

능동 EMI 필터를 활용한 TV 전원용 SMPS의 EMI 수동 소자 축소 평가 및 실험 연구

Experimental Study of Active EMI Filters for the Reduction of EMI Passive Elements in SMPS for TV Power

이 정 호 · 홍 영 기 · 나 완 수

Jung-Ho Lee · Young-Gi Hong · Wan-Soo Nah

요 약

선행 연구에서 CM 능동 EMI 필터와 DM 능동 EMI 필터의 효과에 대하여 분석되었다. 본 논문의 목적은 TV 전원용 SMPS에 기존의 각각 연구된 CM 능동 EMI 필터와 DM 능동 EMI 필터가 결합된 구조를 통하여 CM, DM 저감 효과를 확인하기 위한 실험 논문이다. CM, DM이 결합된 능동 EMI 필터를 적용한 후 S_{21} 전달 특성 비교를 통하여 효과를 확인하였고, 전체 SMPS 회로를 적용한 PSIM 시뮬레이션을 통하여 CM, DM 노이즈 성분의 저감 효과를 확인하였다. 500W급 SMPS에 대하여 실험을 통한 CM과 DM의 저감 효과를 확인하였다. 능동 EMI 필터에 적용된 커패시터 성분에 의한 누설 전류 증가분을 실험을 통하여 측정하였으며, 능동 EMI 필터가 소모하는 소비 전력을 확인하였다. 추가적으로 대기 전력에 영향을 주지 않도록 능동 EMI 필터의 전원 공급 방식을 설계하여 적용하였다.

Abstract

In previous studies, the effects of CM active EMI and DM active EMI filters were analyzed. This study aims to experimentally confirm the CM and DM reduction effects by combining the previously researched CM active EMI and DM active EMI filters in SMPS for TV power supplies. After applying the active EMI filter combined with CM and DM, the effects were confirmed by comparing the S_{21} transfer characteristics. The reduction of the CM and DM noise components was confirmed through PSIM simulation applying the entire SMPS circuit. The increase in the leakage current owing to the capacitor component applied to the active EMI filter was experimentally measured, and the power consumed by the active EMI filter was applied. In addition, the power supply method of the active EMI filter was designed and applied such that the standby power remained unaffected.

Key words: Common-Mode Noise, Differential-Mode Noise, Active EMI Filter, SMPS

I. 서 론

TV 제품에 적용되는 SMPS(switched-mode power supply)는 다양한 전력 변환 컨버터들로 구성되며 이 컨버터들

「이 성과는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023R1A2C2008116).」

성균관대학교 DMC공학과(Department of DMC, Sungkyunkwan University)

· Manuscript received May 11, 2023 ; Revised June 1, 2023 ; Accepted September 19, 2023. (ID No. 20230511-030)

· Corresponding Author: Jung-Ho Lee (e-mail: uosgraduate@naver.com)

의 스위칭 소자들은 심각한 고주파 노이즈를 발생시킨다. 최근 SMPS의 소형화 및 고효율화를 위해 스위칭 주파수가 점차 고주파화되고 있는 추세이며, 이로 인해 발생하는 전도성 노이즈는 기기의 오작동 및 전자기기 성능에 더욱 악영향을 끼치게 된다. 따라서 이러한 노이즈를 효과적으로 줄이는 것은 제품의 EMC(electromagnetic compatibility) 테스트 통과와 목적뿐만 아니라, 제품의 고성능화, 고효율화, 소형화 측면에서도 반드시 필요한 일이 되었다. 전도성 노이즈는 공통 모드(CM: common mode) 노이즈와 차동 모드(DM: differential mode) 노이즈로 분류되며, 대부분의 전력 변환 회로에서 전도성 노이즈를 줄이기 위하여 일반적으로 회로에 EMI(electromagnetic interference) 필터를 설계하여 사용한다. 차동 모드 노이즈는 X-커패시터와 CM 초크의 누설 인덕턴스에 의해 차단되고, 공통 모드 노이즈는 Y-커패시터와 CM 초크의 공통 모드 인덕턴스에 의해 차단된다. 공통 모드 노이즈를 줄이기 위해 사용되는 Y-커패시터는 누설 전류 안전 문제로 인하여 그 크기를 늘리는 데 한계가 있다^[1]. 그렇기 때문에 전도성 노이즈를 줄이기 위해서는 다수의 CM 초크와 X-커패시터가 필요하며 이로 인하여 PCB의 넓은 면적이 사용된다. 이러한 다수의 CM 초크와 X-커패시터는 SMPS의 소형화 및 슬림화에 있어 걸림돌이 되며, CM 초크의 경우 전력이 높을수록 발열로 인한 core saturation에 의하여 EMI 성능 감소 및 효율이 저감 되는 문제가 있으며, X-커패시터는 역률을 감소시키는 문제를 발생시킨다.

이러한 수동 EMI 필터 소자들의 문제점을 해결하기 위하여 최근 능동 EMI 필터에 대한 연구들이 진행 중이다. 능동 EMI 필터의 원리는 전원 라인에서 감지된 고주파 노이즈 성분을 반대 위상 신호로 변환한 후 다시 전원 라인에 주입시켜 전체 노이즈를 감소시키는 구조이다. 능동 EMI 필터에는 CM 노이즈 저감을 위한 CM 능동 EMI 필터, DM 노이즈 저감을 위한 DM 능동 EMI 필터가 있다. 200 W ac-dc 컨버터의 CM 노이즈 저감을 위한 CM 능동 EMI 필터 효과 및 설계 가이드에 대하여 선행 논문에서 자세히 소개되었으며, CM 초크의 크기를 50 % 줄일 수 있는 효과를 확인하였다^[2]. 그리고 1.1 kW 인덕션 모터에 CM 능동 EMI 필터를 적용하여 96 %의 CM 초크 감소 효과가 확인되었다^[3]. 또한 30 W 아답터의 DM 노이즈 저감

을 위한 DM 능동 EMI 필터의 모델링 및 안정도 분석이 소개되었으며 X-커패시터의 용량이 64 % 감소되는 효과를 확인하였다^[4]. 이외 230 W dc-dc 컨버터에 DM 능동 EMI 필터를 적용하여 50 %의 DM 커패시터 저감 효과가 확인되었다^[5].

능동 EMI 필터에 대한 대부분의 연구들이 CM, DM 각각의 효과에 대하여 연구가 진행되었으나 본 논문에서는 선행 연구된 CM 능동 EMI 필터와 DM 능동 EMI 필터를 결합한 구조로 CM, DM 모두 개선하는 방식에 대하여 실험을 진행하였다. 시뮬레이션을 통하여 S_{21} 전달 특성 및 CM, DM 노이즈 저감 효과를 확인하였고, 실제 SMPS에 능동 EMI 필터를 적용하여 유효성을 확인하였다. 추가로 능동 EMI 필터 적용에 따른 누설 전류 증가 및 소모 전력을 확인하였으며, 대기 전력에 영향을 주지 않는 전원 공급 회로를 설계하여 적용하였다.

II. TV 전원 공급용 SMPS 회로 구성 및 실제 보드

2-1 TV 전원용 SMPS 회로 구성

TV 전원 공급을 위해 사용되는 SMPS는 다양한 전력 변환용 컨버터로 구성된다. 앞서 설명하였듯이 이러한 컨버터에 의해서 발생하는 고주파 스위칭 노이즈가 전도성 노이즈의 주 원인이 되며 이를 해결하기 위하여 전원 라인에 EMI 필터 설계가 필요하다.

그림 1은 TV 전원 공급용 SMPS에 대한 회로 구성도를 보여준다. 역률 보상 회로로 사용되는 Boost 컨버터, Main 전원을 공급하기 위한 LLC 공진형 컨버터, LED 전원 공급을 위한 Buck 컨버터 총 3개의 컨버터가 사용되며 전원 라인에 EMI Filter 설계가 요구된다.

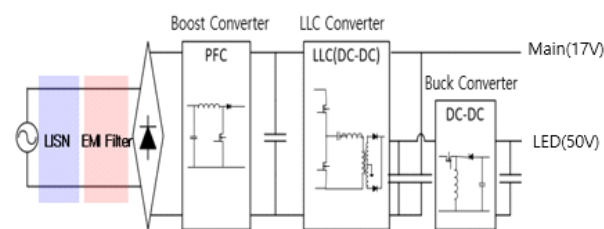


그림 1. TV 전원용 SMPS 회로 구성도

Fig. 1. SMPS circuit diagram for TV power.

위 SMPS에 사용되는 컨버터들은 125 kHz(Boost 컨버터), 100 kHz(LLC 컨버터), 300 kHz(Buck 컨버터)의 높은 스위칭 주파수를 갖는다.

2-2 실제 TV 전원용 SMPS 보드

그림 2는 실제 TV 제품에 적용되는 500 W급 전원 공급용 SMPS 사진이다. EMI 전도성 노이즈 중 공통 모드 노이즈 성분을 저감하기 위하여 전체 45 mH 인덕턴스값을 갖는 5개의 공통 모드(common-mode, CM) 초크가 사용되며 차동 모드 노이즈 저감을 위하여 470 nF의 용량을 갖는 X-커패시터 2개가 사용된다. 이는 PCB의 넓은 면적을 차지하기 때문에 보드의 소형화 및 슬림화에 걸림돌이 된다. 이를 해결하기 위하여 공통 모드 초크와 X-커패시터를 줄이기 위한 방안이 필요하며 능동형 EMI 필터 방식을 적용하여 해결이 가능하다.

III. 능동 EMI 필터 구조 및 설계 절차

3-1 CM, DM 능동 EMI 필터의 결합 구조

그림 3은 CM 능동 EMI 필터와 DM 능동 EMI 필터가 결합된 구조이다. CM 능동 EMI 필터는 노이즈 전압감지, 전압 보상 방식의 능동 EMI 필터로 선행 논문에서 검증

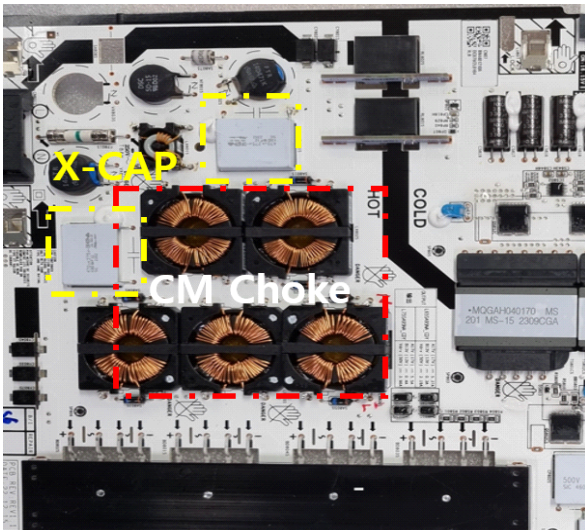


그림 2. TV 전원 공급용 SMPS 실물
Fig. 2. Actual SMPS for TV power supply.

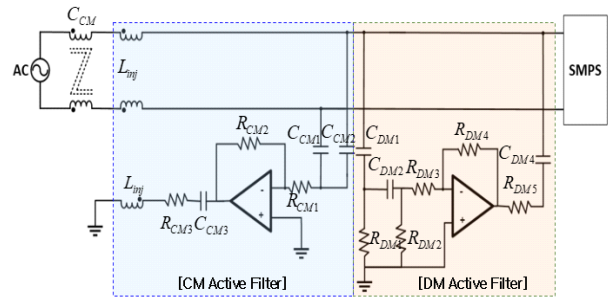


그림 3. CM, DM 능동 EMI 필터 결합 구조
Fig. 3. CM, DM active EMI filter combination structure.

된 회로를 적용하였으며^[2], DM 능동 EMI 필터는 노이즈 전압 감지, 전류 보상 방식의 능동 EMI 필터로 선행 논문에서 효과가 확인된 회로를 참고하였다^[4].

3-2 능동 EMI 필터 설계 절차

그림 4 및 그림 5는 CM, DM 능동 EMI 필터의 설계 절차를 보여준다. 실험에 사용된 소자 값은 L_{inj} :150 μ H, C_{CM1} =1 nF, C_{CM2} =1 nF, C_{CM3} =1 μ F, R_{CM1} =5.6 k Ω , R_{CM2} =5.7 k Ω , R_{CM3} =140 Ω , C_{DM1} =1 nF, C_{DM2} =1 nF, C_{DM3} =2 nF, R_{DM1} =100 k Ω , R_{DM2} =100 k Ω , R_{DM3} =4 M Ω , R_{DM4} =10 M Ω 이다.

IV. 능동 EMI 필터 전원 공급 방식

능동 EMI 필터가 동작하기 위해서는 OP-amp에 전원 공급이 필요하며 추가적인 전력을 소모하게 된다. 그 값

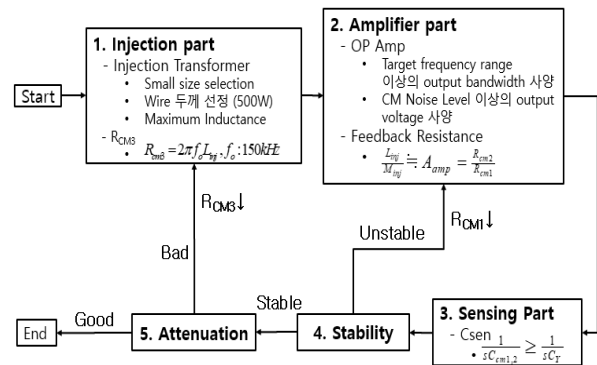


그림 4. CM 능동 EMI 필터 설계 절차
Fig. 4. Design procedure for CM active EMI filters.

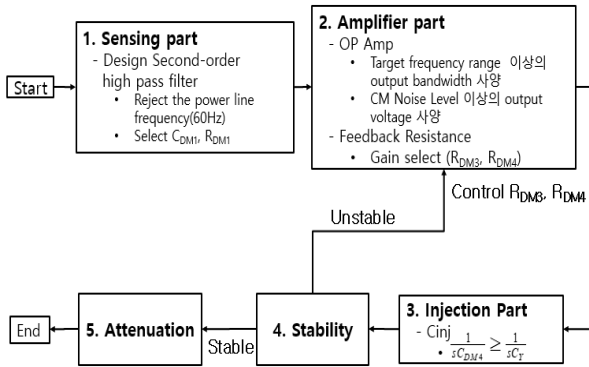


그림 5. DM 능동 EMI 필터 설계 절차

Fig. 5. Design procedure for DM active EMI filters.

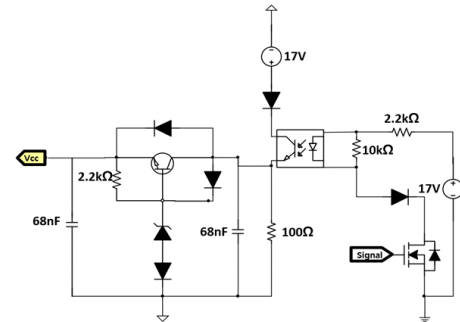
은 일반적인 동작 상태에서는 크게 문제되는 수준은 아니지만, 대기 전력 상황에서는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 제품이 정상 동작 중일 때만 능동 EMI 필터가 구동을 하고, 제품이 꺼져 있는 대기 전력 상태에서는 능동 EMI 필터가 동작하지 않도록 하는 전원 공급 방식이 필요하다.

그림 6(a)와 같이 능동 EMI 필터의 전원 공급 방식에 대한 회로를 설계하여 적용하면 제품이 꺼져 있는 상태(remote off)에서는 능동 EMI 필터에 전원을 공급하지 않아 대기 전력에 영향을 주지 않게 된다. 표 1은 리모콘 신호에 따른 능동 EMI 필터의 공급 전원을 표시하였다. TV 리모콘 신호를 이용하여 리모콘 신호가 Low인 조건에서는 TV가 꺼져 있으며 능동 EMI 필터 전원 공급을 차단하고, 리모콘 신호에 High를 인가하여 TV가 켜져 있는 상태에서는 능동 EMI 필터가 동작할 수 있도록 전원을 공급한다. 이를 통하여 TV가 꺼져 있는 상태에서 능동 EMI 필터가 동작을 하지 않기 때문에 기존 시스템의 대기 전력에 영향을 주지 않게 된다. OP-amp의 최종 입력 전원은 17 V를 5 V로 변환하는 정전압 회로를 사용하였다.

V. 시뮬레이션을 통한 성능 검증

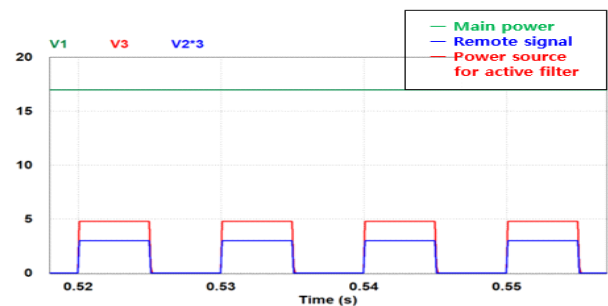
5-1 능동 EMI 필터 적용 유/무에 따른 전달 특성

능동 EMI 필터 적용 유/무에 따른 전달 특성(S_{21})을 시뮬레이션을 통하여 비교 검증하였다. 주파수 범위는 150 kHz~10 MHz이다.



(a) 능동 EMI 필터 전원 공급 회로

(a) Power supply circuit for active EMI filter



(b) 능동 EMI 필터 전원 공급 파형

(b) Power supply waveform for active EMI filter

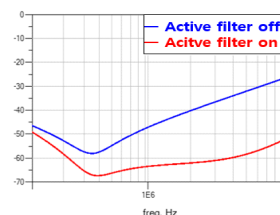
그림 6. 능동 EMI 필터 전원 공급 방식

Fig. 6. Power supply method for active EMI filter.

표 1. 리모콘 신호에 따른 능동 EMI 필터 전원 공급

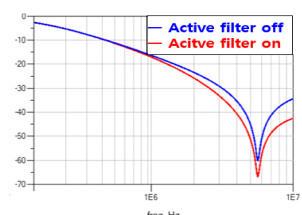
Table 1. Active EMI filter power supply using remote control signal.

Remote signal	High	Low
TV screen	ON	OFF
Main power	17 V	17 V
Active EMI filter power	5 V	0 V



(a) CM 전달 특성

(a) CM transfer characteristics



(b) DM 전달 특성

(b) DM transfer characteristics

그림 7. S_{21} 전달 특성

Fig. 7. S_{21} transfer characteristics.

그림 7에서 측정된 시뮬레이션 결과값을 비교해보면 능동 EMI 필터 적용 시 CM, DM에 대한 S_{21} 전달 특성이 더 우수한 것을 확인할 수 있다.

5-2 PSIM 시뮬레이션을 통한 공통 모드, 차동 모드 노이즈 비교

PSIM 시뮬레이션을 위하여 500 W급 SMPS 전체 회로를 구성한 후 능동 EMI 필터 적용 유/무에 따른 공통 모드, 차동 모드 노이즈 성분의 크기를 비교하였다.

그림 8은 PSIM 시뮬레이션을 위한 회로 설계를 보여준다. SMPS에 적용되는 컨버터는 총 3종류로 Boost 컨버터 125 kHz, LLC 컨버터 100 kHz, Buck 컨버터 300 kHz의 스위칭 주파수를 갖도록 회로를 설계하였다. 시뮬레이션을 통하여 측정된 공통 모드 노이즈 전압 값을 표 2에 정리하였다.

그림 9는 시뮬레이션을 통하여 공통 모드 노이즈 전압을 측정된 결과를 보여준다. CM 초크 30 mH에 능동 EMI 필터를 적용하면 CM 초크 45 mH를 사용했을 때와 유사한 수준을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 능동 EMI 필터 적용 시 CM 초크의 인덕턴스값을 약 33 % 축소 가능한 것을 시뮬레이션을 통하여 예측할 수 있다.

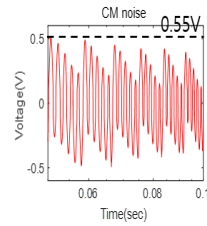
다음은 시뮬레이션을 통하여 측정된 차동 모드 노이즈 전압값을 표 3에 정리하였다.

그림 10은 차동 모드 노이즈 전압을 측정된 결과를 보여준다. 측정값을 표 3에 정리하였다.

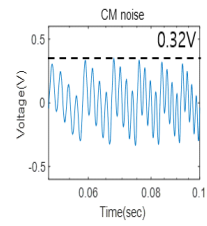
표 2. 공통 모드 노이즈 측정값 비교

Table 2. Comparison of CM noise measurements.

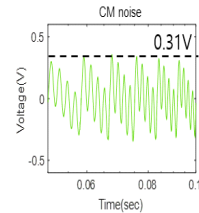
CM choke	30 mH	45 mH	30 mH
Active filter	Unapplied	Unapplied	Applied
CM noise	0.55 Vpeak	0.32 Vpeak	0.31 Vpeak



(a) CM 초크 30 mH
(a) CM choke 30 mH



(b) CM 초크 45 mH
(b) CM choke 45 mH



(c) CM 초크 30 mH+능동 EMI 필터 적용
(c) CM choke 30 mH+active EMI filter

그림 9. 공통 모드 노이즈 측정

Fig. 9. Common mode noise measurements.

X-커패시터 330 nF에 능동 EMI 필터를 적용하면 X-커패시터 470 nF만 적용했을 때보다 우수한 저감 효과를 갖

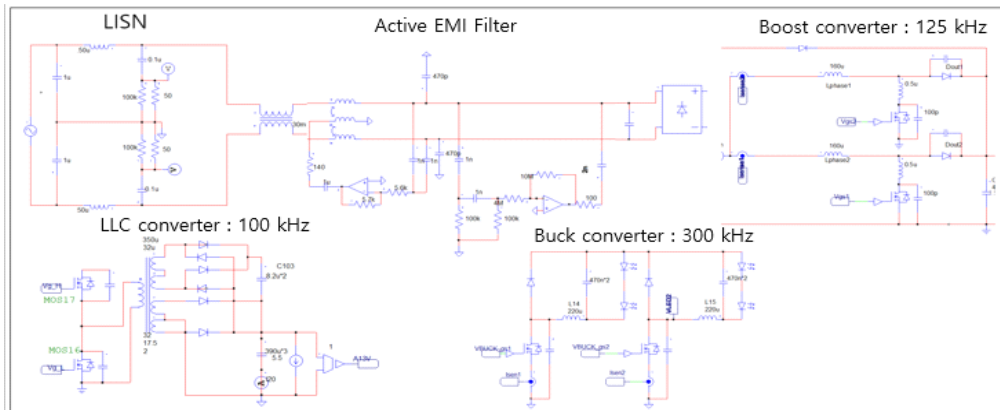


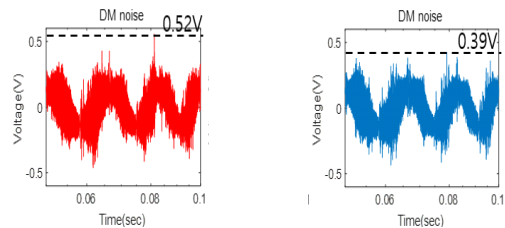
그림 8. PSIM 회로 모델링

Fig. 8. Circuit modeling using PSIM.

표 3. 차동 모드 노이즈 측정값 비교

Table 3. Comparison of DM noise measurements.

X-CAP	330 nF	470 nF	330 nF
Active filter	Unapplied	Unapplied	Applied
DM noise	0.49 V _{peak}	0.39 V _{peak}	0.31 V _{peak}

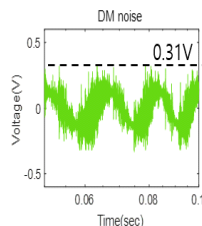


(a) X-커패시터 330 nF

(a) X-capacitor 330 nF

(b) X-커패시터 470 nF

(b) X-capacitor 470 nF



(c) X-커패시터 330 nF+능동 EMI 필터 적용

(c) X-capacitor 330 nF+Active EMI filter

그림 10. 차동 모드 노이즈 측정

Fig. 10. Differential mode noise measurements.

는 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 능동 EMI 필터 적용 시 X-커패시터의 용량을 약 30 % 축소 가능하다는 것을 예측할 수 있다.

VI. 실험 결과

6-1 공통 모드, 차동 모드 노이즈 측정을 위한 실험 세팅

본 절은 능동 EMI 필터를 적용한 TV 전원용 SMPS에 대하여 공통 모드 노이즈와 차동 모드 노이즈 성분을 측정하기 위한 실험 세팅을 보여준다.

그림 11(a)는 앞서 그림 3에 회로를 적용하여 실제 제작한 능동 EMI 필터이다. 그림 11(b)와 같이 실험은 능동 EMI 필터가 적용된 SMPS에 500 W급 저항을 연결하였

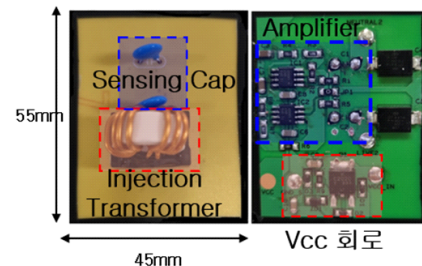
고, 스펙트럼 분석기를 통하여 LISN(line impedance stabilization network)에 입력되는 노이즈를 측정하였다.

LISN을 통하여 측정된 노이즈 성분에 대하여 CM 노이즈와 DM 노이즈를 분리하기 위하여 그림 12 방식과 같이 전류 프로브를 이용하여 측정을 진행하였다.

6-2 전도성 노이즈 실험 측정 결과

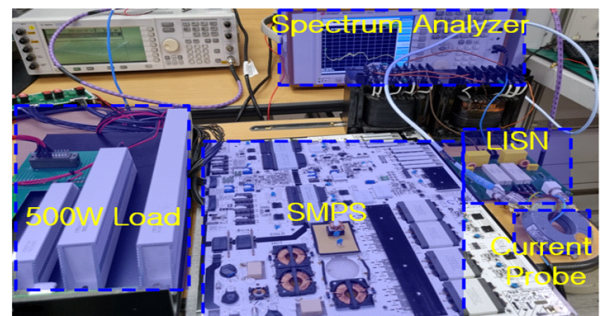
그림 13(a)는 CM 노이즈 측정 결과를 보여준다. 기존 CM 쇼크 5개 적용한 경우와 CM 쇼크 3개 적용 후 능동 EMI 필터를 적용했을 때를 비교해보면 유사한 수준을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 능동 EMI 필터를 적용하면 CM 쇼크 2개를 줄일 수 있는 효과가 있다.

그림 13(b)는 DM 노이즈 측정 결과를 보여준다. 능동 EMI 필터를 적용하였을 때 X-커패시터의 용량을 470 nF에서 330 nF으로 약 30 % 줄일 수 있다. 그림 13(c)는 전체 전도성 노이즈 측정 결과를 보여준다. 능동 EMI 필터



(a) 능동 EMI 필터

(a) Active EMI filter

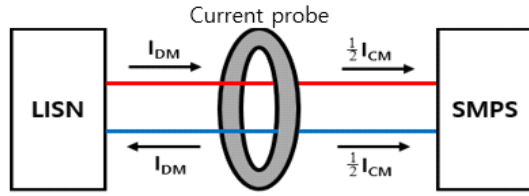


(b) CM, DM 측정을 위한 장비 세팅

(b) Equipment settings for CM and DM measurement

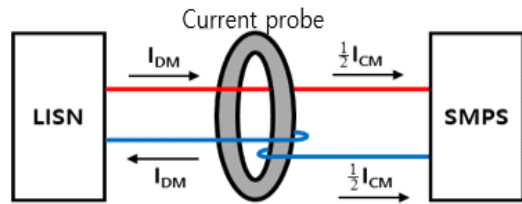
그림 11. 능동 EMI 필터 실험 세팅

Fig. 11. Experimental setup for active EMI filter.



(a) DM 측정 방법

(a) Methods for measuring DM



(b) CM 측정 방법

(b) Methods for measuring CM

그림 12. 전류 프로브를 이용한 CM, DM 측정 방법

Fig. 12. CM, DM measurement method using current probe.

적용 시 약 3 dBuV 개선됨을 확인할 수 있다.

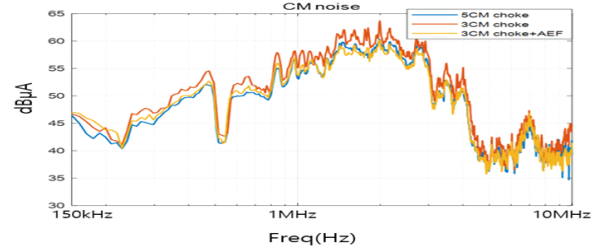
6-3 누설 전류 측정

능동 EMI 필터의 문제점 중 하나인 누설 전류를 측정하여 비교하였다. 능동 EMI 필터는 전원 라인에 커패시터가 사용되기 때문에 누설 전류가 증가하는 문제점이 있다. 이를 실험을 통하여 비교 분석을 진행하였다.

그림 14는 능동 EMI 필터 적용 유/무에 따른 누설 전류 측정 결과이다. 능동 EMI 필터를 적용하지 않은 경우 누설 전류는 0.092 V_{peak}이며, 능동 EMI 필터를 적용하면 0.313 V_{peak}로 누설 전류가 약 3배 증가하게 된다. TV 전원 공급을 위해 사용되는 SMPS는 FG(frame ground) 접지 그라운드 연결 여부에 따라 Class I, Class II로 분류가 된다. Class 구분에 따라 누설 전류 사양이 다르며 아래 표 4에 간단히 나타내었다. 실험에 사용되는 SMPS는 FG 그라운드가 연결되는 3구 파워 코드를 사용하기 때문에 누설 전류 사양을 만족한다.

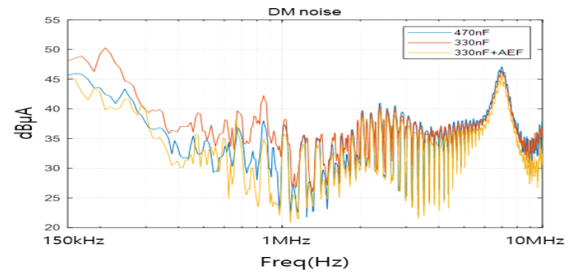
6-4 능동 EMI 필터 소비 전력 및 대기 전력 측정

능동 EMI 필터 적용에 따른 소비 전력 및 대기 전력



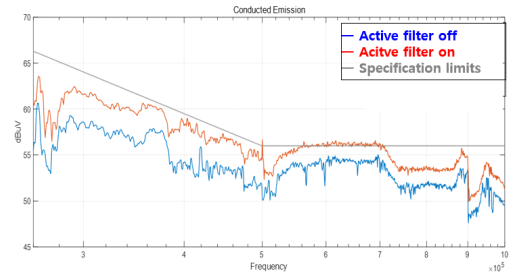
(a) CM 노이즈 측정 결과

(a) CM noise measurement results



(b) DM 노이즈 측정 결과

(b) DM noise measurement results



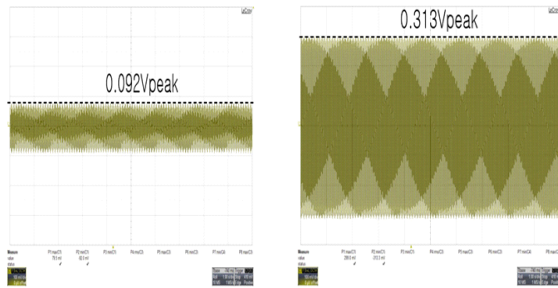
(c) 전체 노이즈 측정 결과

(c) Total noise measurement results

그림 13. CM, DM 노이즈 측정

Fig. 13. CM, DM noise measurement.

측정을 진행하였다. 능동 EMI 필터에서 소모되는 소비 전력은 약 0.3 W 수준으로 500 W급 파워에서 극히 작은 전력이 소모된다. 다만, 0.3 W는 대기 전력에서 문제가 되는 전력량이기 때문에 이에 대한 해결이 필요하다. 앞서 설명하였던 능동 EMI 필터 전원 공급 방식을 사용하면 TV 제품의 대기 상태(리모콘 OFF)에서 능동 EMI 필터가 동작을 하지 않기 때문에 대기 전력에 영향을 주지 않게 된다. 표 5는 능동 EMI 필터 적용 유/무에 따른 대기 전력 측정 결과다. 통상 출력 전력 0.125 W 조건에서 입



(a) 능동 EMI 필터 미적용 (b) 능동 EMI 필터 적용
(a) No active EMI filter (b) Apply active EMI filter

그림 14. 누설 전류 측정 결과

Fig. 14. Touch current measurement results.

표 4. Class 구분에 따른 누설 전류 사양

Table 4. Touch current specifications according to class classification.

	Condition	Specifications
Class I	FG connection (Use of 3P power cord)	1.75 mA (0.875 Vpeak)
Class II	FG not connected (Use of 2P power cord)	0.175 Vpeak

표 5. 대기 전력 측정 결과

Table 5. Standby power measurement results.

Output power (P_{out})	SPEC (P_{in})	No active filter (P_{in})	Apply active filter (P_{in})
0.125 W	0.3 W ↓	0.267 W	0.268 W
0.25 W	0.5 W ↓	0.414 W	0.414 W

력 전력이 0.3 W 이하가 되어야 하며, 출력 전력 0.25 W 조건에서 입력 전력이 0.5 W 이하가 되어야 대기 전력 규제를 만족할 수 있다. 측정 결과를 보면 능동 EMI 필터가 적용되었을 때와 미적용되었을 때 유의차가 없으며 대기 전력 규제를 만족하는 것을 확인할 수 있다.

6-5 능동 EMI 필터 적용에 따른 SMPS 전체 시스템 전원 확인

능동 EMI 필터 적용에 따른 전체 시스템에 영향이 없는지 확인이 필요하다.

그림 15에서 볼 수 있듯이, 능동 EMI 필터 적용 후에도 SMPS의 모든 출력 전원이 이상 없이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

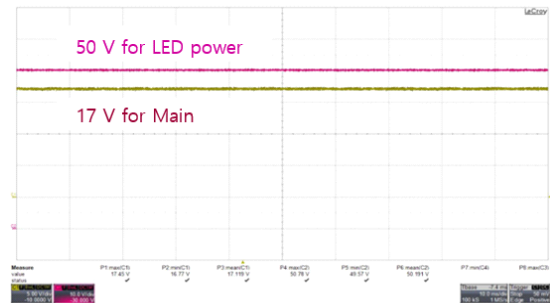


그림 15. 능동 EMI 적용 후 전체 시스템 전원

Fig. 15. Full system power after applying active EMI.

Ⅶ. 결 론

TV 전원 공급용 SMPS에 능동 EMI 필터를 적용하여 효과를 확인하였다. 능동 EMI 필터를 적용하면 공통 모드 노이즈 저감을 위한 CM 초크의 용량값을 33 % 수준으로 줄일 수 있는 것을 확인하였고, 차동 모드 노이즈 저감을 위한 X-커패시터의 용량값을 30 % 수준으로 줄일 수 있음을 확인하였다. 공간적인 측면에서는 현재 실험 보드 기준으로 능동 EMI 필터 적용 시 CM 초크의 개수를 5개→3개, X-커패시터를 2개→1개로 줄일 수 있는 효과가 있다. 능동 EMI 필터 적용에 따른 공간 소모는 작은 인덕터 1개와 세라믹 커패시터 2개가 사용되며, 능동 EMI 필터 전원 공급을 위한 회로는 모두 SMD 자재이기 때문에 PCB 밀면에 적용되어 공간 활용에 영향을 주지 않는다. 이를 수치적으로 고려해보면 전체 EMI 필터 영역이 능동 EMI 필터 적용 시 약 35 % 공간 축소가 가능하며 이로 인해 SMPS의 소형화 및 슬림화에 유리한 장점이 있다. 능동 EMI 필터 적용에 따른 전체 시스템 안정도에 영향이 없음을 SMPS의 출력 전원을 통하여 확인하였다. 능동 EMI 필터에서 소모되는 소비 전력은 약 0.3 W 수준으로 500 W급 SMPS에서 매우 적은 전력량이 소모되는 것을 확인하였다. 다만 0.3 W는 대기 전력에서 사양을 초과하는 수치이기 때문에 개선이 필요하다. 이 부분을 해결하기 위하여 대기모드 상태일 때는 능동 EMI 필터가 동작하지 않도록 전원 공급 회로를 추가 설계하여 구성하였으며 실제 측정 결과에서도 대기 전력에 영향이 없는 것을 확인하였다. 능동 EMI 필터 적용에 따른 누설

전류 증가가 있지만 Class I 제품에 사용되는 SMPS이기 때문에 누설 전류 사양을 초과하지 않는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 능동 EMI 필터를 적용하여 EMI 규격 외 누설 전류와 대기 전력에 대한 검토를 추가로 진행하였다. 누설 전류와 대기 전력에 대한 규격을 만족하기 때문에 능동 EMI 필터를 적용하여 실제 제품 상용화가 가능할 것으로 예상된다. 마지막으로 비용 측면에서는 능동 EMI 필터에 적용되는 OP-amp 자재가 넓은 주파수 대역과 빠른 응답속도를 갖는 자재를 선정 해야 하기 때문에 일반 OP-amp 보다 높은 가격을 갖는다. 다만 능동 EMI 필터 적용에 따른 감소된 CM 초크와 X-커패시터의 수량을 비교해보면 비용 측면에서 동등 혹은 미세 상승이 예상되지만 PCB 공간 활용에는 장점이 있어 SMPS의 소형화 및 슬림화에 유리하다.

References

- [1] L. Tihanyi, *Electromagnetic Compatibility in Power Electronics*, Sarsota, FL, J. K. Eckert & Company, 1995.
[2] D. Shin, S. Kim, G. Jeong, J. Park, J. Park, and K. J.

Han, et al., "Analysis and design guide of active EMI filter in a compact package for reduction of common-mode conducted emissions," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 57, no. 4, pp. 660-671, Aug. 2015.

- [3] M. C. Di Piazza, R. Antonella, and V. Gianpaolo, "An optimized feedback common mode active filter for vehicular induction motor drives," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 11, pp. 3153-3162, Nov. 2011.
[4] B. Narayanasamy, F. Luo, and Y. Chu, "Modeling and stability analysis of voltage sensing based differential mode active EMI filters for AC-DC power converters," in *2018 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity(EMC, SI & PI)*, Long Beach, CA, Aug. 2018, pp. 322-328.
[5] A. C. Chow, D. J. Perreault, "Design and evaluation of a hybrid passive/active ripple filter with voltage injection," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 39, no. 2, pp. 471-480, Apr. 2003.

이 정 호 [성균관대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0008-1179-6426>



2014년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학사)
2022년 2월~현재: 성균관대학교 DMC공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC

홍 영 기 [성균관대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-9922-6207>



2022년 2월: 수원대학교 전자공학과 (공학사)
2022년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정
[주 관심분야] SI/PI, EMI/EMC

나 완 수 [성균관대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-0315-3294>



1984년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1986년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)
1991년~1993년: SSCL Guest Collaborator

1993년~1995년: 한국전기연구원 선임연구원
1995년~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 교수
[주 관심분야] SI/PI, EMI/EMC