

대전력용 차단기 내의 EMC 필터 설계에 관한 연구

김은미* · 전미화* · 김동일*

*한국해양대학교

A Study on Design of EMC Filter in the High Powered Breaker

Eun-Mi Kim*, Mi-Hwa Jeon*, Dong Il Kim*

*Korea Maritime University

E-mail : rladmsak@hanmail.net

요 약

전파통신의 급격한 발전에 따라 우리의 생활은 보다 편리하고 풍요로워졌다. 그러나 정밀 전기·전자 장치 및 제어 시스템 등이 경량화, 고속화, 소형화됨에 따라 외부의 EMI(전원장해)와 EFT(과도전압)에 의한 오동작, 인체에 미치는 영향 등의 많은 문제점을 야기 시키고 있다. 따라서 본 논문에서는 이에 대한 대책방법으로 10 MHz ~ 1.5 GHz에서 30 ~ 75 dB 이상의 노이즈 감쇠 특성과 IEC 61000-4-4의 level 4에서 4 kV의 과도전압을 인가시 600 V로 억제시키는 우수한 특성을 가진 대전력용 차단기 내의 EMC 필터를 설계·제작하였다.

Abstract

Rapid developments in the field of electronic communication have given people's daily life much more convenience and abundance. However, making precise electrical and electronic devices and control systems lighter, smaller, and faster have caused lots of problems such as interference of external electric source, malfunction brought by electric fast transient(EFT), and influence on human body. In this research, the EMC filter in the high powered breaker was designed and fabricated as a countermeasure. The filter attenuated noise more than 30 ~ 75 dB in the range of 10 MHz ~ 1.5 GHz. And, when the EFT of 4 kV in the level 4 of IEC 61000-4-4 was induced, it was soon suppressed to 600 V.

키워드

EMI, EMC, filter, Feed-through capacitors, Ferrite beads

1. 서 론

국가 경제발전과 국민 생활수준의 향상으로 전력사용이 갈수록 증가하고 있는 상황이다[1]. 이에 따라 고품질 전기를 안정적으로 공급하고 전력손실을 최소화하기 위해 송배전 전압이 최고 전압으로 상승하고 있으며 대전력용 변압기, 계기용변성기, 차단기 등 중전(重電)기기 수요가 크게 늘어나고 있다[2]. 이와 아울러 이러한 전기·전자 장치 및 정밀 제어 시스템들의 안전한 동작과 정밀한 제어에 대한 요구조건이 강화되고 있으며, 이에 대하여 CISPR(국제 무선 장해 특별 위원회), 미국의 FCC(미연방 통신 위원회)와 일본의 VCCI

(정보처리장비 및 전파 장애자주 규제 협의회) 및 CE mark 등에서 전자파환경대책을 위한 규제를 시행하고 있다[3],[4].

노이즈원의 전달경로는 자유공간을 통한 방사 와 전원선 또는 신호선을 이용한 전도가 있으며 그 중 전도에 의한 노이즈는 다양한 형태의 노이즈로 인해 대책이 어렵다[5]. 그리고 유도형 소자에서의 전력증가 및 고속에 의한 개폐로 과도전압에 의한 장해가 증대되고 있으며, 이러한 과도전압은 대상 기기에 직접적인 피해 및 잠정적인 피해를 주고 있다. 일반적인 EMI에 대한 대책방법으로 FCC, CISPR에서는 전도성 노이즈의 모드에 따라 150 kHz ~ 30 MHz 대역에서 40 dB이

상의 감쇠특성을 가지는 EMI용 대책 필터를 권고하고 있다. EFT는 IEC(국제 전기기술 위원회)에서 프로세서 제어 기기 및 전자·통신기기의 EFT에 대한 내성을 시행하도록 하고 있으며, 전기 제어 장비의 안전성에 있어서 무선통신 기기나 공장 자동화 시스템 제어인 경우, IEC 61000-4-4의 level 4까지 견딜 수 있게 설계하도록 하고 있다[6]. 그러나 전자기기의 사용 증가로 광대역 및 고전압 특성을 가진 새로운 형태의 전자과장해가 발생하고, 이들 장해원들은 전기적인 특성이 서로 달라 수십 MHz에서 공진이 일어나는 기존의 EMI필터로 대책하기엔 한계가 있으며[7], 내성필터로 적용하여 사용할 경우 3 kV이상 인가시 견디지 못하고 오동작을 일으켜 대책이 힘들다[8].

따라서, 본 논문에서는 중전기기인 대전력용 차단기 내에 EMC 필터를 전도성 노이즈 대책방법으로 제안한다. 제안한 대전력용 차단기 내의 EMC 필터는 10 MHz~1.5 GHz 광대역에서 30~75 dB의 감쇠특성을 나타내며, IEC 61000-4-4의 level 4에서 4 kV의 과도전압을 인가시, 600 V로 억제하는 특성을 나타내어 CISPR 규격을 만족함과 동시에 IEC 61000-4-4의 level 4까지 만족시키는 우수한 필터이다.

II. 본 론

본 논문에서는 인덕터의 경우 투자율이 높아 큰 인덕턴스를 낼 수 있는 Ni-Zn Ferrite 비드를 사용, 커패시터의 경우 공진현상을 최대한 억제하기 위해 공진점이 없는 관통형 커패시터(Feed-through capacitor)를 사용하여 대전력용 차단기 내의 EMC 필터를 설계하였다. 제안된 대전력용 차단기 내의 EMC 필터는 그림 1에 나타내었다.

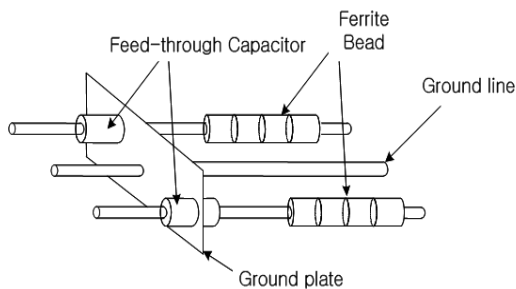


그림 1. EMC 필터의 구조

그림 2는 EMC필터와 전원전송선로의 간단한 등가회로를 보여준다. 그림 3(a)는 차동모드 노이즈에 관한 것으로서 EMC 필터 부분의 신호선(H)과 접지선(G), 중성선(N)과 접지선(G) 사이의 등가회로를 보여준다.

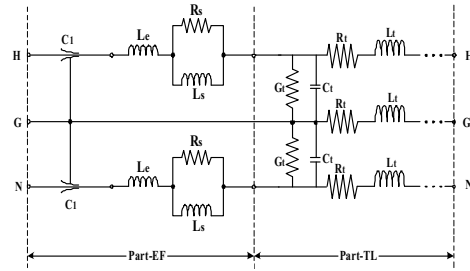
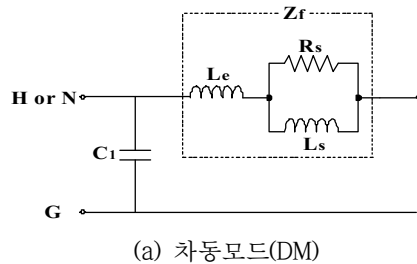
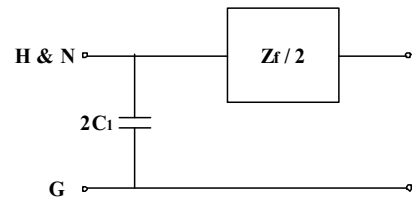


그림 2. EMC 필터(EF)와 전송선로(TL)의 등가회로



(a) 차동모드(DM)



(b) 공통모드(CM)

그림 3. EMC 필터 부분의 등가회로

차동모드에 관한 ABCD 매트릭스는 식(1)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_{DM} & B_{DM} \\ C_{DM} & D_{DM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_{C_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ Y_{C_1} & Y_{C_1}Z_f + 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$Y_{C_1} = j2\pi f C_1, \\ Z_f = j\omega L_e + \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{j\omega L_s} \right)^{-1} \quad (2)$$

그 반면, 공통모드 노이즈에 관한 등가회로는 그림 3(b)에 보여지는 것과 같다. 그리고 공통모드 노이즈에 관한 ABCD 매트릭스는 식(3)과 같

이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} A_{CM} & B_{CM} \\ C_{CM} & D_{CM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2Y_{c1} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_f/2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_f \\ 2Y_{c1} & Y_{c1}Z_f + 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

비투자율 μ_r 은 식(4)에 의해 표현될 수 있다[9].

$$\mu_r = 1 + \frac{\mu_i}{1 + jf/f_m} \quad (4)$$

여기서 μ_i 는 초 투자율, f_m 은 완화주파수, f 는 측정 주파수, μ_0 는 자계상수로 $4\pi \times 10^{-7}$ [H/m], μ' 는 인덕티브 투자율, μ'' 는 저항성 투자율이다. 본 논문에서는 $\mu_i = 2000$, $f_m = 3.12$ MHz의 페라이트 비드를 사용하였다. 또한, 다른 파라미터들은 식(5)에 주어진다.

$$\begin{aligned} C_1 &= 2,000 \text{ [pF]} \\ L_e &= 2 \times 10^{-8} \mu'' r \mu_0 \ln(b/a) \times l \text{ [H/m]} \\ R_s &= 2\pi f_m \mu' r \mu_0 l K \text{ [\Omega/m]} \\ L_s &= \mu'' r \mu_0 l K \text{ [H/m]} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, a와 b는 페라이트 비드의 내경과 외경이고, l은 페라이트 비드의 길이이며, k는 페라이트 비드의 치수에 의해 결정되는 값이며, 그 값은 0.003이다. 식(1)과 (3)에 의해, 전달계수 T는 식(6)에 의해 얻을 수 있다.

$$T(\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{2}{A_i + B_i + C_i + D_i} \right| + \alpha_p \quad (6)$$

$i = \text{DM or CM}$

여기서, α_p 는 전원선에서의 손실(dB)이다.

III. 실험 및 고찰

대전력용 차단기 내의 EMC 필터 특성 실험은 10 MHz ~ 1.5 GHz 대역에서 HP사의 회로망 분석기(HP 8753D)를 사용하여 주파수 특성을 조사해 보았고, Time Domain에서 Tektronix TDS 340A(100MHz, 500Ms/s)와 burst-generator(EMV-System SFT4000)로 EFT 특성을 조사해 보았다. 실험에 사용한 페라이트 비드는 초투자율은 2000인 Ni-Zn 페라이트 비드를 사용하였으며, 관통형 컨덴서는 80 A / 220 V 인 용량 2000 pF를 적

용하였고, 케이블은 굵기가 18 mm²이고 3심 80 A 용 전원선을 사용하였다. 그림 4는 주파수 특성 실험 모습이고, 그림 5는 EFT 특성 실험 모습이다.

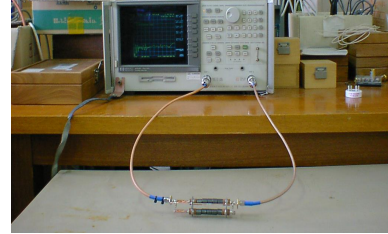


그림 4. EMC 필터의 주파수특성 측정

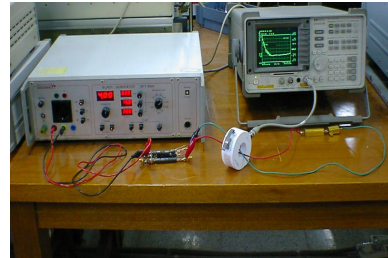


그림 5. EFT 측정

공통 모드와 차동 모드 노이즈에 대한 이론치와 실측치를 각각 비교하여 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그 결과, 이론치와 실측치는 비슷한 특성을 나타내었고, 10 MHz ~ 1.5 GHz 광대역에서 공통 모드의 경우 30 dB ~ 55 dB 감쇠 특성을 얻었으며, 차동모드의 경우 30 dB ~ 75 dB의 감쇠 특성을 얻을 수 있었다.

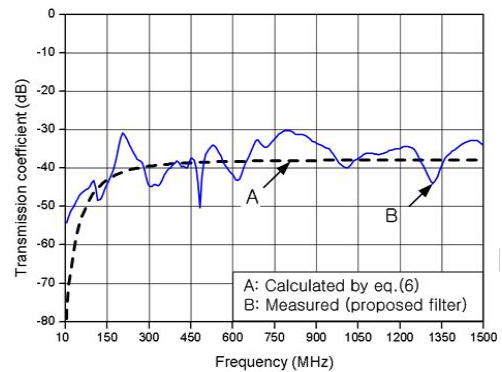


그림 6. 제안된 EMC 필터의 CM 측정

V. 결론

본 논문에서는 기존의 대책법과는 달리 공진점이 없는 관통형 콘덴서와 페라이트 비드를 선택하여 전기 안전법에 준하는 대전력용 차단기 내의 EMC 대책용 필터를 설계하였다.

특히 페라이트 비드는 초투자율 2000, 관통형 콘덴서는 2000 pF를 적용하여 실험한 결과 10 MHz ~ 1.5 GHz 광대역에서 30 ~ 75 dB의 우수한 감쇠특성을 얻을 수 있었고, 과도전압의 경우, IEC 61000-4-4에서 규정하는 level 4에서 4 kV를 인가시 600 V로 억제시키는 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

이러한 우수한 특성을 가진 대전력용 차단기 내의 EMC 필터는 전자파 장애가 없는 양질의 전력을 공급함으로써 가정용 기기 및 산업용 기기의 내성을 강화하는 등 전자파 노이즈가 외부로 유출되는 것을 방지하며, 나아가 전자·정보기기 뿐만 아니라 전자·제어기기에 매우 혁신적인 대책법으로 적용할 수 있어, 본 제품의 응용범위가 넓을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 이동일, 초고압 전력설비의 전기환경장해와 대책기술 개발, 한국전자파학회, 전자파기술, Vol.12, No.2, pp. 105 ~ 116, 2001. 4.
- [2] 이준기, 중전기기 성능 측정 우리 기술로, 디지털산업 경제신문, 2007. 6.
- [3] 신영준, 전기문명 지탱하는 파수꾼 중전기기, 과학동아, 2003. 9.
- [4] 김형근, 배대환, 민경찬, 김동일, "EFT IEC801-4대책 전원 케이블의 개발에 관한 연구", 한국항해학회, PP.107 ~ 114, 1995.
- [5] F. D. Martzloff and T. F. Leedy, "Electrical fast transients, application and limitation", IEEE Trans Industry Applications, Vol. IA-26, pp. 151~159, Jan./Feb. 1990.
- [6] Richard Lee Ozenbaugh, EMI Filter Design, Marcel Dekker, Inc., pp. 56~100, 1996.
- [7] 민경찬, 노이즈 종합대책, 성안당, p 37, 1991.
- [8] IEC 61000-4-, "Electromagnetic Compatibility Part4: Testing and measurement techniques; Section 4: Electrical fast transient/burst immunity test", 1995.
- [9] Yoshiyuki Naito, "Formulation of frequency dispersion of ferrite permeability", IECE of Japen, Vol. J59-C, No.5, pp. 297 ~304, May. 1976.

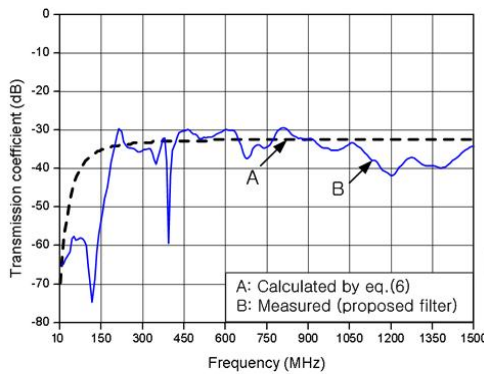
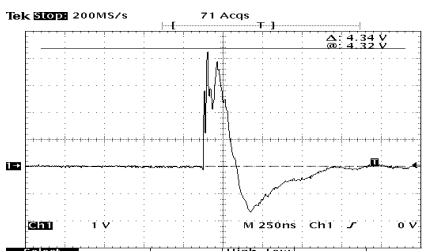
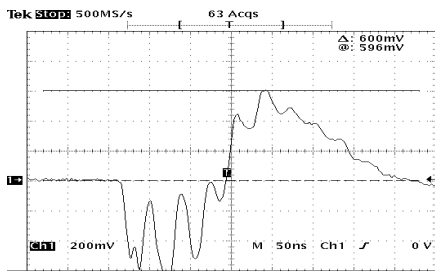


그림 7. 제안된 EMC 필터의 DM 측정

그리고 IEC 61000-4-4의 규정에 따라 EFT 내성 시험을 수행하기 위해, 무대책시와 제안한 EMC 필터를 연결하고 IEC 61000-4-4의 level 4를 각각 인가한 경우를 비교하여, 그 결과를 그림 8(a)~그림 8(b)와 같이 나타내었다. 그림 8(a)의 y축은 1 V이고, 1 : 1000 프로브를 사용하여 환산하면 전압파형의 최대값은 4340 V이다. 그림 8(b)의 y축은 200 mV이고, 1 : 1000 프로브를 사용할 경우 전압파형의 최대값을 환산하면 600 V이다. 즉, 4 kV를 인가시 600 V로 과도전압이 감쇠되는 특성을 나타내었다.



(a) 무대책시 IEC 61000-4-4의 level 4인가



(b) 제안된 EMC 필터에 IEC 61000-4-4의 level 4 인가시

그림 8. IEC61000-4-4의 레벨 4에서 내성 테스트의 측정결과(시간 영역)