측정·분석하는데 필요한 장치로서 펄스발생기의 제작과 그 적용여부를 성능평가로 결정하는데 중점을 두었으며, 이후의 과제로 전극의 종류와 길이, 매설깊이, 환경요소 등을 감안한 과도접지의 측정·분석에 대한 연구를 계속 추진해 나아갈 예정이다.

참고문헌

[1] 高橋健藏, 接地設計入門, オーム 社, pp. 4~6, 21~23

[2] 川瀨太郎, 접지기술과 접지시스템, Ohm社

[3] 이복희, 고전압대전류공학, 청문각, pp.153~159, 1993

[4] 京都ハイパワーラワノロジー研究會編, パルスパワー工學の基礎と應用, 近代科學社, 1992. pp. 78~84

[5] 三谷 弘, 접지저항의 써-지특성과 대책, 일본전기설비학회지, pp. 871-887, 1990

[6] 橋本信雄, 雷とサージ, 電氣書院, pp.107-114