

잡음원의 임피던스의 측정에 관한 연구

노희석, 박병욱, 권경안
 LG 전자(주), Digital Appliance 연구소

The Study on Measuring the Impedance of the Noise Source

Hee-Suk Roh, Byoung-Wook Park, Kyoung-Ahn Kwon
 LG Electronics Inc. Digital Appliance Research Lab.

ABSTRACT

An Electrical equipment is the noise source which makes a noise. So, the optimally designed filter should be inserted in the equipment in order to reduce the noise. The noise source impedance is varied according to the frequency. It effects on the CE noise. Knowing the magnitude of its impedance and inserting an EMI filter in the equipment, we can estimate the insertion loss of the filter. So it is helpful in designing the EMI filter. The measurement method of a noise source impedance is proposed and verified by experiment.

1. 서 론

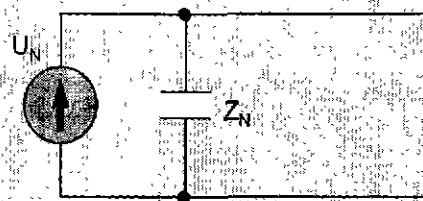
최근 들어 시장에서 다양한 기능과 고효율화의 요구에 따라, 인버터 기술이 본격적으로 적용되고 있으나, 소자의 스위칭을 이용함으로써 EMI 문제가 대두되고 있는 실정이다. 이 중에서 CE 노이즈를 발생하는 잡음원의 impedance는 주파수에 따라 변화하며 잡음원이 동작 중에는 더욱 그러하다. 따라서, 동작 중의 이 impedance를 측정할 수 있으면 적당한 필터의 형식을 결정할 수 있고, 확정된 필터의 형식 및 필터 정수에 의한 노이즈 감쇠량을 예측할 수 있다. 그러므로 잡음원의 impedance를 측정하는 기술이 중요하게 된다. 본 논문에서는 동작 중인 잡음원의 impedance 측정 방법을 제시하고 필터의 형식, 필터의 장착에 의한 노이즈 감쇠량 예측 결과 및 이에 따른 최적의 EMI 필터 설계의 가능성을 제시함으로써 설계 상의 cost down은 물론 필터 설계 일정 단축에 기여하고자 한다. 또한, 제작한 측정 장치의 신뢰성 검증의 결과 및 이 장치를 활용한 효과를 제시한다.

2. 본 론

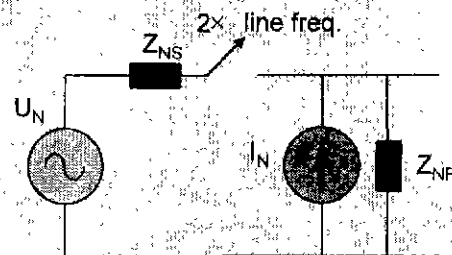
2.1. 잡음원의 모델링

일반적인 인버터 제품들은 모두 정류 다이오드를 통해 교류 전원을 정류한 후 인버터로 구동하는 방식이다. 이러한 인버터 제품들을 각 모드(공통 모드와 차동 모드)별로 모델링하면 그림1.과 같이 표현할 수 있다.

공통모드는 인버터를 구동하는 주 스위치가 turn



(a)잡음원의 공통 모드 impedance model

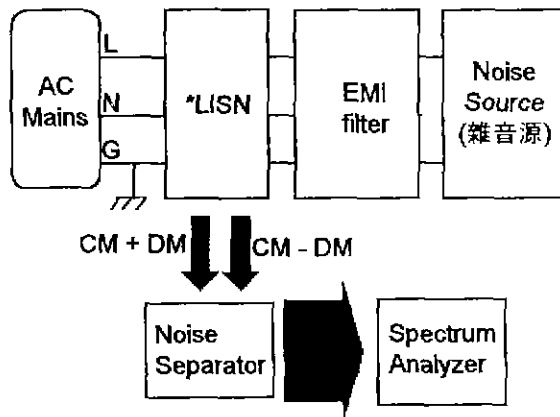


(b)잡음원의 차동 모드 impedance model

그림1. 잡음원의 impedance 모델링

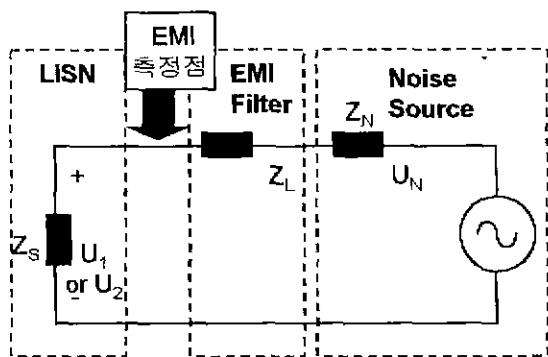
off할 때 발생하는 노이즈(collector와 emitter사이에 나타나는 병렬 capacitance 및 transformer의 1차단과 2차단 사이에 나타나는 capacitance에서 발생하는 노이즈)가 대부분이므로 그림1(a)와 같이 모델링할 수 있다. 차동 모드인 경우, 정류 다이오드 ON시에는 low impedance Z_{NS} 가 나타나고(bulk capacitor가 갖고있는 series 저항, series 인덕턴스에 의해 나타남), 정류 다이오드 OFF시에는 high impedance Z_{NP} (다이오드 기생 capacitance)가 나타난다. 그런데, 차동 측은 이렇게 두가지 impedance가 복합되어 있으므로 이 impedance를 측정하기는 어렵다.

2.2. 잡음원의 impedance 측정의 필요성



*LISN-Line Impedance Stabilization Network

(a) CE 노이즈 측정 장치



(b) 등가 모델링 회로

그림2. 잡음원의 EMI 측정

그림2. (a)는 일반 전기 제품의 CE 노이즈의 측정장치를 보여 준다. 잡음원에서 나오는 노이즈는 EMI필터를 통해 감쇠되고 이 감쇠된 노이즈는 LISN에 내장된 impedance에 전압으로 걸린다. 이 전압의 크기가 측정되는 CE 노이즈 전압이며 이 노이즈 전압은 규격치 보다 작아야 한다. 한편, LISN은 메인 전원 측에서 들어오는 60Hz 교류 전원을 통과시키며, 임의의 외부 환경 및 주파수의

변화에도 항상 일정한 impedance를 갖는 것을 특징으로 한다. 이 LISN에 걸리는 전압은 바로 Spectrum Analyzer를 통해 Total Noise를 측정하거나, Noise Separator를 거쳐 공통 및 차동 모드의 노이즈를 분리하여 측정할 수 있다. 여기서, 이러한 LISN, 필터, 잡음원을 전기적으로 그림2.(b)와 같이 모델링할 수 있다. 특히, 잡음원의 impedance Z_N 를 측정할 수 있다면 필터의 형식이나 감쇠량을 예측할 수 있다. 즉, 잡음원의 impedance와 LISN의 impedance의 크기를 비교하여 필터의 형식을 결정한다. 또한, 그림2.(b)와 같이 모델링할 수 있으므로 수식에 의해 EMI 필터 삽입 시, 이 필터에 의한 노이즈 감쇠량을 예측할 수 있다. 감쇠량이란 잡음원에 그림2.처럼 EMI 필터를 연결했을 때, 이 필터에 의해 LISN의 EMI 측정 점에서 측정되는 CE 노이즈 전압이 EMI 필터가 없을 때 측정된 전압과 비교하여 감쇠되는 정도를 수치로 표현한 것이다.

2.3. 공통 모드 잡음원의 impedance 측정

그림3.은 공통모드의 잡음원의 impedance 측정 장치이다. Z_{series} 는 크기가 Z_s (LISN의 impedance)보다 충분히 큰 $1\text{ k}\Omega$ 이상이 되도록 한다. LISN에서 나오는 노이즈는 0° combiner에 의해 공통 성분만 측정한다. $|Z_{series}|$ 는 Z_{series} 의 주파수별 impedance의 크기이고, 감쇠량 $|A|$ 는 Z_{series} 삽입 시와 제거 시의 노이즈의 차이이다.

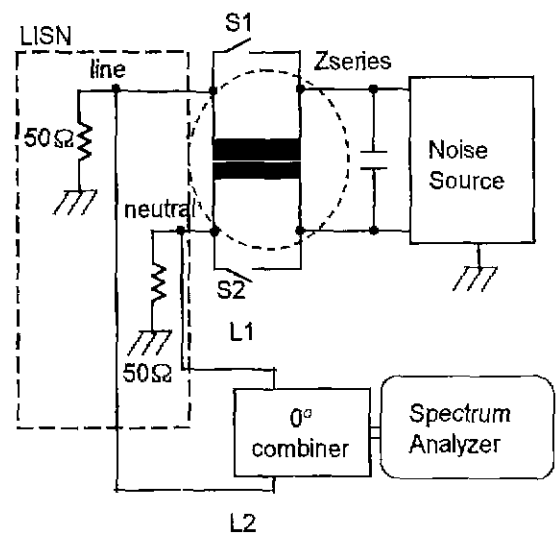


그림3. 공통모드 잡음원의 impedance 측정 장치

$$|Z_k| = \frac{|Z_{series}|}{\sqrt{|A|^2 - 1}} \quad (|Z_k| \gg Z_s \text{인 경우}) \quad (1)$$

위의 식에 의해 잡음원의 impedance를 측정할 수 있다[1]. 그리고, 이 측정된 결과를 토대로 필터의 형식을 결정하거나, 임의의 필터를 삽입 시 이 필터에 의한 노이즈의 감쇠량을 예측할 수 있으므로 실제 필터 제작 시 많은 도움을 준다.

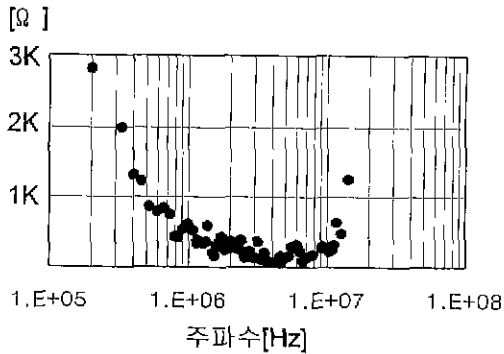


그림4. 공통모드 잡음원의 impedance 측정 결과

잡음원을 SMPS로 한 경우를 예로 들어 보자. 그림4.는 측정장치에 의해 측정 및 계산한 잡음원 impedance $|Z_N|$ 을 그래프로 보여준다. 이 그림에서 주파수가 증가함에 따라 impedance가 감소하므로 잡음원은 capacitive 성분이라고 할 수 있다. 그러므로, 잡음원을 capacitor C_N 으로 모델링할 수 있고 이 잡음원에 임의의 LC 필터를 삽입하면 그림5.와 같이 표현할 수 있다.

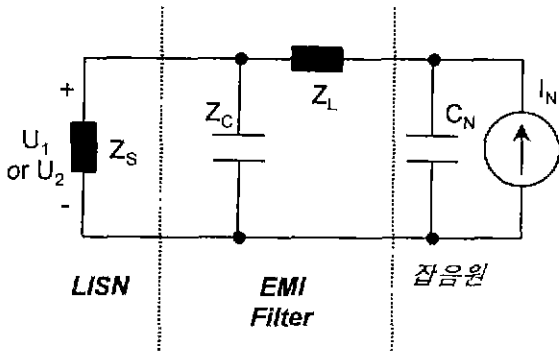
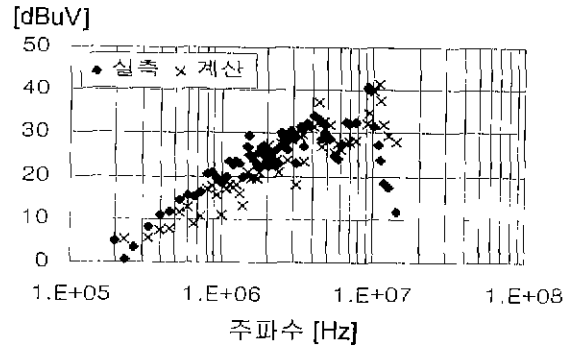


그림5. LC 필터의 삽입 시의 모델링 회로(공통모드)

그리고, L은 1.5mH, C는 1nF인 LC필터인 경우에는, 앞에서 측정한 잡음원의 impedance Z_N , 및 필터의 impedance Z_C, Z_L 을 알면 식(2)에 의해 LC 필터에 의한 감쇠량을 예측할 수 있다.

$$IL = 20 \log \left(1 + \frac{Z_N Z_S + Z_L Z_C + Z_L Z_S}{Z_C (Z_N + Z_S)} \right) \quad (2)$$

식(2)로 예측한 감쇠량과 실측한 감쇠량을 그림 6.에서 비교하였다.



EMI필터 - LC필터(L은 1.5mH, C는 1nF)
그림6. LC 필터 삽입 시 감쇠량의 예측/실측 결과

2.4. 차동 모드 잡음원의 impedance 측정

차동 모드의 경우는 잡음원의 impedance 측정이 매우 어렵다. 이는 무엇보다도 그림1(b)와 같이, 잡음원은 Z_{NP} 와 Z_{NS} 의 합성 성분이 나타나므로

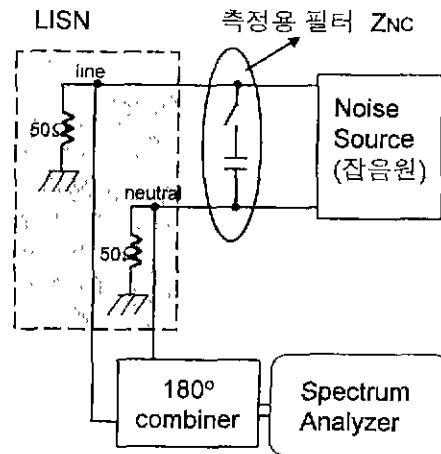


그림7. C필터 삽입 시 차동 모드의 impedance 측정장치

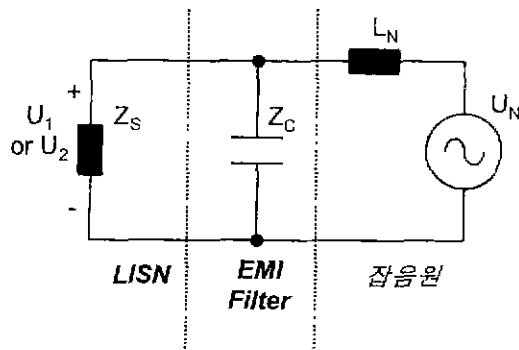


그림8. C 필터 삽입 시의 모델링 회로(차동 모드)
impedance를 측정하기 어려운 것이다. 하지만, inductance Z_{NS} 가 주로 노이즈에 큰 영향을 주기 때문에 이 impedance를 측정하는 방법을 제시한다.

C필터 활용 시의 impedance 측정 장치가 그림 7.에 제시되었다. 이 장치에서 측정용 필터 삽입 시의 감쇠량 IL을 측정한다. 그리고,

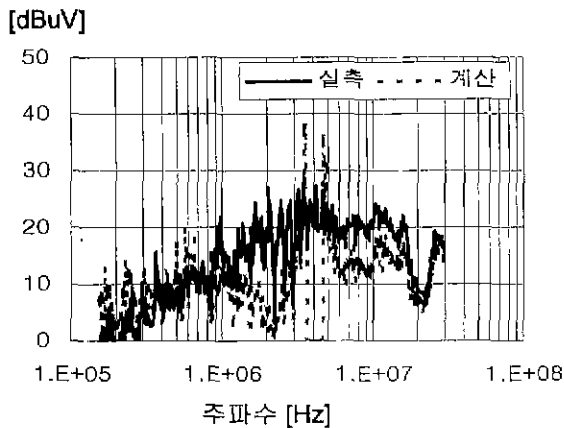
$$A = 10^{IL/20} - 1 \quad (3)$$

$$Z_N = \frac{A \cdot Z_{NC} \cdot Z_S}{Z_S - AZ_{NC}} \quad (4)$$

윗 식에서 ZN은 잡음원의 impedance의 크기, ZNC는 측정용 필터의 impedance, ZS는 LISN의 impedance이다. 식(3),(4)에 의해 잡음원의 impedance ZN을 측정한다. 그리고, impedance가 ZC인 필터 10nF의 C를 삽입 시의 차동 모드의 모델링 회로는 그림8.과 같다.

$$IL = 20 \log \left(1 + \frac{Z_N \cdot Z_S}{Z_C(Z_N + Z_S)} \right) \quad (5)$$

실제로 삽입할 필터 C에 의한 감쇠량을 식(5)에 의해 계산한다. 그림 9.는 예측 및 실측 결과이다.



EMI필터 - C필터 (10 nF)
그림9. C필터 삽입 시 감쇠량의 예측/실측 결과

3. 결론

본 논문에서는 동작 중인 잡음원의 공통 및 차동 모드의 impedance 측정 방법을 제시하고 필터의 장착에 의한 노이즈 감쇠량을 예측하고 이에 따른 최적의 EMI 필터 설계의 가능성을 제시하였다. 그리고, 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 잡음원의 impedance 측정으로 필터의 형식을 쉽게 결정할 수 있다.
2. 임의의 필터를 넣었을 때 감쇠량을 예측할 수 있다.
3. 최적 필터 선정에 의한 원가 절감이 가능하다.
4. EMI 필터 설계에 의해 개발 일정을 단축할 수

있다.

참고 문헌

- [1] Dongbing Zhang, Mark J. Nave and Dan Sable, "Measurement of Noise Source Impedance of off-line Converters", 14th Annual VPEC Seminar, September, 1996.