

저압 AC회로의 MOV 적용방안 연구

°최효열*, 이원빈*, 강영석*, 이재복**

* 전력연구원, ** 한국전기연구소

A Study on the Utilization of Metal Oxide Varistor for Low-Voltage AC Circuits

°Hyo-Yul Choi*, Won-Bin Lee*, Young-Suk Kang*, Jae-Bok Lee**

* Korea Electric Power Research Institute, ** Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

Damage and upset of control and communication equipment due to transient overvoltages which occur due primarily to internal switching surge and external lightning surge are an important problems in electromagnetic compatibility(EMC).

In this paper, we analyzed operation characteristic of metal oxide varistor widely used low voltage AC line using the electromagnetic transients program(EMTP) and compare it with experimental results and also, we modeled combination generator producing 1.2/50 μ s open circuit voltage and 8/20 μ s short circuit current as a source which is critical in calculating operation characteristic. Simulation results showed that most of Transient energy consumes at MOV located in service entrance side than load side, and it showed similar to experimental results. Therefore, entrance side MOV should be selected more energy capacity than that of load side MOV.

1. 서론

과학기술의 발전 및 전기·전자·통신기기의 사용이 증대하면서 전기·통신 계통의 공급규모가 점차 확대되고 복잡한 양상을 띠고 있다. 그런데 이들 전력 혹은 신호선에는 자연적인 현상으로 발생하는 뇌방전으로 인한 뇌써어지에서부터 전력계통내의 선로 혹은 설비의 정상적 혹은 비정상적인 개폐작용에 의한 개폐 써어지에 이르기까지 다양한 전도 잠음이 존재하고 있어 저전력화, 고집적화, 고속화, 지능화 되어 가고 있는 각종 기기 및 시스템에 오동작이나 파손 등 여러 가지 장애현상을 유발시켜 고도의 정보화사회의 발전에 중요한 방해요소가 되고 있다.

한편 각종 기기에는 미약한 신호를 다루는 경우가 많아 상대적으로 잠음에 대한 내력이 떨어지고 있는 실정이며, 더욱이 고속의 Switching 소자를 사용하여 기기의 신뢰성과 기능을 향상시키에 따라 그 역작용으로써 발생하는 잠음형태는 기존의 잠음양상과는 달리 점차 고주파의 양상을 띠고 있다.

이에 본 논문에서는 써어지 대책용 EMI/EMC 대책부품으로써 Filter와 함께 잠음억제 성능 면에서 널리 사용되고 있

는 MOV(Metal Oxide Varistor)의 적용기법과 써어지에 대한 응답특성을 이론적, 실험적으로 예증하고자 한다.

2. 전원회로 및 선로의 특성

2.1 전원회로

전원의 임피던스는 에너지흡수형 써어지 보호소자인 소위 Clamp형 써어지 억제기의 써어지 억제성능 및 열용량을 평가하는데 매우 중요한 요소이다. 이는 선로에서 발생된 과도성 이상전압, 전류에 의한 에너지가 전원의 임피던스와 선로의 써어지 임피던스 및 동작중인 써어지억제기의 유효임피던스로 보호장치에 각각 분담되기 때문이다.

저압배전선로의 전원임피던스에 대한 각종 표준을 살펴보면 IEEE Standard 472에는 150 Ω 를 규정하고 있으며, IEEE C62.41과 C62.45에는 수용가 전원선로의 위치에 따라 발생 가능한 써어지의 개방회로 전압과 단락회로전류의 비로써 전원 임피던스를 나타내고 있다.¹⁾⁻³⁾

일반적으로 전원의 임피던스는 R-L 직렬회로로 모의하며 전원단에서 부하단으로 갈수록 각종 부하가 접속되어 있고 내부 변압기 저항과 인덕턴스 때문에 점차 증가한다.

본 연구에서는 그림 1과 같은 KeyTek사 써어지 발생장치(587, S1/S3)를 전원으로 이용했으며, 본 장치는 뇌임펄스 파형인 1.2/50 μ s 전압파형과 8/20 μ s 전류파형을 동시에 발생할 수 있는 조합파 발생기(Combination Generator)이다.

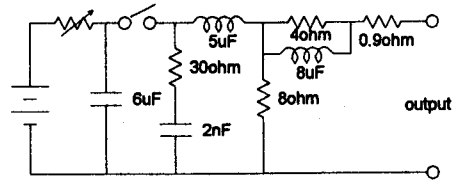


그림 1. 뇌써어지 발생장치의 등가회로

본 써어지발생장치는 6kV 개방회로전압에 대해 그림 2와 같이 2.22kA 단락전류가 발생되며, 써어지발생장치의 Back Filter 응답특성으로 전류의 파미부분에 파고치의 20%에 상당하는 전류의 Overshoot가 발생하는 전원특성이 있다. 이는 장비의 노후에 따른 결과로 생각되며, 본 결과로 볼 때 써어지 발생장치의 유효임피던스는 2.7 Ω 이 되는 셈이다.

2.2 선로

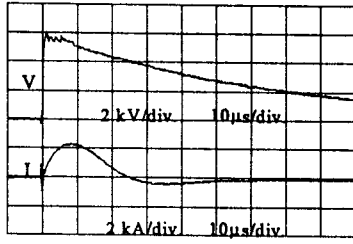


그림 2. 조합과 발생장치의 전압-전류 특성

전송선로로 사용되는 전력선은 써어지와 같은 고주파성분에 대해 신호전송선과 마찬가지로 감쇠와 왜형이 나타난다. 따라서 써어지 전파관점에서 R-L만의 집중정수회로보다는 분포정수회로로 모의했다. 이들 전송선로에 대한 전파정수 및 특성임피던스는 저주파에서는 주파수의존 복소수형태로 다음과 같이 표현된다.^[4]

전파정수 γ 는 각주파수를 ω , 감쇠정수와 위상정수를 α , β 라 할 때

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (1)$$

이고 특성임피던스는 Z_C 는

$$Z_C = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2)$$

가 된다. 그러나 고주파에서는 $\omega L \gg R$, $\omega C \gg G$ 이므로 전송선로는 주파수 독립인 무손실 회로와 같이 나타낼 수 있으므로

$$\gamma = \frac{R}{2Z_C} + j\omega\sqrt{LC}, \quad Z_C = \sqrt{L/C} \quad (3)$$

이다. 이때 주파수 f , 도체반경 r_w , 도전율 σ , 공기중의 투자율을 μ_0 , 표피효과두께를 δ 라 할 때 단위길이당 저항 R_{ac} 는

$$R_{ac} = 1/2r_w \cdot \sqrt{f\mu_0/\pi\sigma} \quad (4)$$

이므로 감쇠정수는 α 는

$$\alpha = 1/4r_w Z_C \cdot \sqrt{f\mu_0/\pi\sigma} \quad (5)$$

가 된다. 따라서 입력단에 $V_o(t)$ 인 전압을 인가했을 때, 입력단으로부터 거리 x 인 지점의 전압은

$$V_x = \exp(-\alpha x) \cdot V_o(t - \sqrt{LC}x) \quad (6)$$

가 되며, 전력선에 의하여 거리 x 만큼 진행한 파형은 $\sqrt{LC}x$ 만큼 지연되어 나타나며, 이때의 진폭은 $\exp(-\alpha x)$ 만큼 감쇠한다. 이때 감쇠정수는 표피효과에 의한 영향을 받기 때문에 고주파일수록 감쇠가 크다.

본 연구에서 사용한 선로는 비닐캡타이어 3심 원형코드로 공칭단면적 2.0mm², 단심도체반경 0.9mm의 VCTF 50m를 사용했으며 주파수 500kHz에서 측정된 선로정수는 다음과 같다.

$$R_{ac} = 313m\Omega/m, L = 0.417\mu H/m, C = 166pF/m$$

이들 정수에 대한 선로의 특성임피던스는 50 Ω 전파속도는 120m/ μ s로 계산되었다.

3. MOV 모델

MOV는 AC선로에서 가장 흔히 사용되는 써어지 억제부품으로 매우 저항이 커서 단지 누설전류만이 흐르는 비동작

누설영역과 식 7과 같이 비선형특성을 나타내는 정상동작영역 및 수 Ω 에서 10 Ω 에의 작은 저항으로 인해 단락회로를 이르는 급변영역(Upturn)의 3단계의 전류-전압특성을 나타낸다.

$$I = kV^\alpha \quad (7)$$

식 7에서 k 는 계수 α 는 전류-전압곡선의 기울기를 나타내는 비선형 계수로 보통 25~60범위이다.

과도전압과 같이 고주파에 대한 MOV의 모의는 MOV의 접합용량과 C_{leak} 와 리드선의 인덕턴스 L_{lead} 및 비선형소자 R_{ideal} 만으로 그림 3과 같이 모델링할 수 있다.

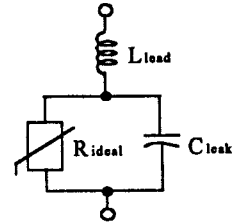


그림 3. MOV의 과도특성 모델

본 연구에서 사용된 MOV는 그림 4와 같은 V-I특성을 가진 GE사의 정격전압 250V, 제한전압 650V의 유사정격을 가진 V250LA20A와 V250LA40A를 사용했으며, 이중 130Joule 용은 50m 길이의 케이블말단(부하측)에 72Joule용은 케이블 단단인 써어지 발생기쪽에 설치하였으며, 두 MOV의 각각의 실측정수 및 제작사 데이터는 표 1과 같다. 8/20 μ s 전류인가 시 V-I특성의 실측치는 그림 4에 나타내었다.

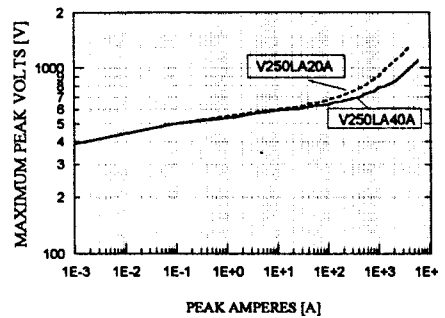


그림 4. MOV V-I특성

표 1. MOV 정수

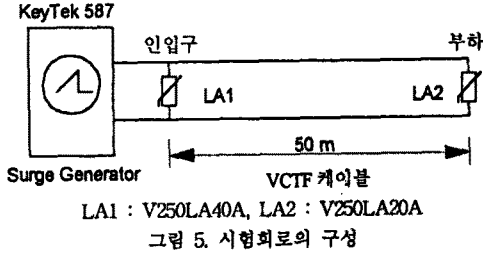
정수\모델	V250LA20A	V250LA40A	비고
L_{lead}	15nH	22nH	측정치
C_{leak}	391pF	856pF	측정치
V_{NDC}	390V	390V	데이터
제한특성 V_o/I_o	650V/50A	650V/100A	데이터
과도 에너지 용량	72J	130 J	데이터

4. 시험회로의 구성

시험에 적용된 회로는 그림 5와 같이 뇌임펄스 조합파형을 발생시킬 수 있는 써어지발생기와 실험대상인 두 개의 MOV LA1(V250LA40A)과 LA2(V250LA20A) 및 50m VCTF 케이블로 구성하였다.

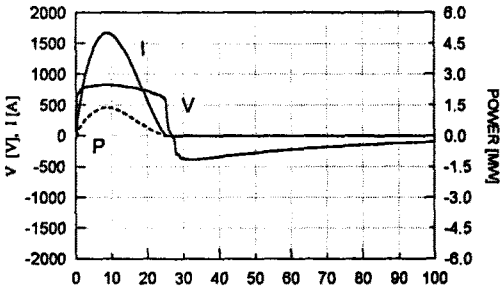
써어지발생장치는 KeyTek Model 587 PLUS로 IEEE Standard 62.41-1991의 강소범주 B를 만족하는 전압전류를

동시에 발생시킬 수 있는 장비로, 6kV 개방회로 전압을 선간에 인가하였으며, 각 노드의 전압과 MOV에 흐르는 전류는 Tektronix 고전압프로브 P6051A(75MHz BW)와 A6303(15MHz BW)프로브 전류프로브를 각각 이용하여 LecCroy 9310AM 모델 400MHz Digital Storage OSC.를 통해 측정하였다. 이때 본 클램프형 전류프로브는 펄스전류 측정한계가 700A이므로 MOV에 흐르는 이상의 전류는 다수의 분기선으로 분류하여 측정하였다.

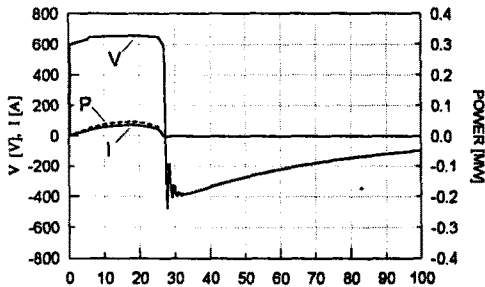


5. MOV 켜어지 억제특성

그림 1과 같은 너임펄스 조합과 발생장치를 전원회로로 모의하였고 선로는 분포정수회로로, MOV는 I-V 특성치를 이용하여 시불변 Type 99 Pseudo-Nonlinear 저항 R(I)로 모의하여^[5] 전원-선로-MOV에 이르는 전 해석 대상물 범용과도현상 프로그램(EMTP)으로 해석하여 그림 6과 같이 선로측과 부하측의 MOV의 방전전압과 전류 및 소비전력을 계산하였다.



(a) LA1



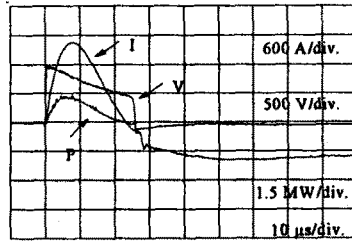
(b) LA2

그림 6. 6kV 인가시 MOV 동작특성 해석파형

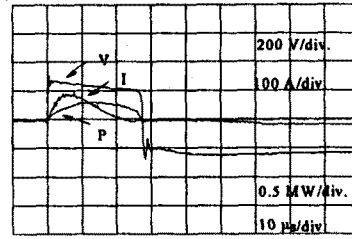
본 해석결과로부터 부하측 MOV(LA2) 보다 선로측 MOV(LA1)가 에너지 부담이 훨씬 큼을 알 수 있다.

그림 7은 켜어지발생장치를 통해 시험회로에 6kV의 개방 전압을 인가했을 때 측정결과로 해석치와 유사한 결과를

나타내고 있다.



(a) LA1



(b) LA2

그림 7. 6kV 인가시 MOV 동작특성 측정파형

6. 결론

전압파형의 파두와 파미부분에서 해석파형과 실험파형이 약간의 차이를 나타내고 있으며, 방전에너지에 있어서 측정결과와 해석결과가 약 10~15%의 오차를 보이고 있으나 전체적으로 선로측 MOV의 에너지 부담이 15~23배 정도로 매우 크게 나타나고 있다.

이와 같은 결과는 MOV 동작시에 50m 선로의 임피던스와 부하측 임피던스의 합이 선로측 MOV보다 임피던스가 훨씬 커서 전원에서 발생한 대부분의 전류가 선로측 MOV에 흐르기 때문이다.

따라서 외부 켜어지에 직접 노출되어 있는 저압 교류 선로의 인입구와 부하측에 MOV를 설치하는 경우에는 인입단에 설치한 MOV가 외부로부터 유입된 켜어지의 대부분 분담하므로 켜어지억제기를 설치하고자 하는 경우 인입단에는 열용량이 큰 MOV를 설치하고 부하단은 열용량이 작은 것을 설치하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Guide for Surge Withstand Capability, ANSI/ IEEE Std. C37.90a, 1974.
- [2] IEEE Recommended Practice on Surge Voltage AC Power Circuit, C62.41-1991
- [3] IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuits. IEEE Std. C52.45.-1992.
- [4] C. R. Paul "Introduction to Electromagnetic Compatibility", John Wiley & Son, Inc. 1992.
- [5] ATP(Alternative Transient Program) Rule Book, Vol.I LEC, 1987. pp. 341-342,