

소비자 가전 제품에 적용된 와이드 밴드갭 소자 기반 오프라인 파워 서플라이의 EMI 해석과 설계

장진행
엘지전자

Analysis and Design for EMI of Wide Bandgap Device Based Offline Power Supply Built into Consumer Electronics

Jang Jinhaeng
LG Electronics

ABSTRACT

OLED TV는 오프라인 파워 서플라이를 내장하며, 세 개의 전력변환 회로들로 구성된다. 고효율을 달성하기 위하여 각 회로의 스위칭 소자로서 실리콘 카바이드 소자와 갈륨 나이트라이드 소자와 같은 전력용 와이드 밴드갭 소자들이 적용되었다. 본 연구에서는 500 W 출력의 오프라인 파워 서플라이의 시간 영역에서의 동작 특성과 함께 대응하는 전도성 노이즈와 방사성 노이즈를 각각 확인한다. 해석 결과에 기반하여 EMI 규격을 만족시키기 위한 설계 대책을 제시한다.

1. 서론

OLED TV와 같은 소비자 가전 제품은 CISPR 32 Class B의 EMI 규격을 만족시켜야 한다. OLED TV의 파워 서플라이는 고조파 전류 규격을 만족시키기 위한 PFC 회로가 입력단에 설계되며, 시스템에 요구되는 전원을 공급하기 위한 LLC 직렬 공진형 컨버터들이 PFC 회로 뒤에 병렬로 연결되어 있다. OLED TV의 전체적인 전력 공급 회로 구성이 그림 1에 주어진다. 효율을 개선하고 전력밀도를 높이기 위해서 각 회로에 전력용 와이드 밴드갭 소자들이 적용되었다. PFC 회로에는 실리콘 카바이드 스위칭 소자가 적용되었고, LLC 공진형 컨버터에는 갈륨 나이트라이드 스위칭 소자가 적용되었다. 이들은 기존 실리콘 스위칭 소자보다 빠른 우수한 스위칭 특성을 나타내며, 이러한 특성은 동상 모드 전도 노이즈와 방사 노이즈에 각각 영향을 준다. 뒷장에서는 이러한 스위칭 소자의 동작 특성을 확인하고 전도성 노이즈와 방사성 노이즈에 대한 영향을 실험적으로 확인한다.

2. 전도성 노이즈의 해석과 필터 설계

2.1 PFC 회로의 전도 노이즈 특성

파워 서플라이의 앞단에 위치한 Interleaved 방식의 PFC 회로의 동작 특성이 측정되었다. 그림 2는 서로 다른 입력 전압 조건에서의 시간 영역 동작 파형을 보여준다. 입력 전압 110 V 조건에서 전류의 크기가 높고, 입력 전압 230 V 조건에서는 동작 주파수가 측정 대역의 시작 주파수인 150 kHz보다 높은 주파수에서 동작하고 있다. 그림 3과 4의 전도 노이즈 측정 결과를 비교 할 때, 높은 리플 전류 특성을 나타내는 낮은 입력

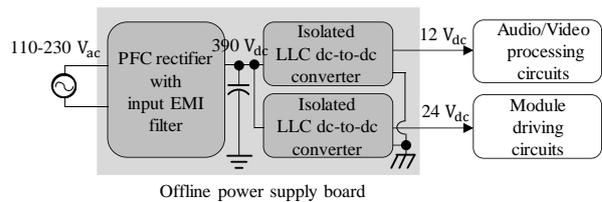


그림 1 OLED TV 전원 구성도
Fig.1 Overall system diagram of OLED TV

전압 조건에서 노이즈 성분이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 3의 차동 모드 노이즈 성분이 그림 4의 동상 모드 노이즈 성분보다 높은 노이즈 크기를 나타낸다.

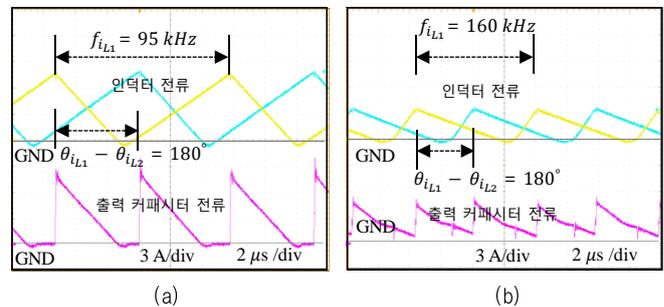


그림 2 인터리브드 PFC 회로의 동작 파형 (a) 입력 전압 110 V (b) 230 V
Fig.2 Operating waveforms of interleaved PFC rectifier



그림 3 인터리브드 PFC 회로의 차동 모드 노이즈 (a) 입력 전압 110 V (b) 230 V
Fig.3 Differential-mode noise of interleaved PFC rectifier

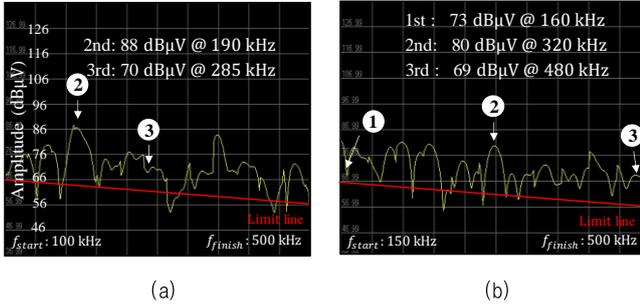


그림 4 인터리브드 PFC 회로의 동작 모드 노이즈 (a) 입력 전압 110 V (b) 230 V
Fig.4 Common-mode noise of interleaved PFC rectifier

2.2 LLC 공진형 컨버터 회로의 전도 노이즈 특성

LLC 공진형 컨버터의 1차측 하프브리지 회로에는 갈륨 나이트라이드 스위칭 소자가 적용되어 있다. 그림 5 (a)는 시간 영역에서 측정된 공진 전류 파형을 보여주며, 그림 5 (b)는 스위칭 과도 구간의 상승 시간과 동상 모드 전류의 크기가 측정되었으며, 기존 실리콘 소자의 과도 구간 상승 시간 대비 매우 빠른 것을 알 수 있다. 그림 3에서 확인한 것과 같이 PFC 정류 회로에서 차동 모드 노이즈 성분이 높게 나타난 것과 달리, LLC 공진형 컨버터에서는 동상 모드 노이즈가 차동 모드 노이즈보다 높은 것을 그림 6으로부터 알 수 있다. 그림 7에서는 파워 서플라이를 구성하는 세 개 컨버터의 전류 파형과 각 차동 모드 노이즈 성분을 비교하여 나타낸다. 반면, 그림 8에서는 세 개 컨버터의 전압 파형과 각 동상 모드 노이즈 성분을 비교하여 나타낸다. 그림 7과 8의 전도 노이즈 특성을 기반으로 EMI 입력 필터가

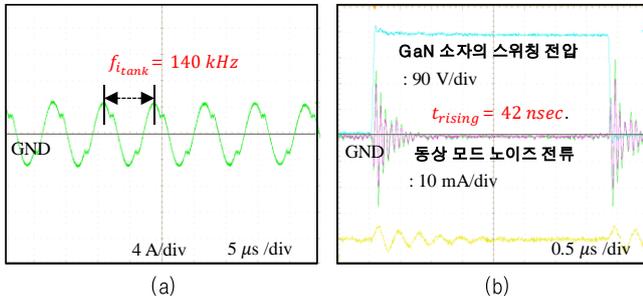


그림 5 LLC 공진형 컨버터의 동작 파형 (a) 공진 전류 (b) 동상 모드 노이즈 전류
Fig.5 Operating waveforms of LLC resonant converter

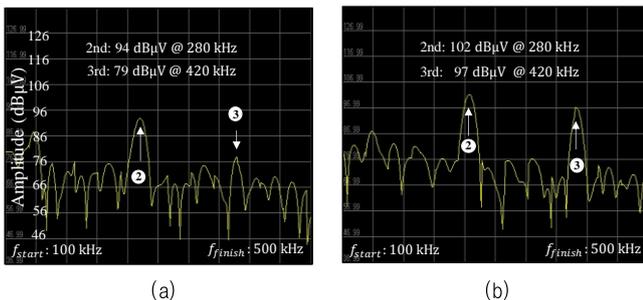


그림 6 LLC 공진형 컨버터의 전도 노이즈 (a) 차동 모드 노이즈 (b) 동상 모드 노이즈
Fig.6 Conducted noises of LLC resonant converter

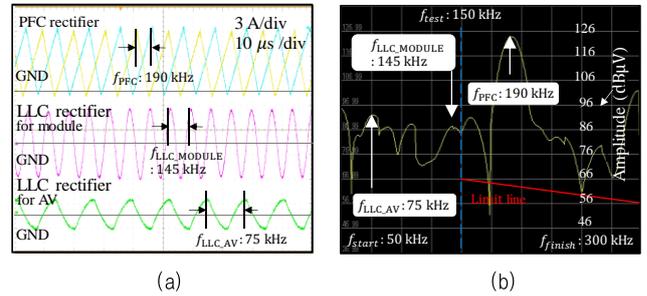


그림 7 세 가지 컨버터의 동작 주파수에 따른 차동 모드 노이즈 특성 (a) 동작 전류 파형 (b) 차동 모드 노이즈
Fig.7 Operating currents and corresponding differential mode noises of three converters

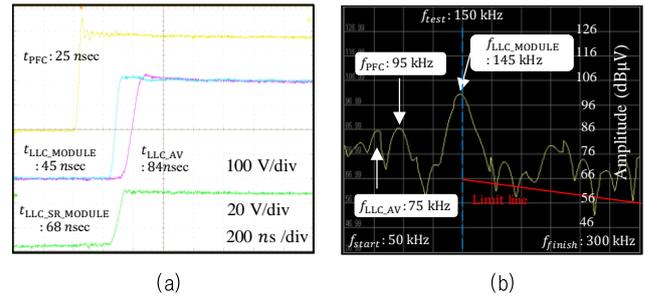


그림 8 세 가지 컨버터의 동작 주파수에 따른 동상 모드 노이즈 특성 (a) 스위칭 전압 파형 (b) 동상 모드 노이즈
Fig.8 Transient rising time and corresponding common mode noises of three converters

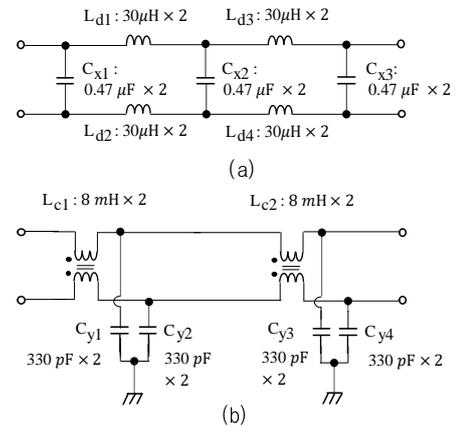


그림 9 EMI 입력 필터의 설계 (a) 차동 모드 필터 (b) 동상 모드 필터
Fig.9 Insertion losses of EMI input filter

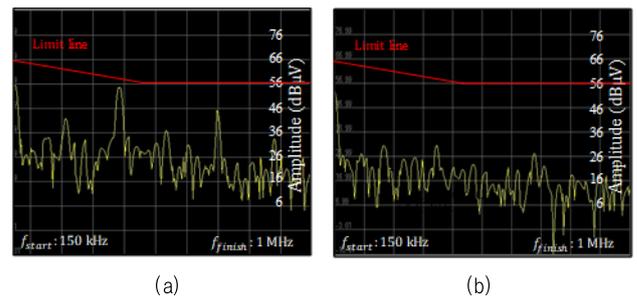
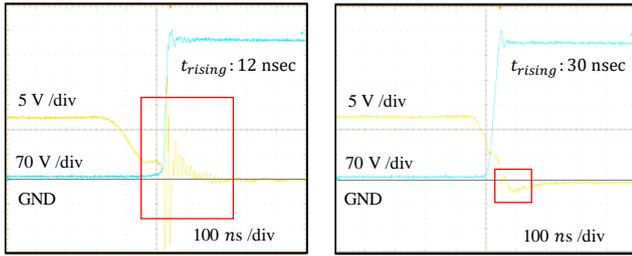


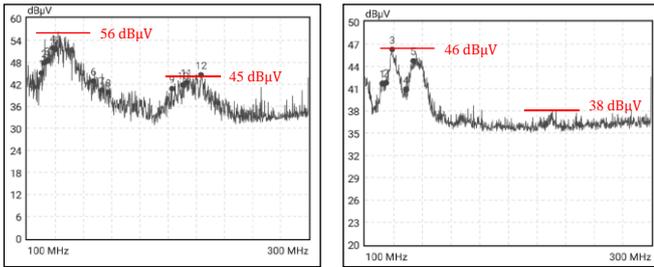
그림 10 EMI 입력 필터 적용 후 전도 노이즈 (a) 차동 모드 노이즈 (b) 동상 모드 노이즈
Fig.10 Conducted noise with EMI input filter



(a) (b)

그림 11 PFC 회로에 적용된 스위칭 소자에 따른 노이즈 전압 특성 (a) 실리콘 기반 MOSFET (b) 실리콘 카바이드 기반 MOSFET

Fig.11 Switching noise behavior depending on the switching devices



(a) (b)

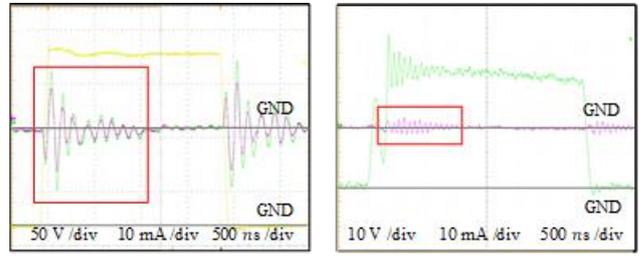
그림 12 PFC 회로의 스위칭 소자에 따른 방사 노이즈 (a) 실리콘 기반 MOSFET (b) 실리콘 카바이드 기반 MOSFET

Fig.12 Radiated noises depending on the applied switching devices

설계되었으며, 그림 9에 각각 나타내었다. 그림 10에 보여준 것처럼 EMI 필터를 적용한 후 규격 측정 주파수 범위에서 리미트를 만족하는 것을 알 수 있다.

3. 방사성 노이즈의 해석과 필터 설계

이전 장에서는 와이드 밴드갭 소자가 적용된 파워 서플라이의 전도 노이즈를 확인하였으며, 이번 장에서는 방사 노이즈의 특성을 확인한다. 그림 11에 보여진 것처럼 PFC 회로에 실리콘 카바이드가 적용된 경우, 종래 실리콘 소자가 적용된 경우 대비 우수한 스위칭 특성을 나타내며 오실레이션 스위칭 노이즈를 거의 발생시키지 않는 것을 알 수 있다. 그림 12에서 확인된 것과 같이, 실리콘 카바이드를 적용한 경우, 낮은 방사 노이즈를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그림 13에는 LLC 공진형 컨버터의 하프브리지에 적용된 갈륨나이트라이드 소자의 스위칭 동작 시에 발생하는 높은 동상 모드 노이즈 전류를 나타내고 있다. 이러한 전류는 방열판 커핑링 매체로 하여 노이즈를 방사하며, 이를 개선하기 위하여 쉴드가 소자 패키지 상측에 적용되었으며, 개선 후 10 미터 챔버에서 측정된 방사 노이즈에 대한 결과가 그림 14에 나타난다. 전 대역에서 방사 노이즈의 리미트를 만족하고 있는 것을 알 수 있다.



(a) (b)

그림 13 LLC 공진형 회로의 스위칭 노이즈 전류 (a) 갈륨나이트라이드 기반 트랜지스터 적용 하프 브리지 회로 (b) 실리콘 소자 기반 출력 동기 정류 회로

Fig.13 Switching noise current of LLC resonant converter

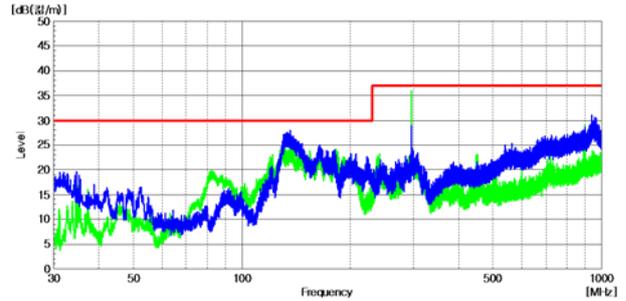


그림 14 파워 서플라이의 방사 노이즈

Fig.14 Radiated noise of power supply

4. 결론

슬림 디자인 강조형 OLED TV에 적용되는 고효율, 고집적 오프라인 파워 서플라이를 구현하기 위하여, 이를 구성하는 세가지 전력용 컨버터들의 스위칭 소자로서 실리콘 카바이드 소자와 갈륨 나이트라이드 소자와 같은 우수한 스위칭 특성을 갖는 와이드 밴드갭 소자가 각각 적용되었다. 와이드 밴드갭 소자가 적용된 전력용 컨버터들의 우수한 스위칭 동작 특성을 확인하였으며, 각 전도성 노이즈와 방사성 노이즈의 특성을 확인하였다. 해석에 기반한 EMI 입력 필터 설계와 방사 쉴드를 각각 대책으로 적용함으로써 EMI 규격을 모두 만족하는 파워서플라이 설계를 달성하였다.

이 논문은 엘지 전자 HE 본부 연구소 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] J. Jang, "Silicon carbide-based digitally controlled zero voltage switching dual-phase interleaved totem-pole PFC rectifier operating at high frequency," *Journal of Power Electronics*, vol. 23, no. 2, pp. 335-344, 2023. DOI: 10.1007/s43236-022-00582-z.

[2] J. Jang, "LLC resonant DC-to-DC power converter with synchronous rectifiers using high- and medium-voltage gallium nitride-based transistors," *Journal of Power Electronics*, vol. 22, no. 8, pp. 1279-1289, 2022. DOI: 10.1007/s43236-022-00486-y.