

EMI filter의 감쇄 성능 예측을 위한 소자의 공통 및 차동 모드 모델링 기법

김희승, 백미란, 원도현, 홍성수, 노정욱, 한상규, 원재선*, 오동성*

국민대학교 전력전자 연구소, 삼성전기(주)*

Abstract

EMI 감쇄성능의 정확한 예측을 위해서는 EMI 필터에 사용되는 소자에 대한 명확한 공통 및 차동 모드 임피던스 모델 정보가 필요하다. 하지만 기존의 전도성 EMI 감쇄성능 예측 방식은 이러한 모델의 부재로 인해 고주파수에서 예측 값과 실험 결과에 큰 오차가 발생하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 EMI 필터의 소자를 전도성 전파 규제 범위에서 모델링하고 이를 이용하여 공통 및 차동모드 임피던스로 다시 모델링한다. 실험 결과 EMI 감쇄성능을 1MHz 이하의 영역에서만 예측할 수 있었던 기존 방식과 비교해 제안 방식은 10MHz 영역까지 예측할 수 있는 장점이 있다. 최종적으로 임피던스 분석기를 이용한 측정 결과와 모의실험 결과를 제시하여 제안 방식의 타당성 및 유용성을 검증한다.

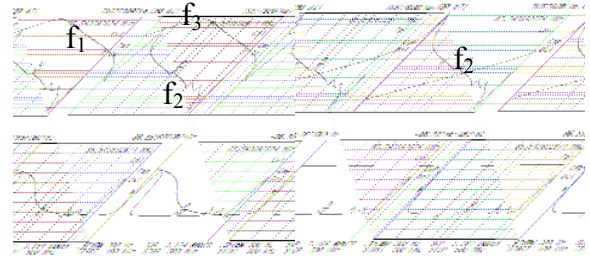
1. 서론

EMI filter의 감쇄비 예측을 위한 기법으로써 노이즈 소스를 고려한 방식은 타당성을 지니고 있으며 이를 이용한 실제적인 제작방식은 매우 유용하게 활용될 수 있다^[1]. 하지만 30MHz 대역까지의 EMI 감쇄효과를 설명하기 위해서는 기본적으로 소자가 지닌 기생 임피던스 성분에 대한 모델링이 이루어져야 한다. 소자의 기생 성분 모델링은 많은 논문에서 다루어지고 있지만 기생 성분을 고려한 회로가 복잡하여 감쇄비 예측을 위한 공통 모드 및 차동 모드 2차 모델링이 어려운 단점을 지닌다^[2].

본 논문에서는 전파성 전파 규제 범위인 30MHz 이하의 범위에서 적합한 공통모드 초크 코일의 공통 모드 및 차동 모드 모델링이 가능한 간단한 HF (High Frequency) 모델 방식에 대해 나타낸다. 공통 및 차동모드 전류의 기본적인 특성과 감쇄비 예측 기법을 종합하여 감쇄비를 예측한 결과를 나타내고 이를 측정으로 통해 그 이론의 타당성을 검증한다.

2. 공통모드 초크 코일의 고주파모델링

그림 1은 임피던스 분석기 (Agilent 4395A)를 이용하여 TNC사의 CV410280S 28mH 공통모드 초크 코일의 2차 측의 단락 및 개방 시의 임피던스 측정된 결과를 나타낸다. 1차와 2차 측이 동일한 방식으로 제작되므로 HF 모델의 1차와 2차 측의 임피던스는 서로 대칭이 되어야 한다. 2차 측이 개방된 상태의 저주파 대역 (200kHz이하)을 살펴보면 일반적으로 자화인덕턴스(L_M)가 누설인덕턴스(L_k)에 비해 매우 크기 때문에 임피던스 크기는 L_M 에 의해 형성되는 것으로 나타난다. 또한 2차 측이 단락 시의 저주파 대역은 2차 측의 L_k 가 1차 측에 투영되어 L_M 과 병렬로 연결되어 $2L_k$ 의 임피던스로 나타난다. 이러한 특성을 지닌 저주파 모델을 그림 2에 나타내었다. 이에 따라서 각



a) Opened Secondary Condition b) Shorted Secondary Condition
Fig. 1 Impedance of Common Mode Choke Coil (TNC-CV410280S).

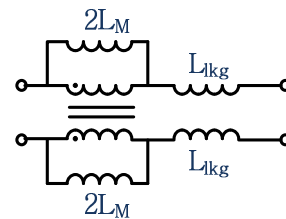


Fig. 2 Low frequency Model of CM Choke (TNC-CV410280S).

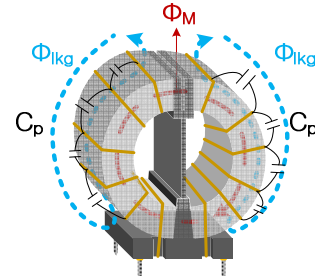


Fig. 3 Magnetizing and Leakage Flux of Common Mode Choke.

소자의 값을 구하기 위한 수식은 식 (1)과 같다. 주파수 f 는 임피던스 분석기로 측정될 수 있는 최저주파수로 설정되어야 명확한 값을 도출할 수 있다. 크기 X_L 은 이 최저주파수에서의 임피던스의 크기를 말한다. 이때의 L_{lk} 는 2차 측이 단락 시의 2차 측에 있는 L_{lk} 가 1차 측에 투영되어 두 배로 계산되며 2차 측이 개방 시에는 L_M 의 크기로 볼 수 있다.

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \left(\text{이때, } L = \left\{ \begin{matrix} L_M \\ 2L_{lk} \end{matrix} \right\} \right) \quad (1)$$

L_M 및 L_k 만을 고려한 조건에서는 약 200 KHz 이하의 저주파에서만 적절한 모델이 될 수 있다. 전도성 전파 규제 범위인 30MHz 이하 주파수에서 공통 모드 초크 코일은 2차 측 개방 시에 2 개의 병렬 공진 주파수 (f_1 , f_3)와 한 개의 직렬 공진 주파수 (f_2)가 존재한다. 또한 2차 측 단락 시 한 개의 병렬 공진 주파수를 지닌다. 공진 주파수 간의 특징으로써 2차 측 개방 시의 직렬 공진 주파수 (f_2)와 2차 측 단락 시의 병렬 공진 주파수는 일치하는 모습을 보인다. 이는 그림 3에서 보인 권선에 의한 병렬 커패시턴스(C_p)에 의한 공진으로 설명된다. 2차 측 개

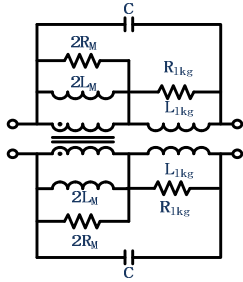
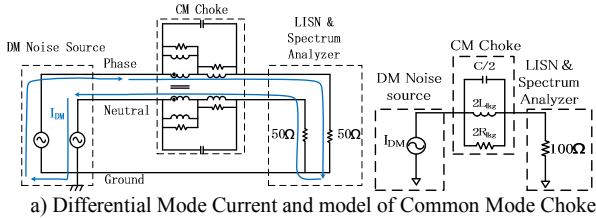
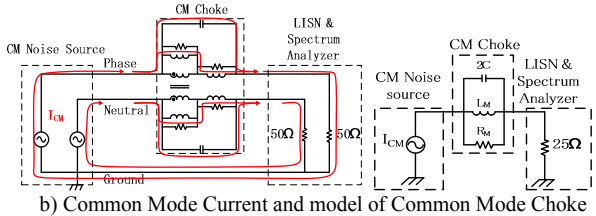


Fig. 4 Magnetizing and Leakage Flux of Common Mode Choke.



a) Differential Mode Current and model of Common Mode Choke



b) Common Mode Current and model of Common Mode Choke

Fig. 5 Common and Differential Model of Common Mode Choke.

방 시 C_p 와 L_k 가 직렬 공진 임피던스를 형성하고 이에 따라 주파수 f_2 를 형성한다고 가정하면 다음 그림 4의 고주파 모델을 완성할 수 있다. 또한 공진점에서 임피던스는 실수 성분인 저항 성분만을 지니므로 그림 4와 같이 각 인덕터에 병렬 저항 성분으로 모델링 할 수 있다. 이 값을 도출해 내기 위한 식은 다음과 같다.

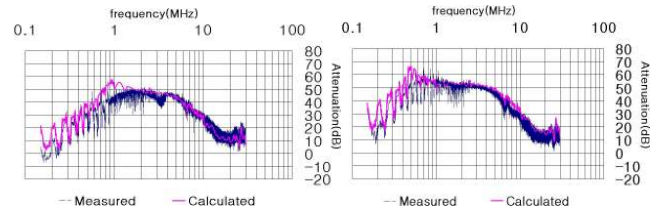
$$C_p = \frac{1}{2L_{lkg}(2\pi f_2)^2} \quad (2)$$

$$R_M = \text{개방 시 } f_1 \text{ 에서 임피던스} \quad (3)$$

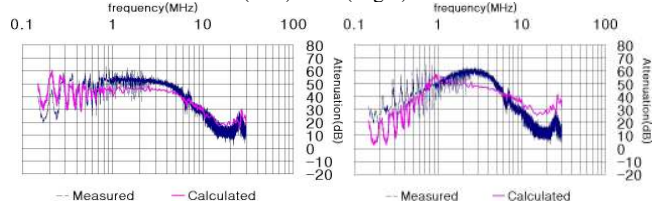
$$R_{lkg} = \text{개방 시 } f_3 \text{ 에서 임피던스} \quad (4)$$

3. 공통 및 차동 모드 모델링

그림 5는 2장에서 도출된 공통모드 초크 코일의 고주파 모델과 공통 및 차동 모드 전류의 정의에 입각한 모델링을 나타낸다. 여기서 공통모드 전류는 Phase와 Neutral 선에서 위상 차이를 지니지 않고 같은 방향으로 진행되는 노이즈 전류로 정의된다. 반대로 차동모드 전류는 Phase와 Neutral선 상에서 180° 위상 차이를 지니고 서로 반대방향으로 흐르는 전류로 정의된다.^[3] 그림 5b)에서 공통모드 전류는 이상적인 트랜스포머의 도트 방향에 따라 서로 상쇄되어 모든 성분이 공통모드 임피던스로 작용하며 그림 5a)에서의 차동모드 전류는 이상적인 트랜스포머에만 인가되어 C_p , L_{lkg} 및 R_{lkg} 만이 차동모드 임피던스로 작용한다. 따라서 공통모드 전류에 의한 임피던스는 서로 병렬로 작용하므로 L_{lkg} 가 L_M 보다 매우 작다는 전제하에 그림 5b)와 같이 모델링 될 수 있으며 차동모드 전류에 의한 임피던스는 서로 직렬로 작용하여 그림 5a)와 같이 모델링 될 수 있다. 그림 6은 공통 모드 모델과 감쇄비 예측 기법^[1]을 이용하여 전도성 전파대역에서의 감쇄비를 측정된 결과와 계산한 결과를



a) Attenuation of Common Mode Choke Coil (Left) 3mH (Right) 40mH



b) Attenuation of Common Mode Choke Coil and Y-capacitor (Left) 3mH+470pF (Right) 40mH+470pF

Fig. 6 Magnetizing and Leakage Flux of Common Mode Choke.

나타낸다. 대상 시료로써 Non PFC Type의 6W 플라이백 컨버터가 사용되었다. 차동모드 감쇄비의 경우 브릿지 다이오드의 턴 온/오프 시간이 EMI filter 특성에 따라 변하므로 노이즈 소스 임피던스가 변하고 있어 감쇄비 예측 기법^[1]에서 제안하는 방식이 맞지 않는다.

4. 결론

본 논문은 전도성 전파 대역에서 EMI filter 사용에 따른 감쇄비 예측을 위해 공통모드 초크 코일의 고주파 모델링 방식과 공통모드 및 차동모드 모델링 방식을 제시하였다. 기존의 방식은 소자의 고주파 모델이 공통 및 차동모드 모델링이 어려운 단점을 지니는 것에 비해 제안된 방식은 그 구조가 간단하여 공통 및 차동모드로의 2차 모델링이 용이한 장점을 지닌다. 또한 이러한 모델링과 기존의 감쇄비 예측 방식을 활용하여 간단한 측정만으로도 150KHz에서 30MHz까지의 공통 모드의 감쇄비를 계산할 수 있는 장점을 지닌다. 또한 하드웨어 실험을 통해 이론적 분석과 같은 결과를 얻었으며 추가적으로 감쇄비 계산을 통하여 이론의 타당성을 검증하였다. 차동 모드의 감쇄비의 경우 감쇄비 예측방식^[1]과 다르게 다이오드 턴 온/오프 시간에 따른 분석이 더 마련되어야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgment

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

Reference

- [1] Dongbing Zhang and etc., "Measurement of Noise Source Impedance of Off-Line Converters", Proceedings of the IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 15, No. 5, pp.820-825, 2000, September.
- [2] Liyu Yang, "Modeling and Characterization of a PFC Converter in the Medium and High Frequency Ranges for Predicting the Conducted EMI", Master's Thesis of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003, September.
- [3] Mark J. Nave, "Power Line Filter Design For Switched-Mode Power Supply", Published by Van Nostrand Reinhold Newyork, pp.43-48, 2000, September.