

선박 신호회로용 서지방호장치의 개발

서황동⁺, 송재용⁺⁺, 한주섭⁺⁺⁺, 김윤식⁺⁺⁺⁺, 길경석⁺⁺⁺⁺

Development of a Surge Protective Device for Signal Lines on Shipboard

Seo Hwang-dong⁺, Song Jae-yong⁺⁺, Han Ju-seop⁺⁺⁺, Kim Yoon-sik⁺⁺⁺⁺, Kil Gyung-suk⁺⁺⁺⁺

Abstract : Due to the miniaturization of electrical components and assemblies on signal circuits, transient overvoltages caused by switching operation or lightning surges have become more interesting concern to the field of electrical engineering.

In this paper, the development of surge protective devices (SPDs) that can protect sensitive signal device on shipboard from overvoltages are described.

Two kinds of SPDs are designed and tested by using a combination surge generator which can produce the standard impulse current of $8/20\mu s$ 2.1kA according to the IEC 61000-4-5 standard.

From the simulation and experimental results, it is confirmed that the proposed SPDs have an enough protection performance with a low insertion loss and a low clamping voltage.

Key words : signal circuit, shipboard, transient overvoltages, surge protective devices, IEC 61000-4-5

1. 서 론

고밀도 집적회로기술의 급속한 발달로 전기·전자통신기기가 소형·경량화, 고기능화 되면서 기능상 외부의 서지나 노이즈에 현저한 취약성을 보이고 있다. 그 중에서도 낙뢰나 전동력설비의 조작에 의해 발생하는 서지는 전기·전자통신기기의 전원회로와 신호회로의 일시적인 장애 또는 심각한 손상을 일으킬 수 있을 만큼 충분한 에너지를 가지고 있기 때문에 이에 대한 보호대책이 요구되고 있는 실정이다^{[1],[2]}.

서지에 대한 보호대책은 전원 또는 신호회로에 침입한 서지는 피보호기기가 접속된 계통의 전기적 특성에 따라 크기와 파형이 달라지며, 이에 대한 피해 정도도 기기 자체의 내과전압 특성에 의존하므로 충

분한 기초적 자료와 기술이 축적되어 있어야 한다. 국내의 경우, 육상전력의 뇌 보호대책에 대한 연구는 일찍부터 꾸준히 진행되어 왔으나, 선박용 저전압 전기·전자통신 기기를 대상으로 하는 연구는 1980년대 후반에 시작되어 최근에 와서야 집중적인 연구가 이루어지고 있다^[3]. 이들 연구의 대상은 주로 저전압 전원 및 저주파 대역의 신호설비를 중심으로 기기에 침입하는 서지를 수동성 LC 필터로 감쇠시키거나,バリ스터(varistor), 가스튜브(gas tube), 아발란시 다이오드(avalanche diode) 등의 비선형 소자에 의해 기기의 절연레벨 이하로 억제하는 것이다. 이 방법은 회로가 간단하고 에너지가 큰 서지도 충분히 억제할 수 있어 효과적인 서지 보호대책으로 사용되어 왔다^[4].

그러나 각종의 신호회로가 소형화, 고속 광대역화 되면서 외부의 서지에 더욱 민감해지고, 보호장치의 고속 응답특성과 낮은 삽입손실이 요구되어 기존의

+ 한국해양대학교 전기전자공학부 석사과정 E-mail:hwangdong95@bada.hhu.ac.kr, Tel: (051)410-4893

++ 한국해양대학교 전기전자공학부 박사과정

+++ 한국해양대학교 전기전자공학부 Post-Doc.

++++ 한국해양대학교 전기전자공학부 교수

+++++ 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수

보호방식은 더 이상 적용이 어렵게 되었다.

따라서 본 논문에서는 선박용 신호회로와 같이 내전압이 낮은 고주파 전자기기의 서지에 대한 보호장치로 입력정전용량이 적은 비선형 소자와 고속회복다이오드 등의 소자를 조합함으로써 보호장치로 인한 삽입손실과 주파수 대역의 한계에 대한 문제점을 해결하였으며, 서지를 고속으로 차단하여 피보호기기를 더욱 효과적으로 보호할 수 있는 회로를 설계·제작하였다.

제작된 서지방호장치는 국제규격(IEC 61000-4-5: Surge Immunity Test)에 따라^[5], 조합형 서지발생장치(PSURGE 4010, Haefely)를 이용하여 동작 특성을 측정·분석하였다.

2. 서지방호장치의 설계 및 제작

신호회로용 서지방호장치는 회로에서 적은 입력정전용량을 나타냄으로써 정상상태에서의 삽입손실과 누설전류를 최소화하고, 서지전압에 대해 고속으로 동작하여 피보호기기로는 높은 이상전압과 잔류에너지가 전달되지 않는 회로구성이 필요하다. 현재까지 이들의 특성을 동시에 만족하는 보호소자는 없으므로, 몇 개의 소자를 조합한 하이브리드형 회로로 서지전압을 차단하는 방식을 고려하고 있다.

본 논문에서는 신호회로의 주파수 대역에 따라 5V급 5MHz의 대역폭의 저주파용과 5V급 50MHz의 대역폭의 고주파용 서지방호장치를 설계·제작하였다.

저주파용 서지방호장치는 그림 1에 나타낸 것과 같이 가스튜브와 양방향 아발란시 다이오드 및 전류제한용 직렬저항으로 구성하였다. 서지전압에 대한 보호동작은 응답속도가 빠른 아발란시 다이오드가 먼저 동작하고, 차단용량이 큰 가스튜브에 의해 최종적으로 보호가 이루어진다.

아발란시 다이오드의 에너지내량은 대단히 작기 때문에 아발란시 다이오드가 동작할 때 회로에 흐르는 큰 서지전류를 직렬저항을 통하여 제한한다. 아발란시 다이오드의 클램핑 전압과 직렬저항에 의한 전압강하의 합으로 나타나는 전압이 가스튜브 양단에 인가되어 동작개시전압 이상이 되면 회로에 흐르는 큰 서지전류를 분류시킨다.

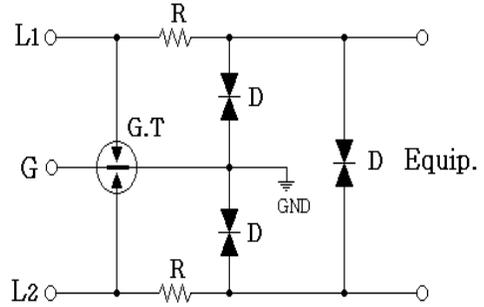


Fig. 1 Configuration of the SPD for low-frequency devices

크로바(crowbar) 소자로서 가스튜브는 응답 속도가 1 μs 정도로 대단히 느리기 때문에 빠른 서지에 대해서는 효과적인 보호대책이 될 수 없다. 따라서 가스튜브는 서지전류에 대한 큰 차단용량을 가지고 서지전류를 회로에 영향이 없도록 분류시키는 것이다. 본 논문에서는 직류 230V의 동작개시전압을 가지는 가스튜브를 사용하였다.

또한 클램핑 소자로서 사용한 아발란시 다이오드는 고속응답이 가능하고, 낮은 제한 전압을 가지기 때문에 저전압용 보호소자로 널리 사용된다. 그러나 차단용량이 대단히 작기 때문에 큰 서지전류에 대해서는 충분한 차단특성을 갖지 못한다. 따라서 아발란시 다이오드 전단에 서지전류 제한을 위한 직렬저항을 삽입하고, 차단용량이 큰 가스튜브를 설치함으로써 효과적인 보호특성을 갖는다.

서지전류 제한용으로 사용된 직렬저항은 아발란시 다이오드의 보호 및 가스튜브를 동작시키는 역할을 하므로 저항값 선정이 대단히 중요하다. 직렬저항값은 가스튜브의 동작개시전압과 아발란시 다이오드의 클램핑 전압의 관계로 식(1)과 같이 표현할 수 있다^[6].

$$R = \left[\frac{V_f}{\pi/2} - V_z \right] (V_z / P) \quad (1)$$

여기서, V_f : 가스튜브의 동작개시전압

V_z : 다이오드의 역파괴전압

P : 다이오드의 정상상태 정격

일반적으로 서지방호장치에 사용하는 제한저항은

서지응답특성이 우수한 2W 이상의 탄소피막저항이나 권선저항을 사용한다.

5V급 50MHz 대역의 고주파용 서지방호장치를 그림 1과 같이 구성하면, 아발란시 다이오드의 정전용량이 대단히 크기 때문에 입력정전용량에 의한 큰 삽입 손실이 발생한다. 따라서 삽입손실과 주파수 대역, 고속차단 등의 문제점을 해결할 목적으로 그림 2와 같은 서지방호장치를 구성하였다. 서지전압의 침입경로에 정전용량이 적고 방전내량이 큰 가스튜브를 적용하고, 정전용량이 큰 아발란시 다이오드와 직렬로 정전용량이 적고 응답속도가 빠른 고속회복 다이오드(fast recovery diode)를 조합하여 클램핑 회로를 구성하였다.

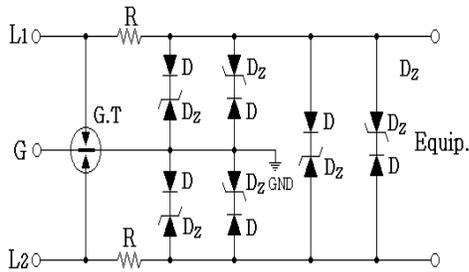


Fig. 2 Configuration of the SPD for high-frequency devices

선로 또는 기기로 침입하는 서지전압은 정(+) 또는 부(-)의 양방향 모두 나타날 수 있으므로 고속회복 다이오드 및 아발란시 다이오드를 역접속하여 정부의 서지전압에 모두 동작하도록 하였다. 또한 외부로부터의 서지전압은 신호선로 뿐만 아니라 접지를 통해서 침입할 수 있으므로 선로와 접지간에도 보호회로를 첨가하여 접지전위 상승에 대한 보호가 이루어지도록 하였으며, 평형회로의 경우는 3극관 가스튜브를 적용하였다.

보호회로에 사용된 아발란시 다이오드의 정전용량이 10 nF 정도로 매우 크기 때문에 순방향 정전용량(1.5 pF)이 대단히 적은 고속회복 다이오드를 역접속하였다. 따라서 정상상태 신호에 대해 서지방호장치에 의한 삽입 손실은 대단히 적으며 직렬저항에 의한 미소전압강하가 발생한다. 대부분의 신호원은 피보호 대상선로에 전달된다.

3. 평가 및 분석

본 논문에서 제안한 서지방호장치의 특성을 평가하기 위하여 국제규격의 조합형 서지발생장치(1.2/50 μ s 4.2 kVmax, 8/20 μ s 2.1 kAmax)를 적용하였다.

서지방호장치의 입력전압과 출력전압의 측정은 수동성 프로브(400 MHz, 10 : 1)로 검출하여 디지털 축적형 오실로스코프(400 MHz)로 관측하였다. 또한 서지방호장치에 인가되는 서지전압과 보호동작에 의해 회로를 흐르는 전체전류는 서지발생장치에 내장된 전압측정용 단자와 전류측정용 단자에서 검출하였다.

3.1 주파수 응답특성

정상 신호입력에 대한 평가로 먼저 입력단과 출력단에 각각 400 MHz 10 : 1 수동성 프로브를 연결하고, 입력단에 5V의 신호원을 입력하였다.

입력전압이 5V이므로 서지방호장치는 보호동작을 하지 않으며, 단지 전류제한용 저항에 의한 미소전압강하만이 발생한다. 따라서 서지방호장치의 삽입으로 인한 신호원의 전압 강하나 신호의 왜곡은 관측할 수 없었다.

그림 3은 서지방호장치의 주파수 응답특성을 나타낸 것으로 서지방호장치에 입력되는 신호의 주파수를 가변하면서 주파수응답특성을 조사하였다. 실험결과로부터 -3 dB가 되는 주파수 대역은 저주파용 서지방호장치에서는 약 7 MHz로 나타났으며, 7 MHz 이상의 주파수에서는 응답파형의 크기가 급속히 감소하는데 이러한 원인은 아발란시 다이오드의 정전용량과 접속선의 인덕턴스에 의한 것으로 판단된다.

고주파용 서지방호장치에서는 정전용량이 큰 아발란시 다이오드와 직렬로 접속된 고속회복 다이오드에 의한 입력정전용량 감소로 -3 dB가 되는 주파수 대역은 약 65 MHz로 매우 우수한 특성을 나타내었다.

따라서 본 논문에서 제안한 서지방호장치는 저주파용은 7 MHz, 고주파용은 65 MHz의 주파수 대역까지 서지방호장치의 삽입으로 인한 손실은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

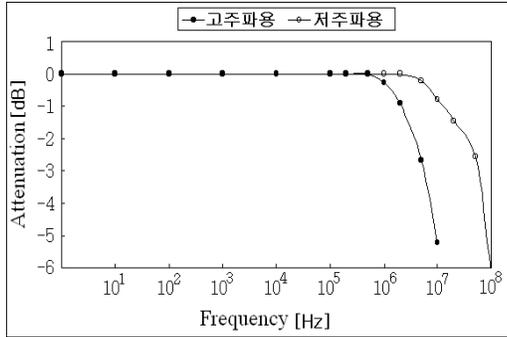


Fig. 3 Frequency characteristics of the SPDs

3.2 서지전압에 대한 평가

서지전압에 대한 성능 평가에는 IEC 61000-4-5에 시험 파형으로 규정된 정(+), 부(-) 극성의 1.2/50 μ s 전압을 서지방호장치의 선로측 연결단자 측, 가스 튜브 양단에 입력하고, 클램핑 회로 양단에서의 전압 파형을 관측하였다.

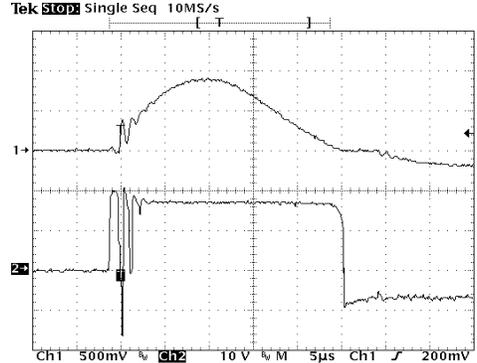
본 실험에서는 1.2/50 μ s, 1 kV의 서지전압을 가스 튜브 양단에 인가하고, 서지방호장치 각 부분에서의 응답파형을 그림 4에 나타내었다.

단계적인 보호 동작으로 인가된 서지전압이 아발란시 다이오드의 클램핑 전압 15V를 넘으면 동작속도가 빠른 아발란시 다이오드가 서지전압의 초기에 클램핑 동작으로 서지전압을 그림 3과 같이 약 20V로 제한하고, 클램핑 회로에는 지속적인 서지전류가 아발란시 다이오드에 의해 보호동이 시작된다.

가스튜브는 동작속도가 늦기 때문에 1 μ s의 크로바 동작으로 서지전압을 억제하여 가스튜브 양단에는 아크 전압(15~30V)만이 나타나며, 이때 8/20 μ s, 470 A의 서지전류가 흐르게 된다. 서지전압이 소멸하면 본 서지방호장치는 정상상태로 회복되며 정상상태의 신호전압은 5V이므로 가스튜브의 속류(follow current)에 대한 문제점은 발생하지 않는다.

그림 5에는 고주파용 서지방호장치의 방전전류크기에 따른 제한 전압특성을 나타낸 것으로 방전전류 증가에 따라 제한전압이 다소 증가하는 경향을 보이지만 안정된 동작을 나타내었다.

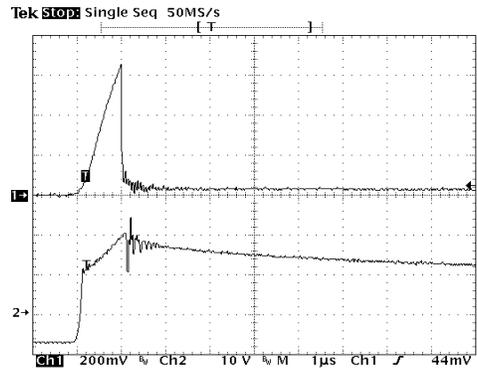
따라서 신호회로용 서지방호장치로 충분한 보호 특성을 가짐을 확인하였다.



상 : 방전전류 [500 A/div]

하 : 차단전압 [10 V/div]

(a) Response waveforms I



상 : 가스튜브 양단전압 [200 V/div]

하 : 출력단 전압 [10V/div]

(b) Response waveforms II

Fig. 4 Response waveforms against the 1.2/50 μ s positive transient voltage

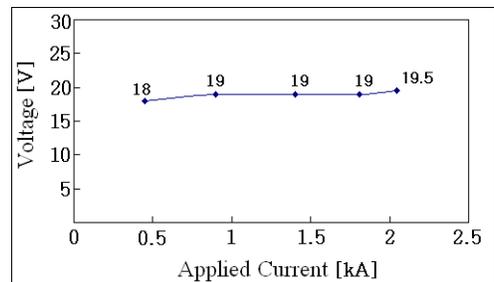


Fig. 5 Applied vs. Clamping Voltage

4. 결 론

본 연구에서는 외부로부터의 서지전압에 대한 신호 회로를 보호할 목적으로 서지방호장치를 설계·제작하였으며, 이론적 검토와 실험적 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 제안한 서지방호장치는 주파수 대역에 따라 5V급 5MHz의 저주파용과 5V급 50MHz의 고주파용 서지방호장치를 설계·제작하였으며, -3 dB가 되는 주파수 응답특성이 각각 7MHz와 65MHz로 충분한 주파수 대역이 확인되었다.
2. 고주파용 서지방호장치에는 아발란시 다이오드와 직렬로 고속회복 다이오드를 접속함으로써 정상 상태에서의 삽입손실을 효과적으로 개선하였다.
3. 제안한 서지방호장치는 동작속도가 빠른 아발란시 다이오드와 차단용량이 큰 가스튜브를 하이브리드형으로 구성함으로써 피보호기에 침입하는 서지전압에 대해 우수한 보호특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] S. B. Smith and R. B. Standler, "The Effects of Surges on Electric Appliances", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, pp. 1275-1282, 1992.
- [2] N. Kuwabara, H. Koga and T. Motomitsu, "A New Lightning Surge Test Circuit for Telecommunications Equipment in Japan", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No. 3, pp. 393-400, 1988.
- [3] K. C. Lai, W. J. Lee, W. V. Jaction, "Testing and Selecting Surge Suppressor for Low-Voltage AC Circuits", IEEE Trans. on Industrial Application, Vol. 26, No. 6, pp. 976-982, 1986.
- [4] IEC 61000-4-5, Surge immunity test, pp. 60-77, 2002.

- [5] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuit from Overvoltage, Wiley, pp. 236 ~ 242, 1988