

선박전기설비 시험용 조합형 써 - 지발생장치의 제작과 특성

길 경 석* · 김 윤 식*

Fabrication and Characteristics of a Combination Surge Generator for Testing Shipboard Electrical Systems

G. S. Kil · Y. S. Kim

Key words : Combination surge generator(조합형 써 - 지발생장치), Surge protection circuit(써 - 지보호회로), Shipboard electrical systems(선박전기설비), Source impedance(전원임피던스),

Abstract

This paper describes a combination surge generator for carrying out performance tests on the surge protection circuits of shipboard electrical systems. Pspice simulations were performed to decide the values of the parts required and to analyze the characteristics of the generator circuitry. The surge generator fabricated can produce four of the most common surge test waveforms : the $0.5\mu\text{s}/100\text{kHz}$ Ringwave, the $1.2/50\mu\text{s}$ voltage, the $8/20\mu\text{s}$ current, and the $10/1000\mu\text{s}$ voltage waveforms specified in ANSI Std. C62.

Source impedances of the surge generator are 12Ω in the $0.5\mu\text{s}/100\text{kHz}$ mode, 0.5Ω in the $1.2/50\mu\text{s}$ and $8/20\mu\text{s}$ mode, and 40Ω in the $10/1000\mu\text{s}$ mode, and are determined by the ratio of the maximum open - circuit voltage to the maximum short - circuit current.

Experimental results show that the surge generator provides most of the outputs required for the testing of the surge protection circuits on shipboard electrical systems.

1. 서 론

고밀도 집적회로기술의 발달로 전기·전자기가 소형·경량화, 고기능화되면서 이들 기기는 기능상 외부의 이상전압이나 노이즈에 현저한 취약

성을 보이고 있다. 특히 선박에서의 제어 및 신호·통신설비는 좁은 공간 내에 밀집하여 대용량의 전력설비와 동일 계통에 설치되어 있으므로 과도이상전압으로부터 항상 노출되어 있다. 최근에는 선박의 대형화로 인한 전력설비의 대용량화와

* 한국해양대학교 전기공학과 (원고접수일 : 96년 12월)

인버터와 같은 고조파 발생기기의 사용으로 과도 이상전압으로부터 기기의 피해는 점차 다양해지고 심각성도 날로 증가하고 있는 실정이다⁽¹⁾⁽⁴⁾. 그러나 현재까지 국내의 경우 육상전기설비의 써-지내력에 대한 연구는 다수 행하여지고 있으나 선박전기설비와 관련된 연구는 전무하며, 국외의 경우 선박관련연구분야에서 일부 수행하고 있을 뿐이다.

과도이상전압에 대한 기기의 피해를 최소화하기 위해서는 피보호기에 적절한 써-지차단장치의 개발이 요구되어지며, 아울러 과도이상전압에 대한 기기의 보호성능을 평가할 수 있는 시험설비 즉, 써-지발생장치에 대한 연구가 선행되어야 한다⁽⁵⁾. 써-지발생장치는 주변 전력설비로부터 발생하여 기기에 침입 가능한 써-지전압·전류를 발생시킬 수 있어야 하며, 써-지발생장치로부터 시험대상기에 인가되는 전압·전류파형은 시험대상기기의 동작임피던스에 따라 달라지므로 평가대상을 고려하여 설계하여야 한다⁽⁶⁾.

현재 육상의 저전압 제어 및 신호·통신설비의 써-지내력은 침입하는 이상전압의 크기를 고려하여 최대 3.1 kV의 표준저임펄스전압과 2 kA의 표준저임펄스전류로 평가하고 있다⁽⁷⁾. 그러나 선박에서는 이보다 더 높은 이상전압이 관측되고 있어 국제규격으로 정하여지고 있지는 않으나 선박기기의 써-지에 대한 신뢰성확보를 위하여 6kV, 5 kA의 전압·전류까지 평가하고 있는 실정이다⁽⁸⁾.

따라서 본 연구에서는 선박전력설비의 운전조작시 발생하는 과도이상전압을 모의하여, 선박용 제어 및 신호·통신설비의 보호회로개발과 이의 보호성능평가에 적용하기 위한 국제규격의 써-지발생장치를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 제작된 써-지발생장치는 ANSI/IEEE⁽⁹⁾, IEC⁽¹⁰⁾의 0.5μs/100kHz감쇠진동전압, 1.2/50μs 써-지전압, 8/20μs 써-지전류와 10/1000μs 써-지전압파형을 발생시킬 수 있으며, 1.2/50μs 써-지전압과 8/20μs 써-지전류는 동일 모드에서 발생하도록 조합형으로 설계하여 과도이상전압에 대한 기기의 절연특성과 전압제한효과 및 에너지 내량을 동시에 평가할 수 있도록 하였다.

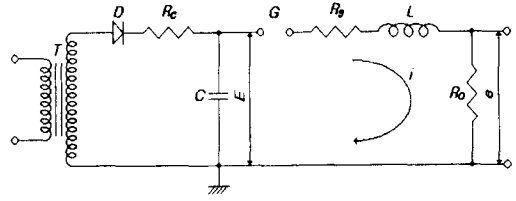


Fig. 1 Basic circuit of a surge generator

2. 이 론

써-지전압·전류의 발생원리는 콘덴서에 전하를 충전한 후, 그 전하를 회로에 방전함으로써 필요한 파형의 전압을 얻는 방법으로 기본회로구성은 그림 1과 같다⁽¹¹⁾.

변압기 T로 승압한 교류고전압을 다이오드 D로 정류하면 충전용 고저항 R_C를 통하여 콘덴서 C에 충전된다. C의 전압이 E가 되었을 때 방전전극 G를 통하여 L, (R+R_0)회로에 C의 전하를 방전시키면, 회로정수에 따라 R_0단자에 충격전압이 발생한다. 그림 1의 회로에서 방전전극 G의 방전시 저항을 무시하면 다음의 식이 성립한다.

$$L \frac{di}{dt} + (R_s + R_0)i + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = E \quad (1)$$

R_s + R_0 = R로 놓고, 초기조건 t=0에서 방전전극이 트리거된다고 할 때, R의 3가지 조건에 대하여 윗식을 풀면,

(i) $R > 2\sqrt{L/C}$ 일 때,
 이 때는 비진동으로, 발생되는 전압에 관한 해는

$$e = iR_0 = E \frac{R_0}{R} \cdot \frac{\alpha}{\beta} \{ \epsilon^{-\alpha-\beta t} - \epsilon^{-\alpha+\beta t} \} \quad (2)$$

로 되며, 전압파형은 급상승 후 서서히 감쇠되는 형태로 된다.

(ii) $R > 2\sqrt{L/C}$ 일 때,
 이 경우는 임계감쇠진동으로 되며, 해는

$$e = E \frac{R_0}{R} \cdot 2\alpha t \cdot \epsilon^{-\alpha t} \quad (3)$$

(iii) $R > 2\sqrt{L/C}$ 일 때,

부족감쇠진동 즉, 진동성분을 포함하는 과도전압을 발생시키며, 진동에 관한 해는

$$e = E \frac{R_0}{R} \cdot \frac{2a}{\omega} \cdot \epsilon^{-at} \quad (4)$$

가 된다.
여기서

$$a = \frac{R}{sL}, \quad \beta = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}, \quad \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

이다.

표준 써-지전압파형은 회로에서 R이 크고 L을 작게 하여 식 (2)를 만족하면 2개 시정수를 갖게 되므로 필요한 파두장과 파미장을 얻을 수 있으며, 표준 써-지전류파형은 식 (3)을 만족하는 임계감쇠진동으로 그리고 감쇠진동파형의 발생에는 식 (4)를 만족하도록 한다.

3. 설계 및 제작

본 연구에서 제작한 조합형 써-지발생장치는 ANSI/IEEE, IEC에 정해진 써-지시험파형을 기준으로 하였다. 출력단자개방과 같은 고임피던스 회로의 접속시는 1.2/50μs 써-지전압이 발생하고, 출력단자단락과 같은 저임피던스 회로의 접속시는 8/20μs 써-지전류가 동일 모드에서 발생할 수 있도록 설계하였다. 또한 제어 및 신호·통신 회로의 대표적 시험파형인 0.5μs/100kHz 감쇠진동전압과 10/1000μs 써-지전압도 각각의 모드에서 발생하도록 하였다. 그림 2에 조합형 써-지발생장치의 전 계통을 나타내었다. 주 요소 R, L, C로 구성된 써-지전압·전류발생회로외에 전압 조절부, 트리거 구동장치, 파형기록장치 등으로 구성되어 있다. 시험에 요구되는 크기의 써-지전

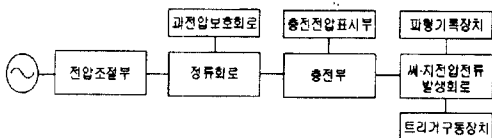


Fig. 2 Schematic diagram of the combination surge generator

압·전류파형을 발생시키기 위하여 먼저 상용 교류전압을 가변전원장치로 0~220V범위 내에서 설정한 후, 승압용 절연변압기를 통하여 교류고전압으로 변환시킨다.

승압된 교류고전압은 정류회로를 거쳐 충전용 콘덴서에 전하를 충전시키고 트리거 구동장치에 의하여 회로를 구성하면, 방전전극을 통하여 콘덴서에 충전된 전하가 시험대상기기로 인가된다. 그러나 실제의 시험에서 발생되는 써-지파형과 크기는 써-지발생장치의 전원임피던스와 시험대상기기의 동작특성 즉, 동작시 시험대상기기의 임피던스에 의존하여 변화하므로 적용대상의 특성에 따라 써-지발생장치를 설계하여야 한다.

그림 3에 제작된 조합형 써-지발생장치의 회로도를 나타내었다. 시험에 필요한 다양한 파두장과 파미장을 얻기 위하여 회로의 시정수 조절이 가능하며, 발생 가능한 최대 전압·전류파형의 크기는 콘덴서에 충전되는 전압을 가변하여 조정한다.

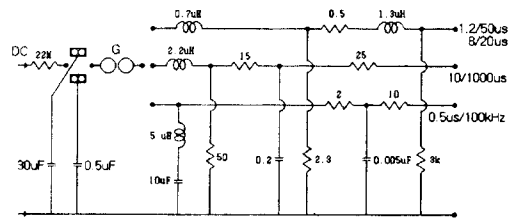


Fig. 3 Circuit diagram of the combination surge generator

표준전압·전류파형을 발생시키기 위한 회로정수는 기본적으로 식(2)~식(4)의 조건을 만족하는 범위 내에서 결정한 후, Pspice시뮬레이션을 행하여 최적 조건의 R, L, C값을 구하였다. 써-지발생장치의 전원임피던스는 과도이상전압 보호소자의 에너지내량과 전압제한특성을 평가하는데 중요한 요소이다. 써-지전류인가에 대한 보호소자의 에너지내량 평가는 전원임피던스가 낮은 값을 갖도록 하여 보호소자에 충분한 전류가 흐를 수 있도록 하여야 하며, 써-지전압인가에 대한 보호장치의 전압제한특성은 수~수 십Ω의 전원임피던스를 갖게 하여 동작시에 적당한 분압효과를 갖도록 설계하여야 한다. 본 연구에서는 선박용 제어

및 신호 · 통신설비에 사용되는 보호장치의 동작 임피던스가 0.5Ω 이하이므로 $8/20\mu s$ 전류발생회로의 전원임피던스를 0.5Ω 으로 설계하여 최대 $10kA$ 를 인가할 수 있도록 하였다. 또한 써-지전압발생의 경우에 전원임피던스를 $0.5\mu s/100kHz$ 전압발생회로는 12Ω , $10/1000\mu s$ 전압발생회로는 40Ω 으로 설계하여 최대 $10kV$ 의 개방전압과 보호장치의 동작시에 최대 $830A$, $250A$ 를 각각 인가할 수 있도록 하였다.

그림 4는 Pspice에 의한 시뮬레이션 결과로 $8/20\mu s$ 는 전류파형이지만 다른 전압파형과 비교가 용이하도록 전압 · 전류파형의 최대 크기를 1로 규격화시켜 동일축상에 나타내었다. 또한 $10/1000\mu s$ 전압파형은 다른 파형에 비하여 긴 파미장을 갖기 때문에 최대 시간축($60\mu s$)범위 내에서 파두 부분을 나타내었다. 시뮬레이션 결과로부터 각각의 전압 · 전류파형은 ANSI/IEEE, IEC규격을 만족하였으며, 여기서 얻어진 회로정수를 이용하여 충전용 콘덴서를 공유하는 조합형 써-지발생장치를 제작하였다.

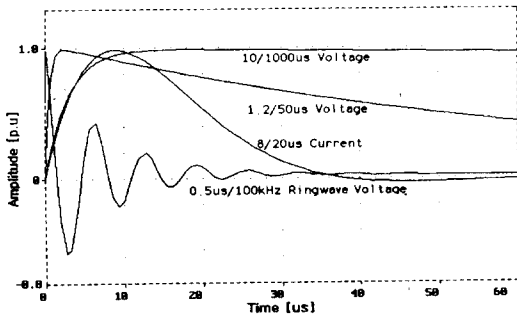


Fig. 4 Typical surge waveforms simulated by Pspice

4. 실험결과 및 고찰

제작된 조합형 써-지발생장치의 특성을 파악하기 위하여 적합한 측정회로부를 구성하였다. 써-지전압 · 전류파형의 주파수대역이 수 백Hz ~ 수 백kHz이므로, 써-지전류의 측정에는 원통형 저항분류기를 사용하고, 써-지전압의 측정에는 주파수대역 DC~70MHz, 분압비 1000 : 1, 최

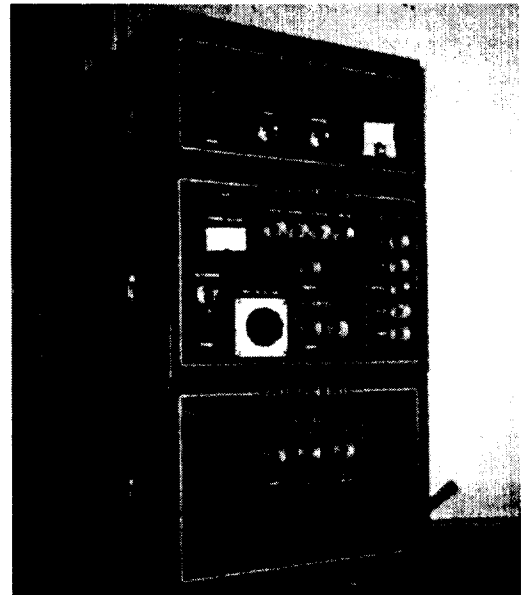
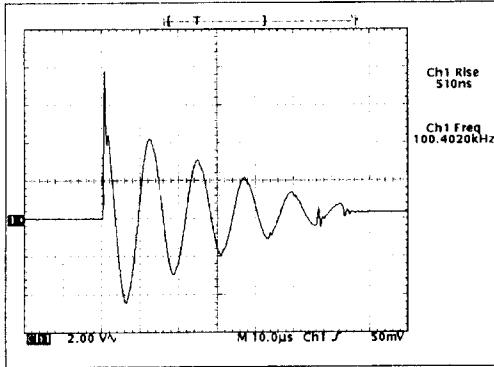


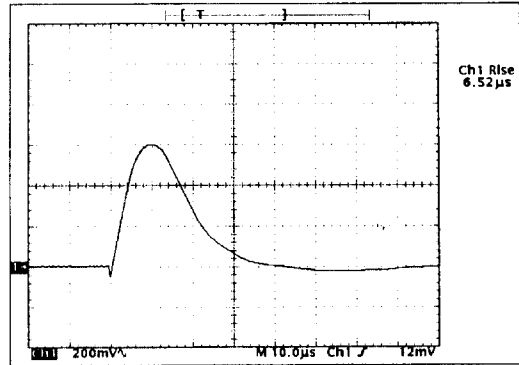
Fig. 5 Photograph of the combination surge generator

대측정전압 $40kV$ 의 고전압프로브(P6015A)를 사용하여 신호의 왜곡없이 검출하였다. 그림 5에 완성된 써-지발생장치의 사진을 나타내었다. 고전압 · 대전류의 회로이므로 기기간 충분한 절연거리가 필요하고, 각 구성품도 비교적 크기 때문에 트리거 제어회로, 충격전압 · 전류발생회로 및 콘덴서 बैं크의 3단으로 구성하여 이동측정이 가능하도록 하였다.

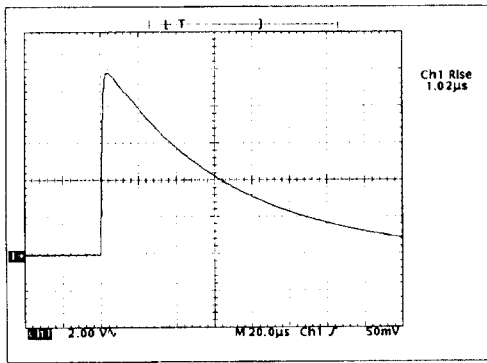
그림 6은 조합형 써-지발생장치의 출력단자에서 디지털측정형 오실로스코프(TDS 520A)로 기록된 파형을 나타낸 것이다. 본 측정의 결과, 조합형 써-지발생장치는 최대 $10kV$ 의 $1.2/50\mu s$, $0.5\mu s/100kHz$, $10/1000\mu s$ 전압파형과 최대 $10kA$ 의 $8/20\mu s$ 전류파형을 발생시킬 수 있었다. 이는 선박전력설비의 운전조작시 발생하여 기기로 침입하는 써-지전압 · 전류를 모의하기에 충분하므로 시험대상기기를 정확히 평가할 수 있다. 또한 써-지발생장치는 보호회로의 성능평가시 인가 전압 · 전류파형이 변화하지 않아야 한다. 특히 보호장치의 에너지내량 평가를 위한 써-지전류파형은 써-지발생장치의 전원임피던스와 보호회로의 동작임피던스에 따라 인가되는 파형이 달라질 수



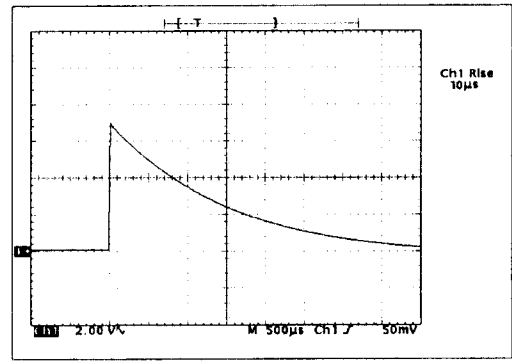
(a) $0.5\mu\text{s}/100\text{kHz}$



(c) $8/20\mu\text{s}$



(b) $1.2/50\mu\text{s}$

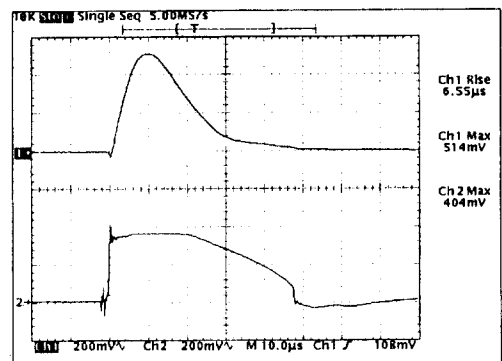


(d) $10/1000\mu\text{s}$

Fig. 6 Typical waveforms generated by the combination surge generator

있으므로 시험평가시 이의 확인이 필요하다.

본 연구에서는 써-지발생장치의 전류인가특성을 확인하기 위하여 과도이상전압 보호소자중에서 가장 널리 이용되고 있는 금속산화물バリ스터에 극한 조건의 $8/20\mu\text{s}$ 써-지전류를 인가하였다. 실험결과예를 그림 7에 나타내었는데, 보호소자에 인가된 써-지전류파형은 그림 6(c)와 같이 써-지발생장치 자체에서 발생한 것과 동일 함을 알 수 있었다. 따라서 제작된 조합형 써-지발생장치는 동작임피던스가 0.5Ω 이하인 보호회로 평가시에는 써-지발생회로의 변경없이 국제규격으로 정해진 표준시험파형을 인가할 수 있으므로 정확한 시험이 가능하다. 그러나 동작임피던스가 이 범위를 벗어나는 보호회로의 평가시에는 인가되는



upper : current waveform lower : voltage waveform
Fig. 7 Typical waveforms applied to a metal oxide varistor

써 - 지파형의 확인과 조정이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 선박전기설비의 과도이상전압에 대한 보호회로개발과 이의 성능평가에 적합하도록 ANSI/IEEE, IEC국제규격을 만족하는 조합형 써 - 지발생장치를 설계 · 제작하였다. 표준파형으로 전원회로시험의 대표적 파형인 1.2/50 μ s 써 - 지전압과 8/20 μ s 써 - 지전류, 제어 및 신호 · 통신회로 시험용으로 0.5 μ s/100kHz감쇠진동전압과 10/1000 μ s 써 - 지전압의 발생이 가능하도록 하였다.

Pspice를 이용하여 시험대상기에 적합한 최적 조건의 회로정수와 요구되는 소자의 전압 · 전류 내량을 정확히 산정할 수 있었으며, 이것으로부터 제작된 써 - 지발생장치는 제어 및 신호 · 통신설비의 과도이상전압에 대한 보호성능평가에 충분한 써 - 지전압 · 전류를 발생하였다.

제작된 조합형 써 - 지발생장치는 시험대상기에 전원을 인가하지 않은 상태의 정적시험을 목적으로 하였으므로, 앞으로 동적시험을 위하여 시험대상기의 동작전원상에 써 - 지전압 · 전류를 중첩시킬 수 있는 커플링회로와 위상각 제어에 관한 연구가 더 진행되어야 한다.

References

- 1) Marcus O. Durham, "Lightning, Grounding and Protection for Control Systems", IEEE Tran. on Industry Application, Vol. 31, No.1, pp. 45~54, 1995
- 2) 木村 茂, "Lightning Protection technique for the electronics and Communication Equipment", 日本電氣設備學會誌, pp. 643~651, 1988, 9
- 3) Bachman, L., Gullberg, F. Stricker, and H. Sachs, "An Assessment of Shipboard Power Line Transients", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 218~223, 1981
- 4) 길경석 외, "뇌써지 전압/전류카운터의 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1882~1884, 1996
- 5) Ronald B. Standler, Protection of Electric Circuits from Overvoltages, John Wiley and Sons, pp. 349~362, 1988.
- 6) F. Heidler, W. Zischank, "Comparability of Various Combination Wave Generators with Different Circuit Design", International Conference on Lightning Protection, pp.324~327, 1994
- 7) IEC, Surge Immunity Testing, IEC1000 4 5, Part 4, Section 5, 1995
- 8) Salvatore F. Cannova, "Short · Time Voltage Transients in Shipboard Electrical Systems", IEEE Tran. on Industry Application, Vol. IA - 9, No.5, pp.533~538, 1985
- 9) IEEE Power Engineering Society, American National Standard, IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low Voltage AC Power Circuits, ANSI/IEEE C62.45 - 1987, IEEE, pp.9~49, 1987
- 10) IEC, Pulse techniques and apparatus, IEC469 - 1, second edition pp. 7~46, 1987
- 11) 日本電氣學會絶縁試験法ハンドブック改正委員会, 高電壓試験 ハンドブック, 日本電氣 學會, pp. 52~88, 1982