

전원회로용 서지방호장치의 설계 및 제작

문승보⁺, 박대원⁺⁺, 송재용⁺⁺⁺, 길경석⁺⁺⁺⁺

Design and Fabrication of a Surge Protective Device for Electrical Mains on Shipboard

Moon Seung-bo⁺, Park Dae-won⁺⁺, Song Jae-yong⁺⁺⁺, Kil Gyung-suk⁺⁺⁺⁺

Abstract : This paper deals with the design rule and performance results of the surge protective devices (SPDs) for low-voltage mains on shipboard.

The proposed SPDs consists of a metal oxide varistors (MOV) and a L-C filter to improve noise-elimination performance. Three kinds of SPDs are fabricated and tested by using a combination surge generator which produce the standard impulse current of $8/20\mu\text{s}$ 2.1kA.

As a results, the proposed SPDs with series L-C filter have more excellent transient blocking and noise reduction performance than the conventional ones.

Key words : shipboard, transient overvoltages, surge protective devices, metal oxide varistor, L-C filter

1. 서 론

선박의 대형화로 인한 전력설비의 대용량화와 인버터와 같은 고조파 발생기기의 사용으로 서지전압의 발생빈도가 급증하고 이에 대한 기기의 피해는 점차 심각해지고 있다. 특히 선박의 특성상 좁은 공간 내에 대용량의 전력설비가 밀집되어 설치되고 있고, 제어 및 신호·통신설비와 동일 계통에 설치되므로 서지전압으로부터 항상 노출되어 있다. 뿐만 아니라 선박의 자동화에 기인하여 각종 전기·전자 기기는 소형·경량화, 고기능화 되면서, 이들 기기는 외부의 이상전압이나 노이즈에 현저한 취약성을 나타내고 있기 때문에 서지전압으로부터의 보호대책이 절실히 요구되고 있는 실정이다^{[1],[2]}. 그러나 현재까지 국내의 경우 육상전기설비의 대한 서지내성시험, 서지전압에 대한 보호에 관한 연구는 다수 행하여지고 있지만, 선박의 전기

설비에 대한 연구는 전무한 실정이며, 외국의 경우에도 선박관련 연구분야에서 일부 수행하고 있을 뿐이다^{[3],[4]}.

서지전압에 대한 기기의 보호대책은 전원 또는 신호회로에 침입한 서지전압이 피보호기기가 접속된 계통의 전기적 특성에 따라 크기와 파형이 달라지며, 이에 대한 피해 정도도 기기 자체의 내과전압 특성에 의존하므로 충분한 기초적 자료와 기술이 축적되어야 한다.

한편, 현재까지 선박에서 발생하는 서지전압에 대한 측정결과나 규정들이 마련되어 있지 않기 때문에 현장계측을 통한 선박내 서지전압의 발생유형 및 빈도를 파악할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 선박의 다양한 운전조건에서 전력설비 및 신호·통신설비에 발생하는 서지전압 및 고조파 성분에 대한 현장계측을 통하여 측정·분석하였으며, 이를 바탕으로 보다 적합한 서지전압에 대한 보

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

호장치를 제안하였다. 제안한 서지보호장치는 국제규격(IEC 61000-4-5: Surge Immunity Test)에 따라^[5], 조합형 서지발생장치(PSURGE 4010, Haefely)를 이용하여 동작 특성을 평가하였다.

2. 현장 계측

선박에서 발생하는 서지전압의 발생빈도 및 유형을 분석하기 위하여 실습선을 대상으로 현장계측을 수행하였다. 선박의 기관실 배전반에서 440 V 3 ϕ 3 ω 발전기의 출력단, 220V 전용간선, 105V 전용간선, 통신기기의 전원측을 대상으로 서지전압의 발생 및 파형의 왜곡, 고조파의 발생 등을 측정·분석하였다. 측정결과에서 발전기의 출력단 및 220 V 전용간선에서는 서지전압이 다수 발생하고, 이외의 설비에서는 많은 고조파 성분이 관측되었다. 특히 선박내의 모든 전원이 공급되는 발전기의 출력단에서는 많은 서지전압이 발생하였으며, 이 서지전압은 다른 전력설비에까지 전파됨을 확인할 수 있었다.

현장계측에 사용한 측정장비는 Power Recorder (Power Reliable, RPM-1650)로 전압·전류 프로브를 통하여 상시 관측이 가능하다. Power Recorder의 샘플링 속도는 250 ns로 대단히 빠르기 때문에 전원에서 발생하는 서지전압을 정확하게 측정할 수 있었다. 그림 1에는 측정대상의 구성과 측정위치를 나타내었다.

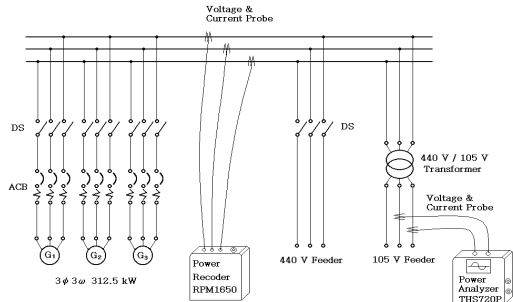


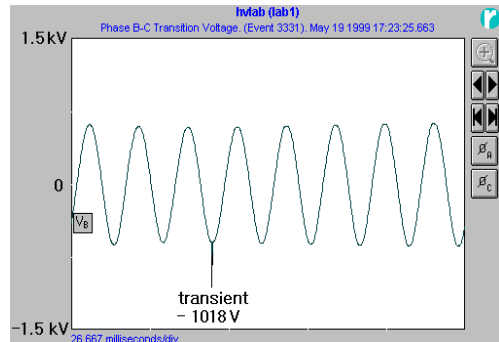
Fig. 1 Configuration of the electrical power systems and measuring points

현장 계측에서 측정되는 서지전압의 크기는 약 200

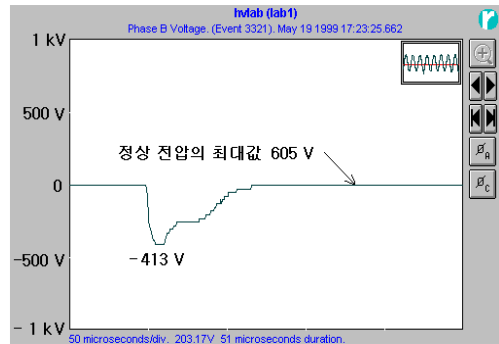
V ~ 600 V정도이며, 단순히 과도성분만으로 판단할 때는 그다지 높은 전압이 아니지만, 전원전압에 중첩되어 나타나기 때문에 1kV이상의 대단히 큰 전압이 관측되었다.

이 전압은 인버터나 소형 제어기기의 일시적인 장애를 유발하거나 파괴시키기에 충분한 크기를 가지므로 이에 대한 보호대책이 절실히 요구된다.

그림 2(a)의 파형에서 과도성분을 포함하는 전압의 최대치가 약 -1,018 V로 나타나며, 발생빈도가 많기 때문에 각종 전자기기에 악영향을 미친다. 그림 2(b)의 파형은 서지전압 부분만을 확대한 것으로 순수한 서지전압의 크기는 약 -413 V정도이다.



(a) Transient voltage on power mains



(b) Transient voltage waveform

Fig. 2 Typical waveforms of the measured transient voltages on shipboard

그러나 그림 2(a)에 나타난 바와 같이 상용전원의 최대값(605V)인 점에서 서지전압이 발생할 경우는 1

kV 이상의 서지전압이 발생한다. 서지전압의 지속시간은 약 50 μ s로 관측되는데, 서지전압의 크기 및 지속과형이 일정한 패턴을 가지는 것이 아니라 다양하므로, 정확한 보호대책의 수립과 지속적인 관측과 분석이 요구된다.

3. 설계 및 제작

서지방호장치가 최적의 보호 성능을 가지기 위해서는 피보호 회로의 특성을 고려하여 적합한 보호소자를 선정하는 것이 중요하다.

현재까지 전원회로용 서지방호장치에는 클램핑 동작으로 서지차단용량이 크고 응답속도가 빠른 MOV(metal oxide varistor)가 주 보호소자로 사용되고 있다.

본 논문에서도 MOV를 적용하여 각각 440 V, 220 V 및 110 V용 전원회로를 대상으로 하는 서지방호장치를 설계·제작하였다.

MOV와 같은 클램핑 소자를 이용한 서지방호장치를 구성할 때에는 클램핑 전압 및 방전내량 등을 고려해야 한다. 특히 클램핑 전압의 선정은 보호동작 전압을 결정하는 것이므로 피보호대상과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 식(1)을 이용하여 결정할 수 있다.

$$V_p(1 + \beta) < V_N(1 - \varepsilon) \quad (1)$$

V_p : 시스템 정상전압의 피크값

β : 시스템 전압의 안전계수

V_N : MOV의 공칭개시전압

ε : V_N 의 허용오차

또한 정상상태의 전압에서도 약간의 전압변동이나 플리커 등의 현상이 발생하는데 이 때에는 보호동작이 이루어져서는 안된다. 만일 MOV의 클램핑 전압이 낮은 경우에는 이러한 미세한 전원전압의 변동에 대해서도 동작하게 될 것이고, 이런 동작이 반복되면 MOV의 수명단축을 초래한다. 따라서 MOV의 최소동작 전압을 정상상태 전원의 최대전압변동값 이상으로 설정하여야한다. MOV의 클램핑 전압을 결정하는 식(1)에서 전원전압의 허용오차를 나타내는 것이 안전계수

β 로 0.5~1.0사이의 값을 갖는다. β 의 값이 클수록 MOV의 클램핑 전압이 높아지기 때문에 비교적 큰 서지전압에서만 보호동작이 이루어진다. 그러므로 안전계수 β 를 고려하여 보다 적합한 소자의 선정이 필요하다.

MOV의 방전내량은 뇌보호 회로에 발생하는 서지전압의 크기와 발생빈도등을 파악하여 선정해야 한다.

본 논문에서는 MOV와 L-C 필터를 이용한 서지방호장치를 구성하였다. 서지전압에 대한 보호동작시 약 1~2 μ s 동안 높은 초기전압이 나타나고, 클램핑 전압에는 많은 고주파성분을 포함하기 때문에 MOV를 단독으로 사용하게 되면 신호·통신선로 등의 회로에 2차적인 장애를 유발시킨다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 MOV와 L-C 필터를 조합한 직렬형 서지방호장치를 그림 3과 같이 설계·제작하였다.

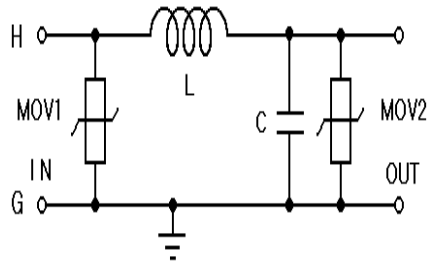


Fig. 3 Circuit of the transient voltage blocking device for electric mains

서지전압이 전원회로에 침입하면 MOV1이 동작하여 서지전압을 제한하고 후단에는 클램핑전압 이하의 전압을 공급하게 된다. 고주파를 포함하는 잔류전압에 대해 L-C필터는 고임피던스로 작용하기 때문에 서지전압의 파두부분이 급격히 감소하여 2차측에는 고주파를 포함하지 않는 낮은 전압으로 억제되고, 여분의 서지전압이 후단의 MOV2의 동작전압으로 초과하여 동작된다. 동일한 용량의 MOV를 사용한다면 대부분의 경우 인덕터를 통한 서지전압은 대단히 낮게 제한되어 후단의 MOV2는 동작하지 않는다. 그러므로 MOV1과 MOV2의 동작 및 제한 전압과 안전계수 β 를 고려하여 전단의 MOV1은 높은 클램핑 전압을 가지는 것을 사용한다. MOV2는 안전계수를 낮게 설정하면 효과적으로

서지전압을 억제할 수 있다. 결국 두 개의 MOV를 사용하는 것은 서지전압에 대한 부하분담이 목적이며, 전단의 MOV1이 파괴될 경우 MOV2에 의한 보호동작이 이루어지므로 fail-safe의 역할을 한다.

본 논문에서 구성한 전원회로용 서지방호장치에 사용한 소자의 클램핑 전압 및 방전내량은 표 1과 같다. 전단에 연결되는 MOV의 클램핑 전압과 방전내량은 큰 것으로 설정하고, 후단에 있는 MOV는 앞의 것보다 낮은 것을 사용하였다.

Table 1 Specification of the MOVs

구분	MOV1		MOV2	
	클램핑 전압[V]	방전내량 [kA]	클램핑 전압[V]	방전내량 [kA]
440V용	1,175	40	850	20
220V용	470	40	395	20
110V용	250	40	185	20

4. 평가 및 분석

서지방호장치의 보호성능을 모의하기 위하여 PSpice를 통한 시뮬레이션을 수행하였다. 인가되는 서지전압의 크기가 3 kV일 때 회로에 흐르는 전류의 크기는 935 A이며, MOV1에 의한 클램핑 전압은 1170 V로 나타났다. 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타내었다.

서지전압에 대한 성능 평가에는 IEC 61000-4-5에 시험 파형으로 규정된 정(+), 부(-) 극성의 1.2/50 μ s 전압을 서지방호장치의 MOV1 양단에 인가하고 회로의 각 부분에서 전압파형을 관측하였다. 서지전압을 인가하기 위한 서-지 발생장치는 국제규격의 조합형 서-지 발생장치(PSURGE 4010, 1.2/50 μ s 4.2 kV max, 8/20 μ s 2.1 kAmax, Haefely)를 적용하였다.

서지전압에 대한 평가로 1.2/50 μ s, 3 kV의 전압을 MOV1 양단에 인가하고, 차단장치의 입력전압과 출력전압의 측정은 1000 : 1 고전압프로브(Tek. P6015, 40 kV DC ~ 70 MHz), 디지털축적형 오실로스코프(Tek. TDS 380, 400 MHz)로 관측하였다. 또한 서지방호장치

에 인가되는 서지전압과 보호동작에 의해 회로를 흐르는 전체전류는 서-지 발생장치에 내장된 전압측정용 단자와 전류측정용 단자에서 검출하였다.

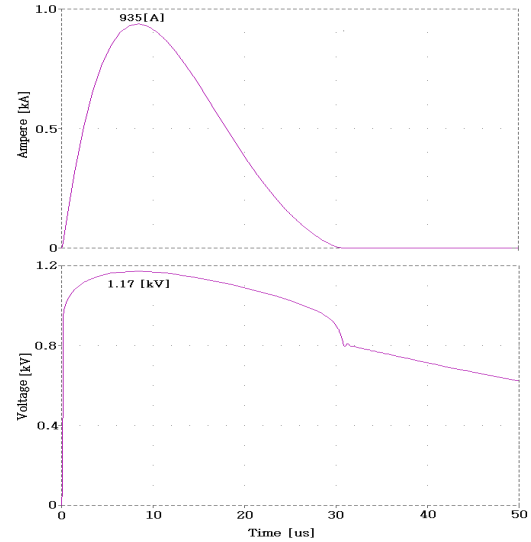


Fig. 4 Pspice simulation results

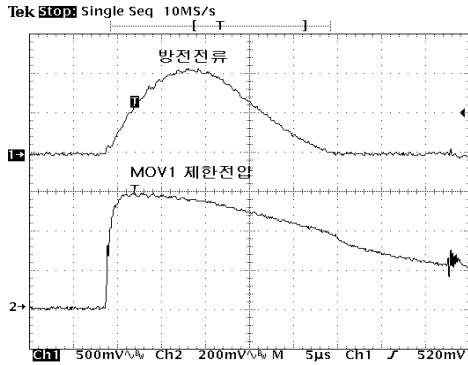
그림 5는 220 V용 서지방호장치에 1.2/50 μ s, 3 kV의 서지전압을 인가했을 때 MOV1과 MOV2의 응답 특성을 나타내었다.

외부로부터의 서지전압이 MOV1의 클램핑 전압 이상이 되면 보호동작이 시작되고, 대부분의 전압은 MOV1에 의해 제한된다. 이때 MOV1에는 8/20 μ s, 940 A의 서지전류가 흐른다.

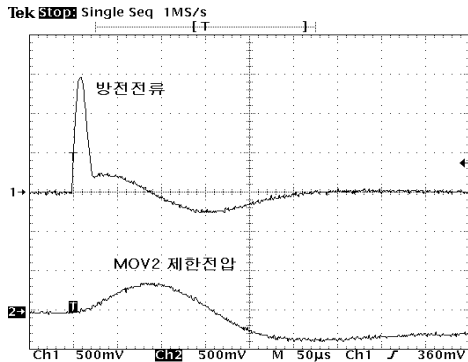
MOV1에 의해 서지전압은 600 V로 제한되며, MOV1의 동작으로 발생하는 고주파 성분과 잔류전압성분은 L-C로 구성된 저역통과 필터를 통하여 감소되고, MOV2에는 극히 적은 잔여 서지전압(360V)만이 나타나게 되므로 효과적인 보호가 이루어진다.

그림 6은 1.2/50 μ s, 3 kV의 부극성 서지전압 입력에 대한 응답파형으로, 정극성에 대한 실험조건을 그대로 유지하고 인가전압의 극성만 반전시켰다. 서지방호장치의 동작특성은 정극성의 경우와 동일하게 나타났다.

본 논문에서 제안한 서지방호장치는 440 V용, 220 V용, 110 V용 모두 정, 부 양극성에 대하여 안정된 보호성능을 나타내었다.



Ch1 [250 A/div], Ch2 [200 V/div]
 (b) Response waveforms at MOV1



Ch1 [250 A/div], Ch2 [500 V/div]
 (b) Response waveforms at MOV2

Fig. 5 Response waveforms against the 1.2/50 μ s positive transient voltage

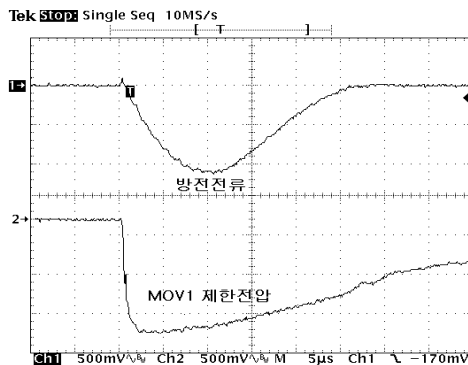


Fig. 6 Response waveform against the 1.2/50 μ s negative transient voltage

V. 결과 및 고찰

본 논문에서는 전원회로에 침입하는 서지전압을 억제하기 위한 서지방호장치를 설계·제작하고, 이론적 검토와 실험적 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 선박의 기관실 배전반에서 440V 3 ϕ 3 ω 발전기의 출력단, 220V 전용간선, 105V 전용간선, 통신기기의 전원측을 대상으로 현장계측을 수행하여 선박 내에서 발생하는 서지전압의 유형을 분석하였다.
2. 현장계측 결과를 바탕으로 MOV와 L-C 필터를 조합한 전원회로 보호용 서지방호장치를 제안하였다.
3. 두 개의 MOV를 사용하여 MOV1에 의해 1차적인 보호가 이루어지고, 큰 서지전압의 유입이나 지속적인 보호동작으로 인하여 MOV1이 열화되면 MOV2가 동작하여 2차 보호동작이 이루어지며, MOV2는 fail-safe 기능을 수행한다.
4. L-C 필터를 첨가함으로써 MOV1의 클램핑 동작에서 발생하는 고주파성분 감소시킬 수 있었으며, MOV2 및 피보호기기에 전달되는 서지전압을 거의 제거할 수 있었다.
5. MOV는 양방향 소자로 정(+), 부(-) 극성의 서지전압에 대하여 양극성 모두 효과적인 보호성능이 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [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] 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

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] IEC 61000-4-5, Surge immunity test, pp. 60 ~ 77, 1995.