

SMPS에서 전도성 노이즈에 관한 연구

이희훈*, 이인환, 이현홍, 오동길, 권영안
 부산대학교 전기공학과 산업전자연구실

Conducted Noise in Switched Mode Power Supply

H. H. Yi*, I. H. Lee, H. H. Lee, D. G. Oh, Y. A. Kwon
 Pusan National University

Abstract - SMPS는 스위칭을 통해 전력을 변환하므로 높은 dv/dt 및 di/dt 특성을 갖게 된다. 이러한 스위칭특성으로 인해 발생하는 EMI(Electromagnetic Interference) 노이즈는 기기 내부 또는 외부에 간섭을 일으킨다. 미국의 FCC(Federal Communications Commission) 및 유럽의 CISPR(International Special Committee on Radio Interference) 등의 규정을 만족시키기 위해서 전도성 노이즈에 대한 충분한 이해와 해석이 필요하다. 본 연구는 SMPS에서의 EMI/EMC 대책 구현에 앞서, 전도성노이즈의 기본개념 및 발생/결합 경로를 분석하고 실제로 노이즈를 측정한다. 측정을 위해 Boost 컨버터가 제작/사용된다.

1. 서론

전기전자시스템에서 파워서플라이의 고유기능은 일정하고 반복적인 전원을 회로에 공급하는 것이며 주 전원과 회로 사이에서 매개장치로 동작한다. 스위칭 파워서플라이는 기존의 선형레귤레이터에 비해 고효율 및 소형경량의 장점을 갖지만, 높은 스위칭 주파수에서 동작하므로 SMPS 펄스파는 전자파간섭(EMI)을 발생하는 고주파성분을 포함하게 된다.

전기전자시스템에서 SMPS는 간섭의 주요 원인으로 작용하므로 설계단계에서부터 신중하게 고려되어야 한다. 일반적으로 SMPS의 노이즈는 전도(conduction) 및 방사(radiation) 노이즈로 분류된다.[1]-[6]

거의 모든 전기전자장비는 입력전원에서 구동전압을 발생하는 전력변환을 수반하는데, 대다수는 동일한 기본원리가 적용되지만 용도에 따라 상이한 토폴로지를 채택하는 SMPS로 구성된다. SMPS에서 높은 스위칭 주파수를 사용하면 자기소자는 감소되지만, 전원회로 및 능동소자 상호작용에 의해 발생하는 EMI 스펙트럼은 증가한다. 따라서, 회로에 공급되는 전원의 품질은 떨어지게 되므로 EMC 국제표준을 만족시키기 위해서는 면밀한 전자파간섭연구 및 설계단계에서의 노이즈분석과 대책 적용이 필수적으로 요구된다. 본 연구는 SMPS에서의 EMI/EMC 대책 구현에 앞서, 전도성노이즈의 기본개념 및 발생/결합 경로를 분석하고 실제로 노이즈를 측정하기 위해 Boost 컨버터가 제작/사용된다.

2. 전도성 노이즈의 결합경로

일반적으로, 주 전원은 상전선(P), 중성선(N), 접지선(G)의 세 전선으로 전력을 장비에 공급한다. 파워서플라이에서 발생하는 노이즈전류는 차동모드(DM) 및 공통모드(CM) 노이즈전류의 2가지로 구분된다. 그림 1은 Boost 컨버터에서 CM 및 DM노이즈의 경로를 나타낸다. 먼저, 차동모드 노이즈전류 I_{DM} 는 상전선에서 흘러나와서 중성선으로 흐르거나, 또는 중성선에서 흘러나와서 상전선으로 흐른다. 공통모드 노이즈전류 I_{CM} 는 상전선 및 중성선에서 흘러나와 접지선으로 흐른다. 그리고, 접지선을 따로 두지 않는 2선식에서도 공통모드전류가 존재하며 상전선/중성선과 장비프레임 사이의 기생커패시턴스

를 따라 나타나는 경로로 흐르게 된다. 상전선 및 중성선에 흐르는 각 차동모드전류는 크기는 같고 방향은 반대이다. 반면에, 공통모드전류는 크기와 방향이 모두 동일하다. 그러므로, 이 때 접지선에는 공통모드전류가 두 번 흐르게 된다.

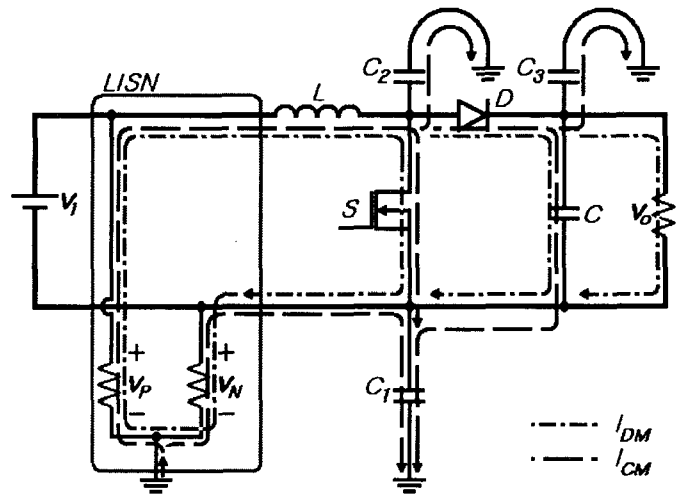


그림 1. Boost 컨버터에서 CM 및 DM노이즈의 경로

3. LISN

전도성 이미션 시험의 목적은, EUT(Equipment Under Test)의 전원코드를 빠져나가는 노이즈전류를 측정하기 위함이다. 전도성 이미션 측정에는 LISN이 사용되며 측정장소의 영향을 배제하고 측정범위에 대한 정확성이 요구된다.

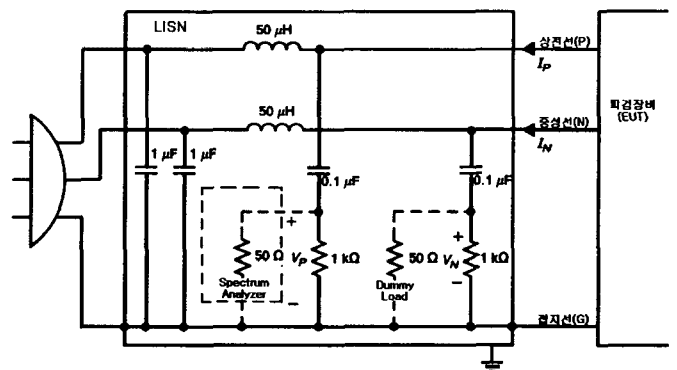


그림 2. LISN의 내부구조(FCC)

EUT에서 전원코드 외부로부터 측정된 임피던스는 측정 장소에 관계없이 안정해야한다. 이것은 LISN의 첫 번째

목적으로, 전도성 이미선 시험의 주파수범위에서 상전선과 접지선 사이 및 중성선과 접지선 사이에 일정한 임피던스를 제공한다. 또한, 전원시스템의 노이즈 양은 장소에 따라 달라진다. 경우에 따라, 외부노이즈가 EUT의 전원코드로 유입되게 되고, 외부노이즈가 제거되지 않으면 측정하는 전도성 노이즈에 추가될 수 있다. 정확한 노이즈 측정을 위해서는 EUT에 의한 전도성 노이즈만 측정해야 하므로 EUT와 관계없는 전도성 노이즈를 차단하는 것이 요구되는데, 이것이 LISN의 두 번째 목적이다. 위에서 언급한 두 가지 목적 외에도, 제품동작을 위한 상용 주파수전원 50/60Hz을 통과시킬 수 있어야 한다.

FCC 전도성 이미선 측정에 사용되는 LISN은 그림 2와 같다. 주전원측의 상전선(P)과 접지선(G)사이 및 중성선(N)과 접지선(G)사이의 $1\mu\text{F}$ 커패시터의 용도는 외부노이즈가 측정장치로 흘러들거나 시험데이터에 영향을 주는 것을 방지한다. $50\mu\text{H}$ 인덕터의 용도는 그 노이즈를 차단하는 것이며, 다른 $0.1\mu\text{F}$ 커패시터의 용도는 노이즈 측정장비입력의 DC과부하를 방지한다.

표 1. 측정 주파수 범위에서의 각 소자의 임피던스값

소자	$Z_{450(\text{kHz})}$	$Z_{30(\text{MHz})}$
$50\mu\text{H}$	141.3Ω	9420Ω
$0.1\mu\text{H}$	3.54Ω	0.053Ω
$1\mu\text{F}$	0.354Ω	0.0053Ω

μF 커패시터는 $26.5\text{k}\Omega$, $1\mu\text{F}$ 커패시터는 $2.7\text{k}\Omega$ 의 임피던스를 갖는다. 그러므로, 60Hz 전원주파수에서 LISN은 실질적으로 아무런 영향을 미치지 않고 제품에 공급된다.

한편, CISPR22 전도성 이미선 시험의 주파수 범위는 150kHz~30MHz로서 FCC 전도성 이미선 시험의 450kHz~30MHz와는 차이가 있고, 임피던스 값을 적절하게 조정하기 위해서는 LISN 각 소자의 값은 달라지므로 다른 LISN 토폴로지가 필요하다.

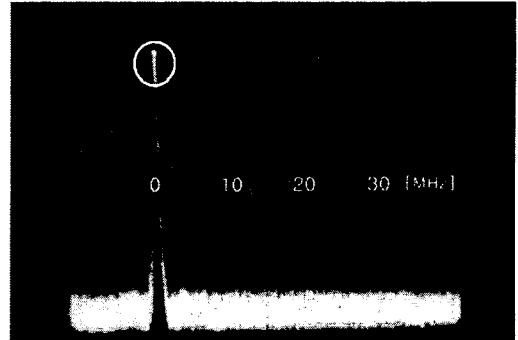


그림 4. 노이즈전압 V_p 의 스펙트럼(D=0)

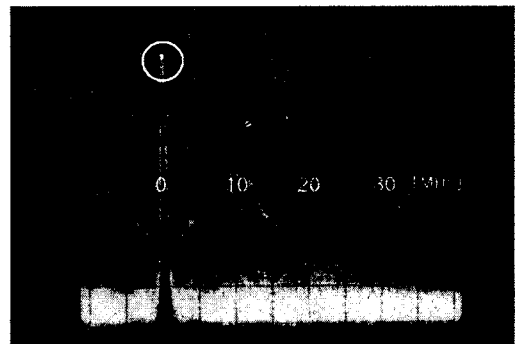


그림 5. 노이즈전압 V_p 의 스펙트럼(D=0.6)

표 1에서 알 수 있듯이, 커패시터는 측정주파수에 대해 본질적으로 단락회로이며, 인덕터는 상대적으로 큰 임피던스를 나타낸다. 50Ω 저항이 제거된 경우에서 $1\text{k}\Omega$ 저항은 $0.1\mu\text{F}$ 커패시터를 방전하기 위한 경로로 작용한다. 50Ω 저항 하나는 상전선과 접지선사이 및 중성선과 접지선사이의 임피던스가 항상 50Ω 이 되도록 하는 더미로드(dummy load)이며, 다른 하나는 노이즈 측정장비(spectrum analyzer)의 입력임피던스이다. V_p 및 V_N 으로 표시되는 측정전압은 상전선과 접지선사이 및 중성선과 접지선사이에서 측정한다. 상전선전압 및 중성선전압 모두 전도성 이미선 시험의 주파수범위에 대해 측정되어야 하며, 규정을 만족시키기 위해서는 제한주파수범위의 모든 주파수에서 규정제한보다 낮아야 한다.

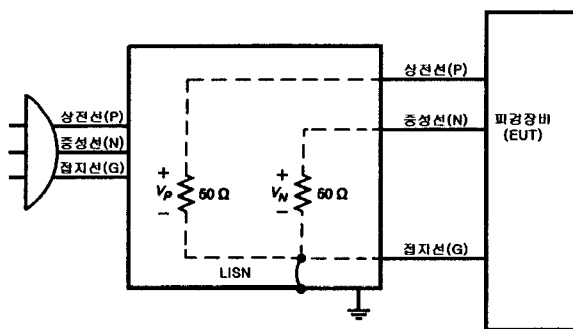


그림 3. 측정주파수범위에서의 LISN 등가회로 (450kHz~30MHz, FCC)

등가적으로 보면, 전도성 이미선 시험의 주파수 범위에 걸쳐 LISN의 커패시터는 단락, 인덕터는 오픈회로이다. 결과적으로, 그림 3과 같이 LISN의 등가회로는 상전선과 접지선사이 및 중성선과 접지선사이가 50Ω 이 된다. 60Hz 전원주파수에서, $50\mu\text{H}$ 인덕터는 $18.8\text{m}\Omega$, 0.1

그림 4 및 그림 5는 실제로 40W급 Boost 컨버터를 제작한 후, LISN에 연결하여 스위칭 전후의 전체 노이즈를 각각 측정한 것이다. 스펙트럼분석기는 HAMEG사의 HM5006 모델을 사용하였는데, 계기측정범위가 150 kHz에서 500MHz까지므로 150kHz이하범위(원부분)의 신호는 외부노이즈에 의한 것이 아님에 유의한다. 그리고, 입력 노이즈는 40dB 감쇄하도록 설정하였으며, 가로축 눈금은 5MHz/div, 세로축 눈금은 10dB/div이다.

4. 노이즈 분리

특정주파수에서 전도성노이즈를 효과적으로 감소시키는 방법은 그 주파수에서 어떤 노이즈성분(DM 또는 CM)이 지배적인지 결정하는 것이다. 따라서, 노이즈 측정장비인 스펙트럼분석기와 측정단자인 LISN 사이에 노이즈분리기를 연결시켜 특정주파수에서 지배적인 노이즈성분을 확인하고 그에 맞는 노이즈대책을 수립하는 것이 일반적이다. 지배적인 노이즈성분을 확인하는 노이즈분리기의 원리는 매우 간단하다. 정의에 의해, LISN에서 측정되는 상전선 전압 V_p 및 중성선전압 V_N 은 각각 CM노이즈전압 V_{CM} 과 DM노이즈전압 V_{DM} 의 합 및 차가 되므로, 다음과 같은 관계가 성립한다(그림 2 및 그림 3 참조).

$$V_p + V_N = 2V_{CM} \quad (1)$$

$$V_P - V_N = 2V_{DM} \quad (2)$$

그러므로, 어떤 성분이 지배적인지 결정하기 위해서 LISN에서 측정된 두 전압을 더하고 빼야하는데, V_P 및 V_N 은 벡터성분이므로 위상각과 진폭을 모두 감안하도록 노이즈분리기를 제작한다.

버지니아 공과대학의 VPEC센터에서 제작한 노이즈분리기가 그 예가 될 수 있는데, 그림 6부터 그림 8까지를 참고하여 설명한다[4]. 그림 6은 노이즈분리기를 거치지 않은 전체노이즈이며, 그림 7 및 그림 8은 노이즈분리기를

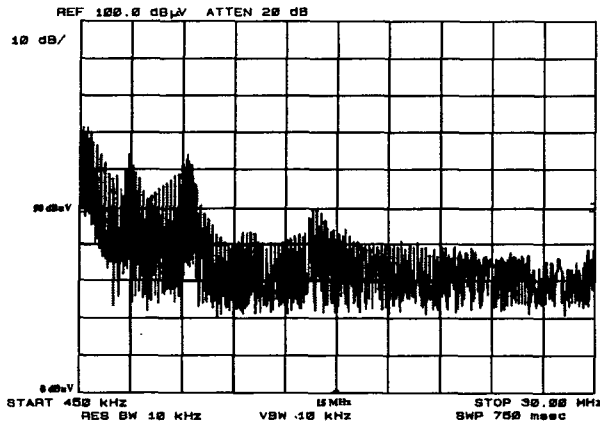


그림 6. 노이즈 분리 전의 전체노이즈

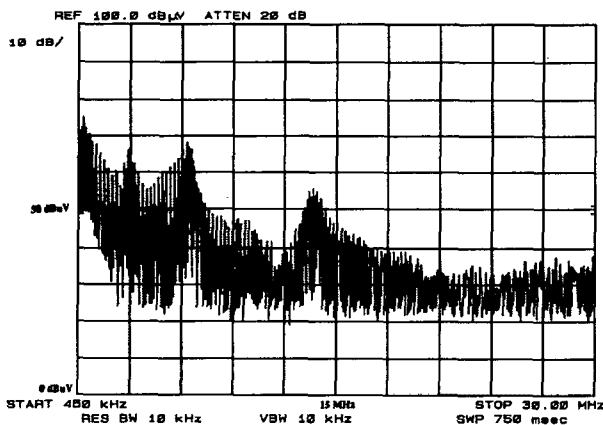


그림 7. 노이즈 분리 후의 DM노이즈

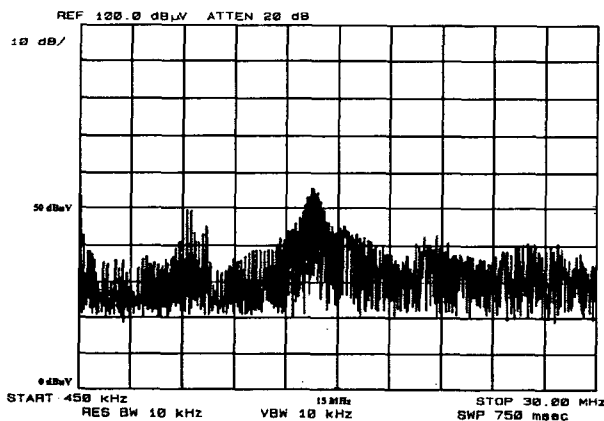


그림 8. 노이즈 분리 후의 CM노이즈

통해 각각 DM 및 CM노이즈로 분리된 상태의 스펙트럼을 도시한 것이다.

5. 노이즈 저감

지금까지 노이즈 종류, 측정단자(LISN) 및 노이즈 분리에 대해 분석하였다. 주어진 주파수범위에서 지배적인 노이즈를 확인한 후, 대처하는 방법은 노이즈 소스를 억제하거나, 노이즈 결합경로를 차단하고, 필터링/차폐하는 것이다.

그런데, 노이즈를 감소시키는 과정에서 주의할 점은 지배적인 성분에 따라 적합한 대책을 세워야 한다는 것이다. 예를 들어, 그림 8의 대략 450kHz~9MHz 사이의 주파수범위에서는 DM노이즈가 지배적이므로, 이에 해당하는 방법으로, 상전선과 중성선 사이에 적절한 값의 커패시터를 달아주면 DM전류의 경로에 영향을 미치게 되므로 DM노이즈가 현격하게 감소하게 된다. 반면에, 지배적이지 않은 DM노이즈로의 영향은 미미하다.

그리고 그림 9에서 대략 18MHz~30MHz 사이에서 지배적인 노이즈는 CM 노이즈이므로, 이에 해당하는 대책으로서 상전선과 접지선 사이에 커패시터를 추가하면 CM노이즈가 감소하게 되는 것이다.

그러나 그림 7과같이 CM노이즈와 DM노이즈가 혼합되어 있는 전체 노이즈만을 확인하여 지배적인 노이즈와 무관한 노이즈의 대책을 세우게 된다면 잘못된 결과를 초래하게 된다.

6. 결 론

기존의 선형레귤레이터에 비해 SMPS는 고효율 및 소형경량의 장점을 가지고 있지만, 스위칭을 통해 전력을 변환하는 고유의 메카니즘으로 높은 dv/dt 및 di/dt 특성을 갖게 된다. 이로 인해, 고조파노이즈가 발생하게 되는데 스위칭주파수가 증가하고 용량이 커질수록 그 심각성은 더해진다. 본 연구에서는 실제로 전도성 노이즈를 측정하고 노이즈 경로를 분석하기 위하여 Boost 컨버터를 제작하고 실험하였다. 본 연구는 SMPS에서 노이즈를 감소시키기 위해 필요한 기본개념 및 접근방법을 기술함으로써 이해를 돕고 나아가 실제로 노이즈 감소 구현과 연계될 수 있도록 하는 기초 연구이다.

(참 고 문 헌)

- [1] C.R.Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", John Wiley & Sons, 1992
- [2] L.Tihanyi, "Electromagnetic Compatibility in Power Electronics", IEEE Press, 1995
- [3] C.R.Paul and K.B.Hardin, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol.30, no.4, 1988
- [4] T.Guo, D.Y.Chen, and F.C.Lee, "Separation of the Common Mode and Differential Mode Conducted EMI Noise", IEEE Trans. on Power Electronics, vol.11, no.3, 1996
- [5] R.Redl, "Power Electronics and Electromagnetic Compatibility", Power Electronics Specialists Conference, 27th Annual IEEE, vol.1, 1996
- [6] W.Xin, F.N.K Poon, C.M.Lee and M.H.Pong, "A Study of Common Mode Noise in Switching Power Supply from a Current Balancing Viewpoint", IEEE International Conference on PEDS '99, 1999