

# 노이즈 소스 임피던스 추출 방식을 이용한 EMI 필터 설계

원도현, 김희승, 백미란, 한상규, 노정욱, 원재선\*, 오동성\*, 홍성수  
국민대학교 전력전자 연구소, 삼성전기(주)\*

## Design of EMI Filter using the Extract of Noise Source Impedance

Do-Hyun Won, Hee-Seung Kim, Mi-Ran Baek, Sang-Kyoo Han, Chung-Wook Roh,  
Jae-Sun Won\*, Dong-Seong Oh\*, Sung-Soo Hong  
Kookmin University Power Electronics Center, Samsung Electro-Mechanics Co.,LTD\*

### ABSTRACT

기존의 EMI 필터 설계 방식은 많은 가정을 전제로 설계되어 다양한 종류의 컨버터에 적용하기 어렵고, 특정 컨버터에만 적용할 수 있는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 측정 대상 시료의 노이즈 원과 노이즈 소스 임피던스를 등가회로로 모델링한 후 EMI 필터에 사용되는 소자의 임피던스 모델을 이용하여 노이즈 소스 임피던스를 유추한다. 이를 이용하여 모든 컨버터에 적용될 수 있는 EMI 필터 설계 방법을 제시한다. 최종적으로 각 단계에서 실제 측정 결과 및 모의실험 결과를 제시하여 제안 방식의 타당성 및 유용성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 SMPS(Switching Mode Power Supply)를 이용한 전기, 전자기기의 사용 급증과 계속되는 제품들의 소형화 및 고속화 추세에 따라 공통모드전류(common mode current)등에 의한 EMI 문제가 발생하고 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 EMI 문제의 해결방안으로 EMI 필터를 사용하는 것이 일반적이지만 기존의 EMI 필터 설계방법은 명확한 Design Guide 없이 많은 가정을 전제로 설계하여 다양한 종류의 컨버터에 적용하기 어려운 단점이 있었다. 또한 많은 시행착오를 통한 설계로 EMI 문제를 해결하는데 많은 시간을 소모하며 불필요한 소자 및 큰 용량의 소자 사용으로 인해 부피 및 가격 상승의 문제를 갖는다.

따라서 본 논문에서는 기존 EMI 필터 설계 방법의 문제점을 해결하기 위해 측정 대상 시료의 노이즈원과 노이즈 소스 임피던스를 등가회로로 모델링한 후 EMI 필터에 사용되는 소자의 임피던스 모델을 이용하여 노이즈 소스 임피던스를 유추한다. 이를 이용하여 모든 컨버터에 적용될 수 있는 EMI 필터 설계 방법을 제시하여 부피 및 가격 저감, 개발시간 단축을 꾀한다. 최종적으로 각 단계에서 실제 측정 결과 및 모의실험 결과를 제시하여 제안 방식의 타당성 및 유용성을 검증하였다.

### 2. 제안된 EMI 필터 설계 방식

제안된 EMI 필터 설계 방식은 측정 대상 시료를 공통모드(Common Mode, CM)와 차동모드(Differential Mode, DM)로 분리하여 각각의 노이즈 소스 임피던스를 유추하고, 이를 통해 CM/DM 필터를 각각 설계하는 방식이다. 그림 1은 본 논문의

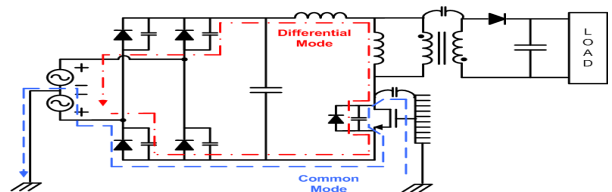


그림 1 플라이백 컨버터의 회로도

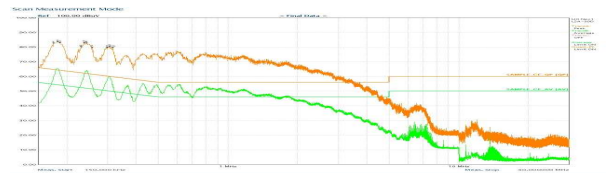


그림 2 Total Noise Level

측정 대상 시료인 플라이백 컨버터를 나타내며, 그림 2는 EMI 필터가 삽입되지 않은 상태의 Total EMI Level을 나타낸다.

#### 2.1 Common Mode 필터 설계

CM 필터를 설계하는 순서는 그림 3에 나타나있다. 먼저 필터가 삽입되지 않았을 때의 EMI level을 측정 한 후 측정 결과와 규제의 차이를 계산 후 필요한 마진을 고려해 감쇄비를 결정한다. 감쇄비 결정 후 UL(Universal Line) 규격 및 마진에 의한 Y-cap을 선정하고, 감쇄 level에 맞는 CM choke를 선정한다. CM choke 삽입 후 재 측정한 CM noise level이 저주파수 대역에서 규제를 만족하면 이후 고주파수 대역을 확인한다. 만약 고주파수 대역에서 규제를 만족하지 않는다면 고주파용 CM Choke를 삽입 후 규제 만족 여부를 확인한다.

제안 방식을 통해 대상 시료의 CM 필터를 설계해보면, 먼저 필터가 없을 때의 EMI level 측정 결과 그림 4(a)와 같이 노이즈의 첫 peak 성분은 200kHz에서 71.5dBμV로 측정되었다. CM choke의 임피던스 크기는 주파수에 비례하기 때문에 첫 peak 성분의 level이 규제를 만족할 경우 이후의 주파수 대역에서도 규제를 만족할 수 있다. 그림 4(a)로부터 CISPR22의 규격과 필요한 마진(6dBμV)을 이용하여 감쇄비를 계산하면 약 14 dBμV가 필요함을 확인하였다. 다음으로 이 주파수에서의 노이즈 소스 임피던스를 계산한다. 먼저 테스트용 CM choke(3mH)를 연결한 후 CM noise level을 재 측정한다. 그 결과 200kHz에서 63dBμV가 측정되었으며, 이 값과 필터가 없을 때의 level, 식 (1)을 이용하여 노이즈 소스 임피던스를 계산한다.

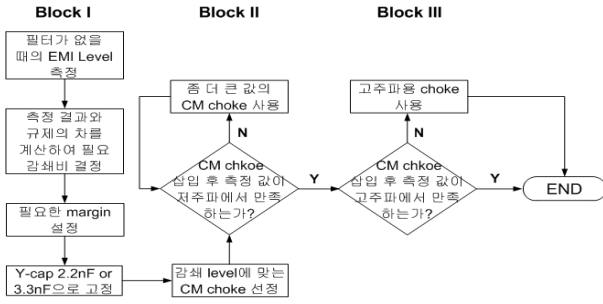
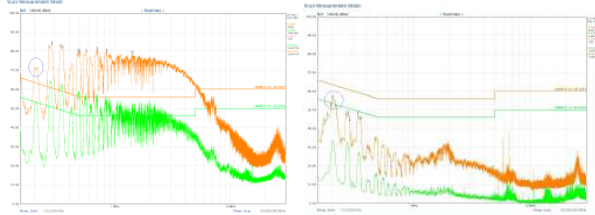


그림 3 Common Mode choke 설계 과정



(a) 필터가 없을 때 (b) CM 필터 설계 완료 후  
그림 4 CM noise level

$$A = 20 \log \frac{Z_{CM} + Z_{LISN} + Z_{choke}}{Z_{CM} + Z_{LISN}} \quad (1)$$

$$Z_{CM} = \frac{Z_{choke}}{10^{\frac{A}{20}} - 1} - Z_{LISN} \quad (2)$$

다음으로 UL규격 및 마진을 고려하여 2200pF의 Y-cap을 삽입한다. 그림 5의 등가회로부터 다음 식 (3)을 유도할 수 있고, 식 (4)를 통해 CM choke의 인덕턴스를 설계할 수 있다.

$$Z_{choke} = \frac{Z_C (10^{\frac{A}{20}} * Z_{CM} + 10^{\frac{A}{20}} * Z_{LISN} - Z_{LISN})}{Z_C + Z_{LISN}} - Z_{CM} \quad (3)$$

$$L_{choke} = \frac{Z_{choke}}{2\pi f} \quad (4)$$

식 (4)를 통해 CM choke의 인덕턴스는 약 11mH로 설계되었으며, 필터단에 삽입 후 EMI level을 재 측정한 결과는 그림 4(b)와 같다. 실험 결과 200kHz에서의 노이즈 레벨은 약 56.5dB  $\mu$ V로 측정되어 이론적 분석의 타당성을 검증하였다.

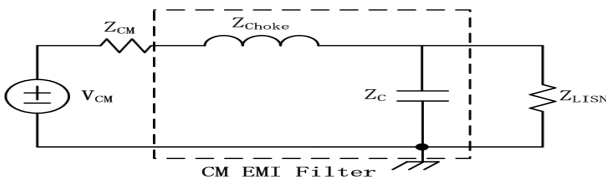
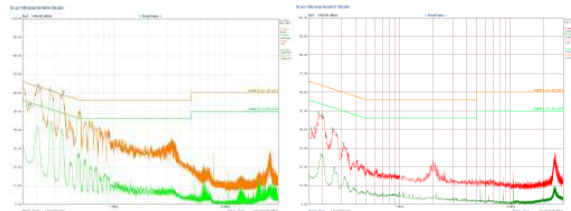


그림 5 CM choke와 Y-cap이 연결된 등가회로



(a) CM 필터 설계 후 (b) DM 필터 설계 완료 후  
그림 6 DM noise level



그림 7 CM/DM 필터 설계 후 total noise level

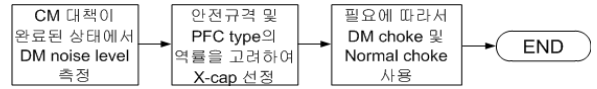


그림 8 Differential Mode choke 설계 과정

## 2.2 Differential Mode 필터 설계

Common Mode 필터 설계 후 Differential Mode 필터를 설계한다. DM의 경우에는 소스 임피던스가 CM처럼 고정된 값이 아니고 유동적이므로<sup>[2]</sup> 그림 8과 같은 절차로 설계한다.

먼저 CM 필터를 설계 후 DM noise level을 측정한다. 규제를 만족하지 못할 경우 안전규격 및 PFC type의 역할을 고려하여 470nF 이하의 X-cap을 선정한다. DM level의 추가적인 감쇄 방안으로 DM용 또는 normal choke를 사용하여 필터를 설계할 수 있다. 다만 DM 또는 normal choke의 최적 설계는 향후 연구를 통해 진행될 것이다.

위 방식을 통해 X-cap 470nF 1개와 240uH의 normal choke 1개를 사용하였다. 설계된 DM 필터를 적용하여 측정한 결과는 그림 6(b)와 같다. CM 필터 설계 후 DM noise level을 살펴보면 약 150~400kHz 대역에서 규제를 만족 못하지만, DM 필터 설계 후 모든 주파수 대역에서 규제를 만족함을 확인할 수 있었다. Total noise level 역시 그림 7과 같이 규제를 만족하여 본 논문에서 제안하는 필터 설계 방법의 타당성을 확인하였다.

## 3. 결론

본 논문에서는 시료의 소스임피던스를 추출하고, 이를 이용하여 EMI 필터를 설계하는 방법을 제안하였다. 제안 방법은 시료 각각의 소스임피던스를 이용하기 때문에 모든 컨버터에 제안 방법을 적용할 수 있는 장점을 가지며, 많은 시행착오를 통해 설계하던 기존 방식에 비해 몇 번의 측정으로 필터를 설계할 수 있어 개발시간을 단축시킬 수 있다. 또한 각 소자들의 최적 설계를 통해 제작 단가 및 부피를 절감할 수 있다.

향후에는 DM의 소스 임피던스를 추출할 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 삼성전기(주)의 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.(NIPA-2010-C1090-1021-0005)

## 참고 문헌

[1] Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility": Second Edition  
 [2] D. Zhang, D. Y. Chen, M. J. Nave, and D. Sable, "Measurement of Noise Source Impedance of Off-line Converters", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 15, Sep. 2000, pp. 820-825