

무전극형광램프 ULTRA 150W용 EMI 필터에 대한 연구

(A Study on EMI Filters' construction of 150W Electrodeless fluorescent lamp
ULTRA's Ballasts)

박석인* · 한수빈 · 유승원 · 송유진 · 정학근 · 정봉만
(S. Park · S. Han · S. Yu · Y. Song · H. Jeong · B. Jung)

Abstract

Offline switching power supplies have high voltage and high current switching waveforms that generate Electromagnetic Interference(EMI) in the form of both conducted and radiated emissions. Consequently, all off-line power supplies must be designed to attenuate or suppress EMI emissions below commonly acceptable limits. Electrodeless fluorescent lamp's ballasts have AC/DC flyback converter, so we must control the EMI emissions.

1. 서론

미국의 FCC에서 1980년대 초에 EMI에 대한 규제가 시행된 후, 국제무선장해특별위원회(CISPR)나 국제전기통신연합 등에서 전자파에 대한 규제를 시행하고 있다.

무전극 형광램프시스템은 무전극 형광램프와 무전극 형광램프에 플라즈마 방전을 일으키기 위한 인버터로 구성되고, 이 인버터의 전원은 상용전원에서 플라이백 컨버터를 사용하여 만든 DC 전원을 쓰게 된다. 플라이백 컨버터와 인버터는 고주파로 동작하여, 이에 따라 EMI 노이즈가 발생하게 된다. 이와 같은 EMI 노이즈는 다른기기에 오작동이나 성능 저하 등을 영향을 주므로 EMI의 양을 줄이는 대책이 필요하다.

이 논문에서는 EMI 노이즈 중 상용전원단에 영향을 미치는 conducted noise에 대한 EMI필터 구성에 대해 알아보고, KSC 0262를 만족시키는 ULTRA 150W 무전극형광램프시스템 안정기 EMI필터부를 설계하여 타사 상용제품과 비교측정시험을 한 결과를 보여준다.

2. 플라이백 컨버터에서의 전자파 발생요인 및 전자파 노이즈의 측정

일반적인 플라이백 컨버터의 구성은 그림 1과 같다.

플라이백 컨버터는 다이오드 브리지 정류회로와 벨크 콘덴서로 구성된다. 상용전원의 피크 전압이 콘덴서의 전압 레벨보다 커지는 경우에 브리지 정류회로의 입력 다이오드가 동작하여 콘덴서에 리플 전류가 흐르게 된다.

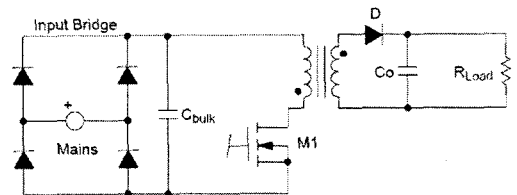


그림 1. 일반적인 플라이백 컨버터의 구성도

콘덴서를 통해 흐르는 전류는 플라이백 컨버터의 ON 시 드레인 전류가 된다. 콘덴서는 그림 1에서와 같이 완전한 소자가 아니고 그림 2에서와 같이 기생 인덕턴스(ESL)과 기생 저항(ESR)이 직렬로 연결된 구조이다. 따라서 콘덴서는 저주파에서는 용량성의 성질을 중간주파수에서는 저항성질을 고주파에서는 유도성의 성질을 가지게 된다.

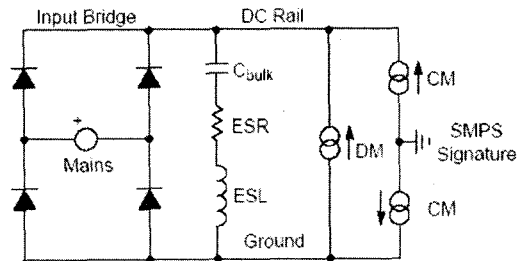


그림 2. 플라이백 컨버터에서의 EMI 발생요인

그림 2에서와 같이 플라이백 컨버터에서는 3가지의 전자파전류발생 요인이 생긴다. 하나는 위상이 반전된

차동모드 전류이고 나머지는 DC rail과 Ground로 흐르는 동상모드 전류이다. 차동모드 전류는 기생인덕턴스와 기생 저항으로 인해 콘덴서의 필터링이 약해져서 발생하고, 동상모드 노이즈의 주요인은 스위치의 드레인에서 발생하는 높은 dV/dt 에 의해 생기는 displacement 전류에 의한 것이다.

플라이백 컨버터의 전자파발생 요인의 예는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보는 바와 같이 트랜스포머의 1차측 전류와 컨버터 스위치 전압, 2차측 전류와 다이오드 전압에 나타나는 파형들이 중첩되어 EMI를 발생 시키게 된다.

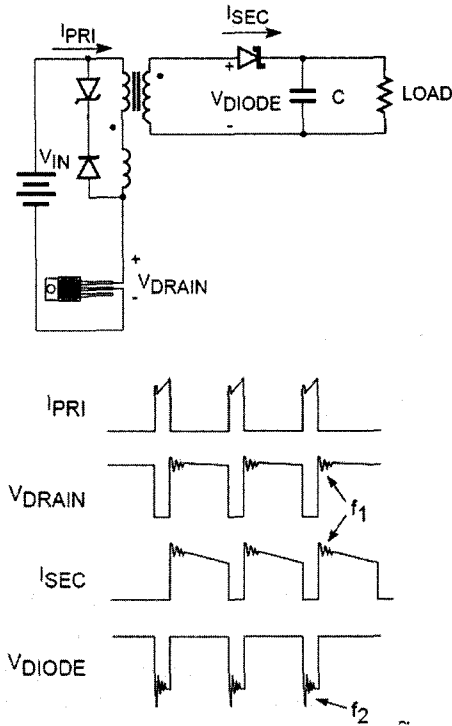


그림 3. EMI를 발생시키는 일반적인 플라이백 컨버터의 예

위의 각 성분들은 다음과 같이 EMI를 발생시킨다.

1차측 전류(I_{PRI})는 컨버터 스위치가 ON 시에 흐르게 된다. 트랜스포머의 1차 전류는 입력 전압, 1차측 인덕턴스, 스위칭 주파수, 듀티사이클에 의해서 정해진 피크치로 급격히 상승하게 된다. 이 전류는 주파수 영역에서 스위칭주파수의 기본파와 하모닉스 성분으로 표시되고, 상용AC전원과 컨버터 입력측을 순환하는 EMI 차동모드 전류를 발생시킨다. 또한 PCB보드상에서 순환전류패스가 만들어지면 방출된 자기장에 의해서 EMI 동상모드 전류도 발생하게 된다.

스위치의 드레인전압(V_{Drain})의 특징은 높은 dV/dt 변화이다. 이 전압은 기생성분들(누설 인덕턴스, 스위치

출력 캐패시턴스, 트랜스포머 캐패시터 등)에 의해 3MHz에서 12MHz 사이의 주파수대에서 부가적인 전압 피크와 ringing 현상을 발생시킨다. 스위치의 드레인, 트랜스포머의 1차측과 드레인 노드에 연결된 클램프 다이오드 등은 트랜스포머의 캐패시터 성분이나, stray 캐패시터 등을 통해 접지로 displacement 전류가 흐르게 된다. 이 displacement 전류는 다시 line과 neutral 컨덕터를 통해 스위치의 드레인으로 EMI 동상모드 전류를 발생시킨다.

다이오드 전압 파형(V_{DIODE})의 특징은 빠른 전압 변화와 빠른 상승, 하강 시간이다. 트랜스포머의 누설 인덕턴스와 다이오드 캐패시턴스같은 기생 회로 성분은 20MHz에서 30MHz 사이의 주파수대에서 부가적인 전압 피크와 ringing을 발생시킨다. 이 다이오드 전압 파형은 트랜스포머의 캐패시터 성분이나, stray 캐패시터를 통해 접지로 displacement 전류가 흐르게 된다.

2차측 전류(I_{SEC})는 컨버터 스위치가 OFF시 흐르게 된다. 전류는 피크치에서 시작하여 2차측 인덕턴스와 출력 전압에 의해 결정되는 비유에 의해 선형적으로 감소하게 된다. 이 전류 파형은 주파수 영역에서 스위칭 주파수의 기본파와 하모닉스 성분으로 표시된다. 부가적인 ringing 성분이 앞에서 설명된 스위치의 드레인전압에 의해 중첩된다. 또한 PCB보드상에서 순환전류패스가 만들어지면 방출된 자기장에 의해서 EMI 동상모드 전류도 발생하게 된다.

전자파노이즈의 측정은 각 상용전압의 임피던스가 다르므로 국제적으로 통일된 reference 임피던스를 규정해 놓았다. 이 임피던스는 국제무선장해특별위원회(CISPR) 16에 규정된 Line Impedance Stabilization Network (LISN)에 의해 유지된다. LISN은 측정하고자하는 주파수영역에서 50Ω의 임피던스를 제공하고 원치 않는 노이즈를 제거해준다.

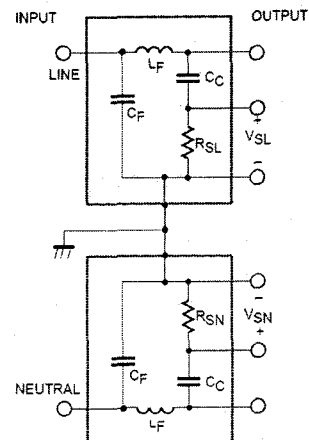


그림 4. Line Impedance Stabilization Network

그림 4의 LISN의 L_F 와 C_F 로 구성된 필터는 라인 주파수 전류는 통과시키고 플라이백 컨버터에서 방출된 고주파의 conducted 전류는 C_C 와 R_S 로 흐르게 한다. 스펙트럼 분석기나 EMI 리시버는 R_{SL} 과 R_{SN} 에 걸리는 전압 V_{SL} 과 V_{SN} 의 크기로 conducted 전류를 측정한다.

3. 전자파 차단 방법

전자파 차단 필터는 인덕터와 캐패시터의 조합으로 간단히 구현할 수 있다.

EMI 필터에서 사용되는 캐패시터는 X, Y의 두 그룹으로 정의되어진다.

X 캐패시터는 차동모드를 제거하기 위해 상용 전원단에 붙이며 EN 132400에서 표1과 같이 분류된다.

표 1. X 캐패시터의 분류

Subclass	Peak Pulse Voltage In Service	IEC-664 Installation Category	Application	Peak Impulse Voltage V_p applied before Endurance Test
X1	> 2.5 kV ≤ 4.0 kV	III	High Pulse Application	$C \leq 1.0 \mu F$ $U_p = 4 \text{ kV}$
X2	≤ 2.5 kV	II	General Purpose	$C \leq 1.0 \mu F$ $U_p = 2.5 \text{ kV}$
X3	≤ 1.2 kV	-	General Purpose	None

Y 캐패시터는 동상모드 제거에 사용되며 상용전원단이나 브리지 정류기 출력에서 사시, 실드 또는 접지와 연결된다. Y 캐패시터의 최대값은 각 어플리케이션이 가지고 있는 최대 누설 전류량(0.25mA-3.5mA)에 규제를 받는다. 표 2는 EN 132400에서 규정하는 분류이다.

표 2. Y 캐패시터의 분류

Subclass	Type of Insulation Bridged	Rated Voltage (VAC)	Test Voltages for Quality Approval, Periodic and Lot-by-Lot Testing	Peak Impulse Voltage V_p applied before endurance
Y1	Double Insulation or Reinforced Insulation	≤ 250 V	4000 VAC	8.0 kV
Y2	Basic Insulation or Supplementary Insulation	≥ 150 V ≤ 250 V	1500 VAC	5.0kV
Y3	Basic Insulation or Supplementary Insulation	≥ 150 V ≤ 250 V	1500 VAC	none
Y4	Basic Insulation or Supplementary Insulation	< 150 V	900 VAC	2.5 kV

간단한 EMI 차단회로의 구성은 그림 5와 그림 6과 같다. 차동모드 차단에는 그림 5와 같이 두 개의 인덕터와 그사이에 X 캐패시터 하나로 구성된다. 동상모드 제거에는 상호결합된 인덕터와 Y 캐패시터로 구성된다.

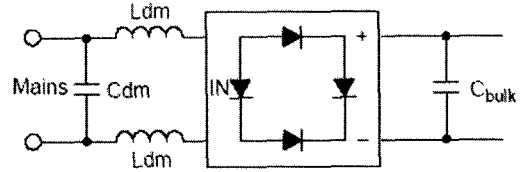


그림 5. 차동모드 EMI 차단 회로

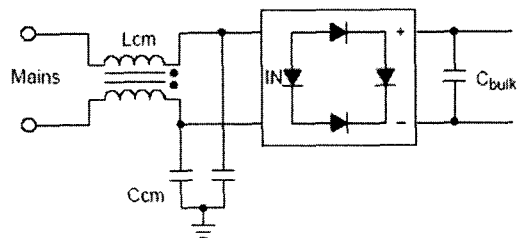


그림 6. 동상모드 EMI 차단 회로

차동 모드 인덕터는 보통 1mH이하의 값을 가진다. 그러나, 동상 모드 인덕터는 Y 캐패시터로 흐를수 있는 전류값이 제한되므로, Y 캐패시터의 크기는 수 nF를 넘지 않으며 따라서 보통 높은 값(1mH - 50mH)을 가진게 된다. 또한 동상 모드 인덕터는 전선을 감을 때 같은 방향으로 감겨 되어 차동 전류가 생기지 않게 되고, 인덕터의 누설 인덕턴스 성분이 충분한 값을 가지게 되면 차동 모드 제거에도 사용할 수 있다.

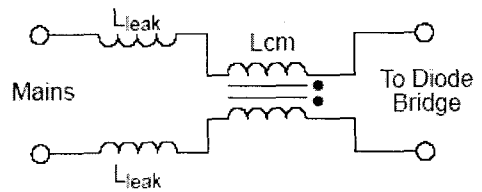


그림 7. 동상모드 인덕터의 차동모드 사용

안정기 제작에서 어떤 경우는 접지로 Y 캐패시터를 연결할 수 없는 경우가 있다. 이 경우는 Y 캐패시터를 그림 8에서와 같이 트랜스포머의 1차측과 2차측 ground 사이에 연결하면 된다.

차동모드 전류는 저주파대에서 발생하는 반면에 동상모드는 고주파대에서 발생한다. 또한 차동모드 전류는 대부분 스위치의 드레인 전압의 높은 dV/dt에 의해서 발생하므로 예측가능하나 동상모드의 경우는 다양한 stray 패스에 의해서 발생하므로 예측가능하지 않다.

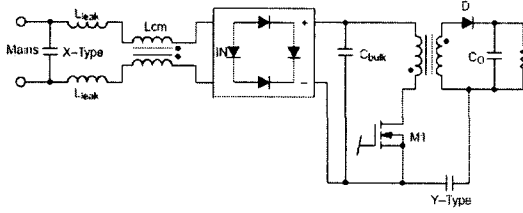


그림 8. 접지를 사용하지 못할 경우의 동상모드 Y 캐패시터의 연결

4. ULTRA 150W 안정기 EMI 필터부 설계 및 적용결과

무전극 형광램프 시스템 ULTRA는 PFC단에서 발생하는 EMI보다, 안정기가 동작하는 메인주파수대인 200kHz대에서 더 많은 EMI가 발생한다. 기본적으로 PFC단의 주파수가 약 100kHz대에서 동작하므로 메인 주파수는 PFC의 EMI 필터만 잘 설계되면 자동으로 해결될 수 있다.

표 3. EMI 전압의 한계값(KSC 0262 B클래스)

주파수 범위 (MHz)	한계값(dBuV)	
	준첨두값	평균값
0.15~0.5	66~56	56~46
0.5~5	56	46
5~30	60	50

그림 9는 ULTRA 150W에 적용된 EMI 필터부이다. 차동모드 필터부와 동상모드 필터부를 동시에 적용하였다. 차동모드, 동상모드의 cutoff 주파수는 10kHz 정도에서 동작하도록 설계하여 60Hz 성분에 영향을 미치지 않고 EMI만 줄이도록 설계되었다.

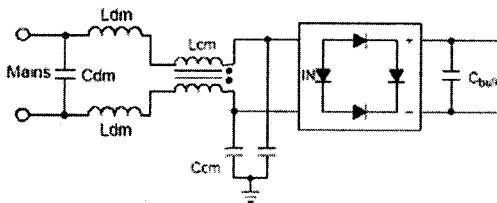


그림 9. ULTRA 150W 안정기 EMI 필터부

기존 상용제품과의 성능을 비교하기 위해서 A사 150W 제품과 EMI 비교측정을 해 보았다. 그림 10과 그림 11은 PFC단의 스위치에서 발생하는 EMI를 비교 측정한 결과이다.

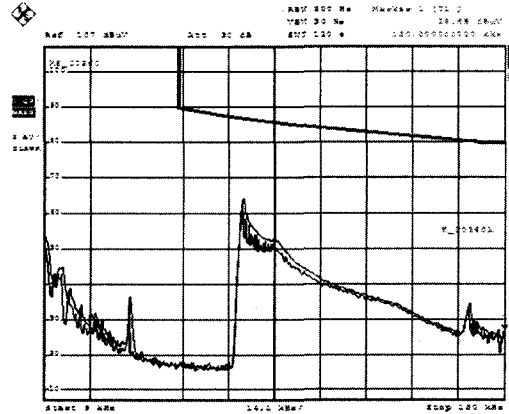


그림 10. ULTRA 150W EMI 측정 시험(9kHz~150kHz)

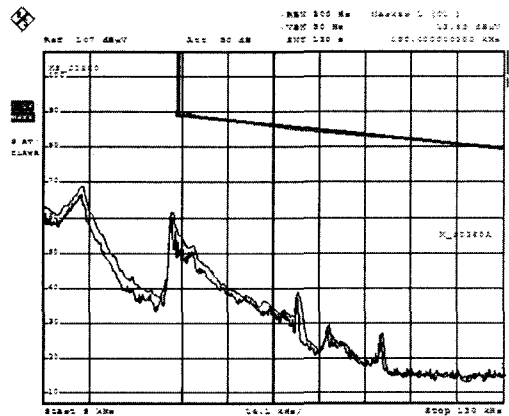


그림 11. A사 150W EMI 측정 시험(9kHz~150kHz)

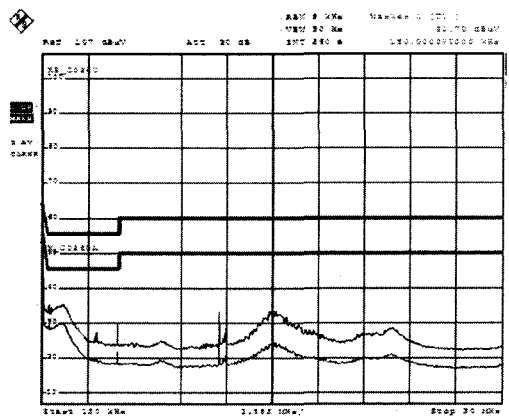


그림 12. ULTRA 150W EMI 측정 시험(150kHz~30MHz)

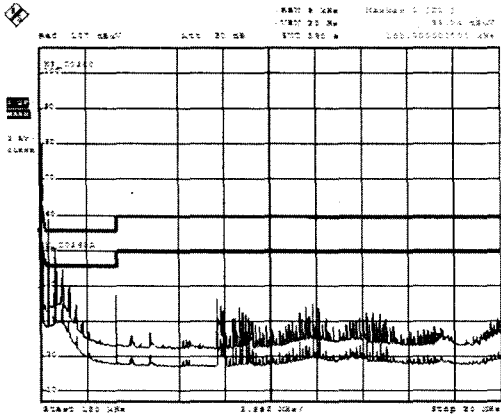


그림 13. A사 150W EMI 측정 시험(150kHz~30MHz)

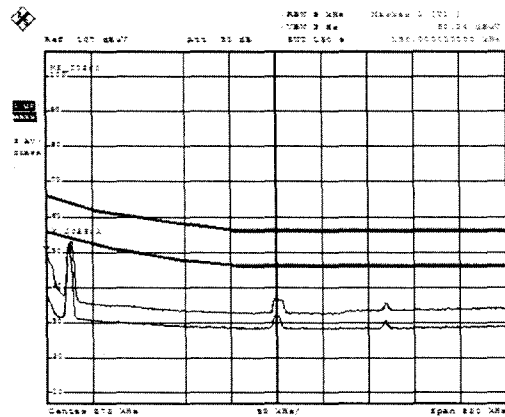


그림 14. ULTRA 150W EMI 측정 시험(150kHz~1MHz)

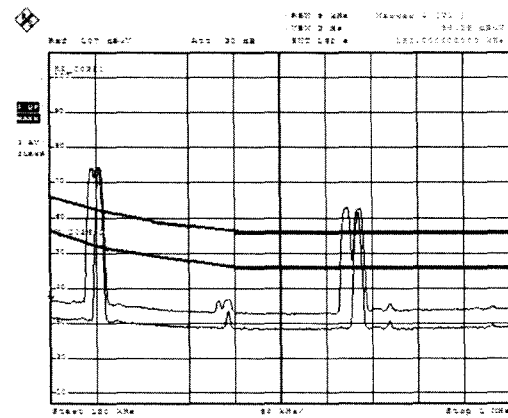


그림 15. A사 150W EMI 측정 시험(150kHz~1MHz)

그림 12와 그림 13은 KSC 0262에 의거한 주파수 범위에서의 EMI 비교측정결과이다. ULTRA 무전극형광램프시스템과 A사 시스템 모두 1MHz

이상의 고주파에서는 모두 기준을 만족하고 있으나 1MHz이하에서는 A사 제품이 기준을 넘어가고 있다. 이 부분을 확대한 것이 그림 14와 그림 15로 150kHz~1MHz 주파수 범위에서의 EMI 측정결과이다. ULTRA시스템은 메인주파수인 200kHz부근이 높은 값을 나타내었으나, 준첨두값과 평균값 모두 한계치를 넘지 않았으나, A사 제품은 메인주파수 250kHz부근과 3고조파인 750kHz대에서 준첨두값과 평균값 모두 한계치를 초과하는 결과를 보였다.

5. 결론

이 논문에서는 EMI가 발생하는 요인과 그 대처방안인 EMI필터부를 플라이백 컨버터를 예를 들어 설명하였으며, 무전극 형광램프 시스템 ULTRA에 적용하여 KSC 0262를 만족하는 EMI 필터를 구현하였다.

참고 문헌

- [1] TOPSwitch power supply design techniques For EM and Safety Application Note AN-15
- [2] Conducted EMI filter design for the NCP1200
- [3] FCC Harmonizes Its ITE Rules with C.I.S.P.R. Requirements, Compliance Engineering, PP 7, Jan/Feb, 1994.
- [4] European Standard EN55022
- [5] "Limits and Methods of Measurement of Radio Interference Characteristics of Information Technology Equipment", C.I.S.P.R Publication 22, 1993.
- [6] C. BASSO, "Spice predicts differential conducted EMI from switching power supplies", EDN Feb. 3, 1997.