

스위칭 모드 직류 전원공급기(SMPS)의 전도성 잡음해석

성주영 · 김윤명
단국대학교 공학부 전자공학전공

Conducted Noise Analysis of SMPS(Switching Mode Power Supply)

Joo-Young Sung · You'n-M'young Gimm
Department of Electronics Engineering, Dankook University

ABSTRACT

본 논문에서는 일반적인 EMI 노이즈 개요 및 SMPS(Switching Mode Power Supply)에서의 Noise 발생 메카니즘을 분석하고, 전도성 Noise를 측정하였으며, SMPS에서 발생하는 잡음형태를 분석하여 대책방안을 연구하였다.

I. 서론

최근 산업사회가 고도화 되어감에 따라 가정뿐 아니라 산업 전반에 전기 전자기기의 수요가 급증하고 있으며, 이와 더불어 기기에 안정된 전원을 공급하는 전원장치는 고신뢰성, 안정성, 경량화, 고효율등의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 이러한 요구에 맞는 고속 스위칭 소자를 이용한 SMPS(Switching Mode Power Supply) 전원은 직류를 고주파로 변환하고 이를 다시 직류로 변환하므로써 전원이 소형화, 경량화된 것은 물론, 효율을 높일 수 있는 잇점이 있으므로 최근에는 특수한 경우를 제외하고는 거의 모든 기기에서 SMPS 전원 방식을 채택하고 있으며, 적용 범위가 날로 확대되어 실용화되고 있다.

그러나 SMPS의 소형, 경량화를 실현하기 위하여 동작 스위칭 주파수가 점차 고속화되고 있는데, 반도체 스위칭 소자 기술의 발전에 따라 최근에는 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 스위칭에 의한 노이즈 발생의 심각성이 증가하고 있다. 따라서 SMPS에서 소형, 고효율, 고신뢰성 등을 추구할 때, 발생하는 EMI 노이즈는 SMPS 기술 발전에 있어 어려운 문제점으로 인식되고 있다.

본 논문에서는 일반적인 EMI 노이즈 개요 및 SMPS에서 EMI 노이즈 발생 메카니즘을 분석하고, 전도성 노이즈를 실측하여 보았다.

II. EMC 와 EMI

우리가 일반적으로 말하는 잡음이란, 포괄적인 의미의 용어이다. 이러한 잡음의 발생원에 따른 잡음을 분류하면 표1과 같다. 이러한 자연적인 환경 또는 다른 전자 기기에서 발생하는 전자기적 환경에서 전기 전자 기기들이 본래 의도한 성능을 충분히 발휘할 수 있도록 전자파에 대한 내성을 갖추어야 하는데, 이를 전자기 감응 (EMS : Electromagnetic Susceptibility) 이라 한다.

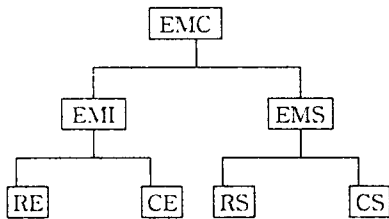
이에 대하여 전기 전자 기기에서 유출되는 불필요한 전자적 전도 및 방사량을 각국에서는 법으로 규제를 규정하여 시행하고 있다. 이러한 불필요한 전자기 에너지의 유출을 제한하는 문제를 통상 전자기 간섭 (EMI : Electromagnetic Interference)이라고 부른다.

표 1. 발생원에 따른 잡음

Source of EMC					
Natural Noise		Artificial Noise or Men-made Noise			
Terrestrial	Extra Terrestrial	Communication Electronics	Electric Power	Tool & Machines	Ignition System
Atmospheric	Sun	Broadcast	Generation	Power Tools	Engines
Precipitation Static	Cosmic	Navigation	Conversion	Business Machines	Vehicles
	Radio Star	Radar	Transmission	Industrial Machines	
		Communication	Distribution	Home Appliance	

전자파 장애는 매개경로의 형태에 따라, 공간중으로 방사되는 방사성 장애 (Radiated EMI)와 기기에 연결된 전원선이나 신호선을 통하여 전도되는 전도성 장애 (Conducted EMI) 로 크게 2 가지로 나뉘어진다. 방사성 장애는 다시 방사성 노이즈 방출 (Radiated Emission)과 방사성 노이즈 감용(Radiated Susceptibility)으로 구분되며, 전도성 장애 역시 전도성 노이즈 방출(Conducted Emission)과 전도성 노이즈 감용(Conducted Susceptibility)으로 분류할수 있다.

표 2. EMC 관련 용어체계



III. CE/CS를 위한 LISN 해석 및 국제규격

1. 전도성 노이즈를 측정하기위한 LISN 메커니즘

본 논문에서 사용한 전원 안정화 장치 회로에 대한 메커니즘은 다음과 같다. 우선 작동 주파수 범위에서 특정 임피던스를 공급해야 한다. 그 회로는 주전원 공급원에서 스푸리어스 신호에 대한 충분한 분리도를 제공해야 한다(스푸리어스 신호는 일반적으로 수신기에서의 측정 레벨의 적어도 10 dB 이하이어야 한다). 또한 주전원 전압이 측정기에 공급되지 않도록 해야 한다. 그 회로는 수신기와 측정중인 주전원 도체판을 연결해 주는 스위치, 다른 주전원 도체판에 올바른 연결을 해주는 스위치, 및 주전원의 각 도선(단상 2-선식, 3상 4-선식)과 같은 설비를 갖추고 있다. 다음에 주어진 회로는 이런 설비를 포함하고 있다. 이 회로들은 단상 2-선식 주전원의 경우에 주어진다. 3상 4-선식으로의 확장은 간단히 행해진다.

본 논문에서 사용한 LISN(ESH Z-Z5)은 50Ω/50μH V-네트워크의 경우는 그림 1 과 같다.

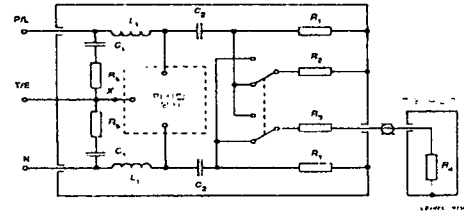


그림 1. 50Ω/50μH 선원 안정화(LISN) 장치 다이어그램.

그림1 은 표3 에 주어진 요소 값들로 구성된 회로를 보여 준다. L1, C1, R2, R3, R4는 임피던스를 나타낸다. 높은 주전원 노이즈가 발생할 경우는 스푸리어스 신호 레벨을 감소시켜야 한다. 이 Network 은 100 A까지의 전류를 사용할수 있도록 설계되어 있다.

표 3. 50Ω/50μH 네트워크의 구성요소 값.

요소	값
R1	1000Ω
R2	50Ω
R3	0Ω
R4	50Ω(측정기의 입력 저항)
R5	0Ω
C1	1 μF
C2	0.1 μF
L1	50 μH

C1이 높은 커패시턴스 값을 가지기 때문에 안전을 위해서 네트워크의 케이스를 접지에 단단히 고정시키거나 주전원 분리 변압기를 사용해야 한다.[1]

2. 전도 방해에 대한 허용 기준

주전원 포트에서의 전도 방해 허용 기준은 A급, B급 으로 CISPR 22에서 규정하고 있다. 이에 논문에서 적용한 허용 기준은 B급(일반인 사용)으로 선정하여 사용하였다.

표 4. B급 ITE(Information Technique Equipment)의 주전원 포트에서의 전도 방해 허용

주파수 범위 MHz	허용 기준 dB(μV)	
	준 침두치	평균치
0.15 - 0.5	66 - 56	55 - 66
0.5 - 5	56	46
5 - 30	60	50

1. 선이 주파수에서는 낮은 쪽의 허용기준을 적용해야 한다.
2. 허용 기준은 0.15 MHz - 0.5 MHz 의 로그 스케일 주파수 범위에서 선형적으로 감소한다.

IV. SMPS의 기초

전자 전기 장치는 반드시 전원 장치가 필요하다. 과거에는 주로 Energy 절약형이 아닌 Linear 전원장치가 주로 사용되었으나, 현재에는 사무기기용, 산업용 뿐만 아니라 일반 가전제품에도 SMPS(Switching Mode Power Supply)가 적용되고 있고, 장점으로는 소형화, 고효율화, Multi Channel 화 등의 실현이 용이하다.

1. Linear 전원장치와 SMPS의 차이점

표 5. 선형전원장치와 SMPS의 차이점

	Linear Power	SMPS
크기	1	1/5
효율	30-40%	65-75% 이상
안정도	보통	양호
무게	1	1/10
과도특성	양호	나쁨
출력유지	나쁨	양호
Ripple	양호 (수십 mV)	나쁨 (수10 mV-수200 mV)
Noise	양호 (수십 mV)	나쁨 (수100 mV)
다출력	곤란함	용이함

2. 기본동작 원리

* V: 10V, R: 5Ω

* V: 10V, R: 5Ω

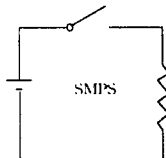
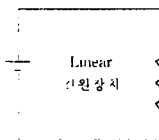
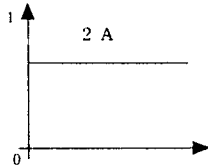
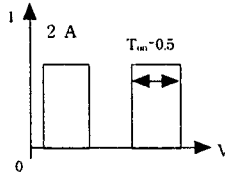


그림 2. 선형전원장치와 SMPS의 기본동작 원리 1.

a) DC동작인 경우 (Duty 100%)



b) Duty 50%



DC 동작인 경우의 안정도(0.001% - 0.1%)는 높지만 입력전압과의 대응폭이 커서 효율저하를 일으킨다. 그러나 SMPS의 경우는 안정도(0.1% - 3%)로써 입력전압과의 대응도가 직류 및 110/220V로 공용가능하여 호용성이 좋다.

3. SMPS의 소형화 이유

SMPS 소형화의 가장 핵심은 변압기의 1차 및 2차 사이의 유기되는 전압을 고속으로 Switching 하여 트랜스의 Core 와 Turn 수를 줄여줌으로 소형화 할 수 있다.

XFMR 설계에서 일반적으로 많이 사용되는 수식을 사용하여 비교하여 보면 다음과 같다.

$$N_p = \frac{V_{in} \times T_{on} \times 10^8}{A_e \times \Delta B}$$

- 1) Np : 1차 권선수
- 2) Vin : AC Input Voltage
- 3) Ton : 스위칭 주파수 On Time
- 4) Ae : Core 유효 단면적
- 5) ΔB : Core 자속 밀도 변화량

상용 주파수 60 Hz를 스위칭하면, Ton 값만 생각하면 T=1/f 로 16.6 msec 가 된다.

임의의 스위칭 주파수를 100 kHz 로 하면, T=10μ sec 가 되고 Ton을 40%만 생각해도 4μ sec 가 된다.

극단적으로 변수값은 똑같다고 가정을 하고, 위 식의 권선비를 스위칭 주파수가 60 Hz 일때와 100 kHz일 때의 Ton 값을 40% 계산한 값을 비교해보면 4150 : 1 의 엄청난 Turn 비가 발생하여 소형화를 이룰수 있다. 그러나, 스위칭 주파수가 높아지면서 발생하는 노이즈는 단점으로 지적된다.

4. EUT로 쓰인 SMPS 회로도와 Block Diagram

i) SMPS의 Block Diagram

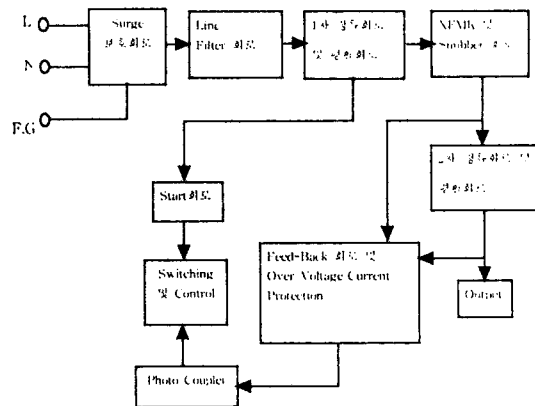


그림 4. SMPS의 Block Diagram.

ii) EUT로 쓰인 SMPS 회로도

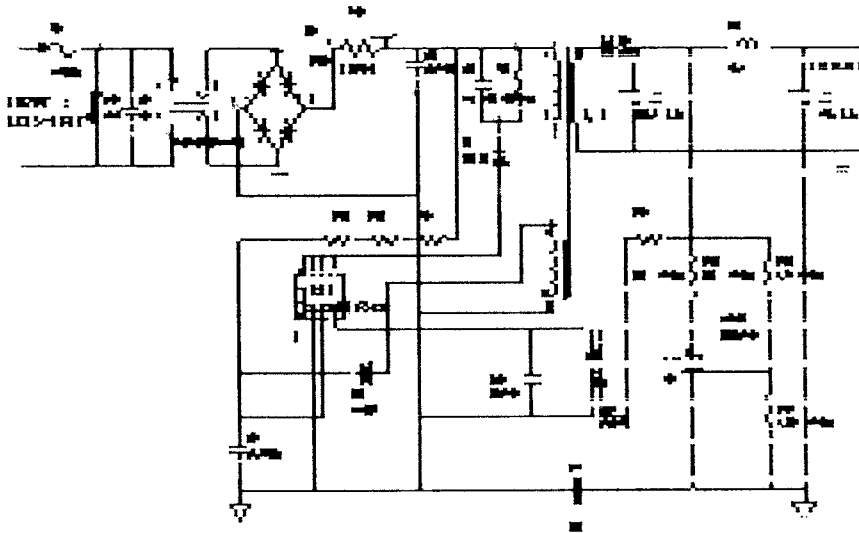


그림 5. EUT로 쓰인 SMPS 회로도

V. 전도성 노이즈를 측정하기 위한 실험방법 및 결과

1. 실험방법

본 논문에서는 전도성 노이즈를 측정하기 위하여 CISPR 16-1의 전파방해와 내성의 측정장치 및 방법에 관한 규정에 적합하게 실험하였다.

측정장치로 사용한 LISN 은 $50\Omega/50\mu\text{H}$ V-네트워크(ESH Z-Z5)를 사용하였으며, ROHDE & SCHWARZ사의 Test Receiver(ESH 3)와 Spectrum Monitor로 EZM를 사용하였다. 측정범위는 9 kHz - 30 MHz 이다.

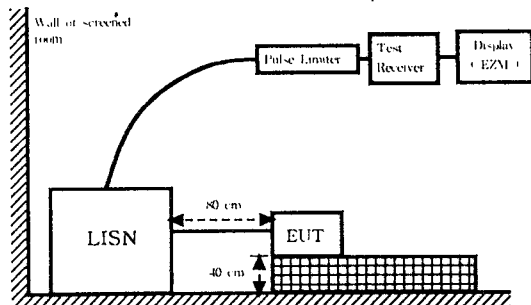


그림 6. CISPR. 16-1 규격에 의한 실험 모형도.

EUT 로 쓰인 SMPS 의 전도성 노이즈를 측정하기 위하여 전원 필터 부분인 C01(Across the line

capacitor), L1(Common mode 초코코일), C11(Line by pass capacitor)을 제거한후 실험하였다. 각 소자는 노이즈의 mode와 주파수에 따라 common 초코코일이 저역의 common mode 노이즈를 제거하고 across the line capacitor가 저역의 normal mode 노이즈를 제거, 또 Line by pass capacitor가 고역의 common mode 와 normal mode 노이즈를 제거하는 역할을 하는데 이들 각 소자가 노이즈 개선에 어떻게 영향을 미치는지를 고찰해 보고자 한다.

2. 실험결과

a) 전원필터(C01, L1, C11) 제거 시의 잡음특성

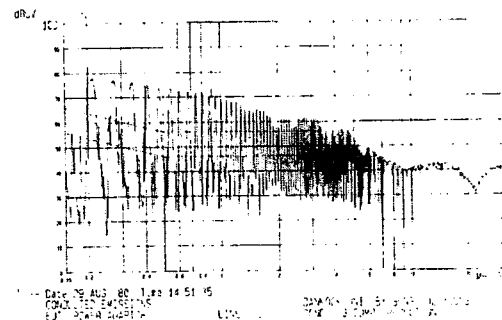


그림 7. C01, L1, C11 제거시의 LIVE 단자의 잡음특성

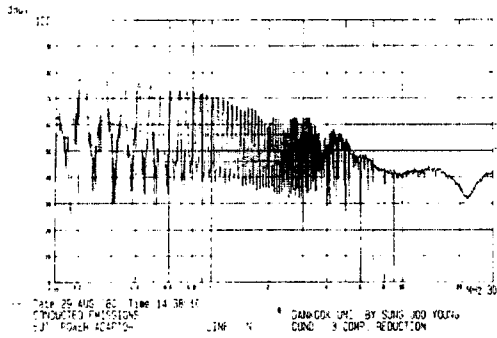


그림 8. C01, L1C11 제거시의 NEUTRAL 단자의 잡음특성

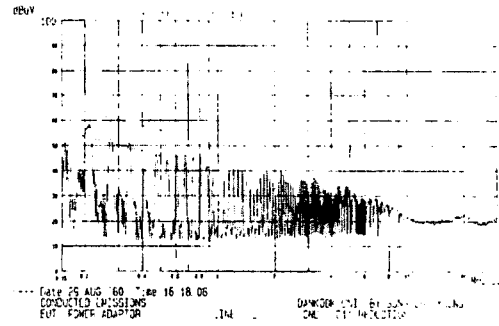


그림 11. C11만유 제거시의 LIVE 단자의 잡음 특성

b) C01, C11 만을 제거한 잡음특성

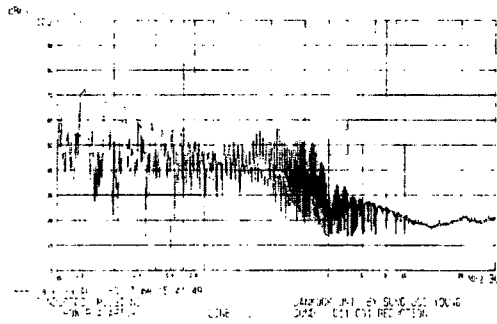


그림 9. C01, C11유 제거시의 LIVE 단자의 잡음특성

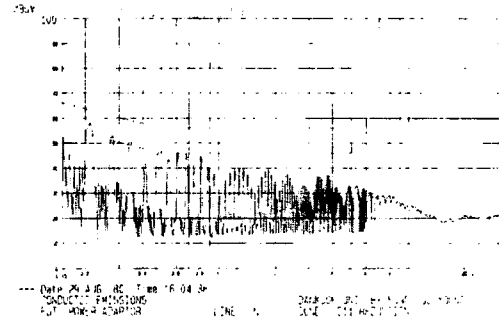


그림 12. C11만유 제거시의 NEUTRAL 단자의 잡음 특성

d) 전원필터 삽입시의 잡음특성

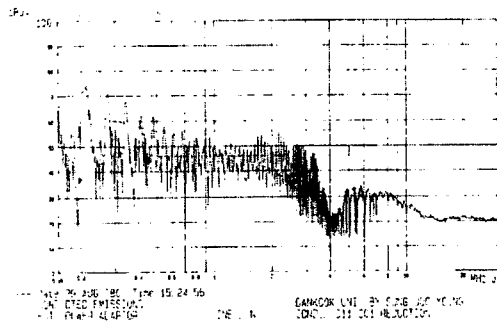


그림 10. C01, C11유 제거시의 NEUTRAL 단자의 잡음특성

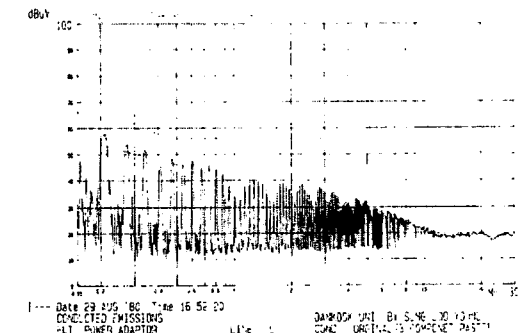


그림 13. 전원필터 삽입시의 LIVE 단자의 잡음특성

c) Line by pass capacitor (C11) 가 없을 때의 잡음특성

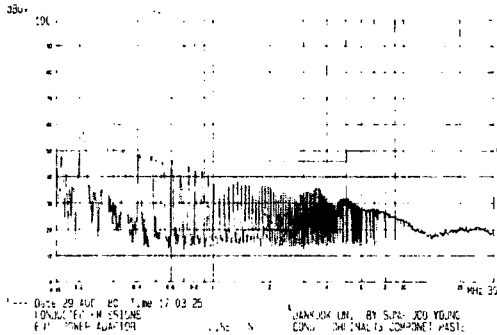


그림 14. 선원필터 삽입시의 NEUTRAL 단자의 잡음특성

L1 만을 사용하였을 경우에는 0.15 MHz - 약 20 MHz 주파수 대역에서 NOISE 감소를 보였으며, C01. 을 삽입하여 중간대역 주파수에 효과적인 잡음 감소를 확인할 수 있었지만, Line by capacitor(C11)을 삽입 전후 결과는 아주 미소한 감소만을 얻었다. 전반적으로 전원필터를 사용함으로써 AC 라인의 노이즈와 양라인과 ground 간에 생기는 common mode 노이즈를 동시에 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

VI. 결론

SMPS에서 노이즈 발생형태 및 원인을 분석하여 대책기술을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 스위칭 주파수의 체배로 피크치가 나타나는 것은 스위칭 주파수 및 그의 고조파 성분에 의한 것이므로 Line Filter 를 사용하여 전체적인 Level 저하 효과를 나타낼 수 있다. 둘째, 450 kHz- 1 MHz 사이의 광대역 노이즈 현상은 정류다이오드에서 발생하는 잡음이므로 다이오드 바로 전단에 Bypass Capacitor를 삽입함으로써 노이즈 제거효과를 얻을 수 있다.

위의 결론으로 SMPS 설계시에 스위칭 소자로 필요 이상의 고속 스위칭 및 대용량 사용을 배제한다면 전반적인 노이즈 감소효과를 얻을 수 있을 것이다.

이상에서 실제 SMPS에서 측정되는 EMI 노이즈 원인을 분석, 실험하여 효과적인 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

[참고문헌]

[1] 전파장해 측정방법에 관한 연구(CISPR 규격 번역판), 전파연구소 및 한국전자과학기술, Pub 11,13,22,

1997.

[2] 황상열, 김영래, "SMPS의 EMI 노이즈 대책 기술," 전기학회지, v. 41, pp. 23-34, 1992.

[3] 김성한, "주거 배선 선로에서의 전자기기에 의한 전도성 EMI 해석," 동국대, 1992.

[4] 김영래, "전자파 노이즈의 측정과 대책," 電子部品, 1990. 12.

[5] 이호영, "SMPS전원선에서의 노이즈 대책," 電子部品, 1991. 4.

[6] 전기전자 회로상의 NOISE 방지 대책기술, 과학기술정보연구소, pp. 29-70, 1991.