

에어컨용 PFC Boost Converter의 전도 노이즈 저감

李成熙*, 金利勳**, 金永邇*, 元忠淵***, 金泰德****, 金大慶****

Conducted Noise Reduction in PFC Boost Converter for Air Conditioner

S.H. Lee, L.H. Kim, Y.G. Kim, C.Y. Won, T.D. Kim, and D.K. Kim

요 약

스위칭 PFC 컨버터는 전력의 질을 향상시킬 뿐 아니라 최대 효율을 얻기 위해 널리 사용된다. 하지만, 스위칭 PFC 컨버터는 심각한 EMI 문제를 발생시킨다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해서 APW 기법과 RPWM 기법을 PFC Boost 컨버터에 적용하여 우수한 결과를 얻었다. 시뮬레이션과 실험 결과를 통해서 에어컨 시스템에서의 개선된 고조파와 저감된 EMI 효과를 보여준다.

ABSTRACT

Switching PFC converters are widely used not only to comply the power quality specification but also for maximum efficiency. However switching PFC converters generate serious electromagnetic interference(EMI). In this paper to solve this problem, we applied the APW(Anti-Phase Winding) and RPWM(Random PWM) technique to PFC boost converter and obtained good results. Simulation and experimental results show the improved harmonics and reduced EMI effect in air-conditioner system.

Key words : PFC Boost Converter, EMI, APW, RPWM

1. 서 론

최근 에어컨의 기술동향은 저속운전의 확대를 통한 연간 에너지 소비효율의 향상 및 고효율 제어 알고리즘을 통한 절전 향상, 압축기의 성능 개선, 저온에서의 난방 능력 향상, 효과적 제습 등의 기술에 집중되고 있다.

마이크로프로세서 및 전력전자 기술의 급속한 발달에 따라 유도 전동기의 V/f 제어를 하거나 브러시리스 직류 전동기 센서리스 제어기법 등이 압축기에 일반적으로 적용되고 있다¹⁾.

이와 함께 현재 세계 각 국은 가전제품의 전원 측 전류고조파와 EMI(Electromagnetic Interference)를 규제하고 있으며 이러한 EMI 규제치를 만족하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

EMI는 잡음전달경로에 따라 복사성 EMI(Radiation EMI)와 전도성 EMI(Conducted EMI)구분된다.

본 논문에서는 전도노이즈 저감을 위한 방법으로 RPWM 및 APW기법을 제시한다.

첫 번째 RPWM기법은 PWM 스위칭시 규칙적으로 발생하는 전도노이즈를 불규칙화된 스위칭을 통해 전체적인 전도 노이즈의 레벨을 낮추는 방법이다.

*정회원, 성균관대 메카트로닉스공학과 석사과정

E-mail : roma0215@hotmail.com

**정회원, 성균관대 메카트로닉스공학과 박사과정

***정회원, 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수

****정회원, 삼성전자 DA총괄 DA연구소 연구원

접수일자 : 2003. 7. 1

1차심사 : 2003. 7.13

심사완료일 : 2003. 8.20

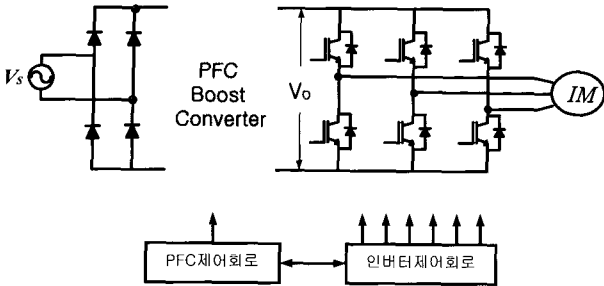


그림 1 에어컨 시스템 전원부 구성도
Fig. 1 Configuration of Air-Conditioner system

두 번째 APW기법은 기존 인덕터에 보조 권선을 역상으로 추가해 줄으로써 기존 CM 노이즈에 대해 같은 크기, 반대극성의 상쇄전압에 의해 전도 노이즈를 상쇄시키는 방법이다.

위에서 제시한 두 기법을 그림 1과 같은 가정용 에어컨 시스템의 PFC Boost 컨버터부에 적용하여 전원측 전류 고조파 및 전도노이즈를 저감하고자 한다^[2, 7].

2. RPWM 및 APW 기법

2.1 Random 스위칭 주파수 변조제어

AC-DC 컨버터의 일반적인 PWM 스위칭 노이즈 스펙트럼의 경우, 그림 2와 같이 연속적인 형태로 발생하며 특정 주파수 혹은 스위칭 주파수의 배수로 집중하게 된다.

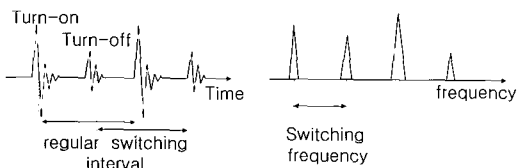


그림 2 PWM 스위칭 노이즈 파형과 스펙트럼
Fig. 2 PWM switching noise wave and spectrum

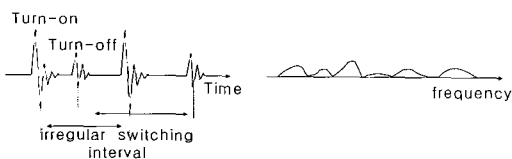


그림 3 RPWM 스위칭 노이즈 파형과 스펙트럼
Fig. 3 RPWM switching noise wave and spectrum

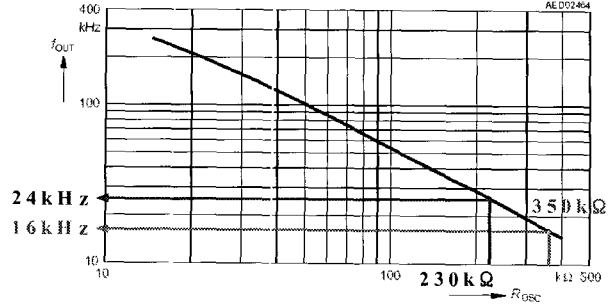


그림 4 R_{osc} 에 대한 스위칭 주파수 특성곡선
Fig. 4 Switching frequency of characteristic wave by R_{osc}

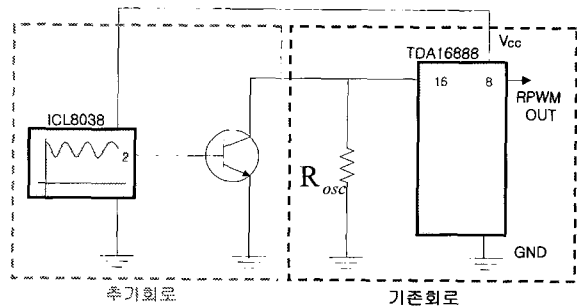


그림 5 TDA16888 PFC 제어기의 RPWM 구성도
Fig. 5 RPWM configuration of TDA16888 PFC controller

반면에, 그림 3에서는 스위칭 노이즈 스펙트럼이 랜덤한 스위칭에 의하여 특정 주파수나 스위칭 주파수의 배수에 집중하지 않게 되어 일반적인 PWM방법보다 전도노이즈 레벨이 저감된다^[2, 5].

실험에서 사용된 PFC Controller(TDA16888)의 스위칭 주파수는 그림 4의 특성곡선과 같이 16번 핀의 R_{osc} 값에 의하여 정해진다. 이는 R_{osc} 에 흐르는 전류 값에 의해서 스위칭 주파수가 결정되기 때문이다.

그림 5는 RPWM 구성도이며, 기본회로와 추가회로를 함께 나타내었다.

트랜지스터의 운전은 정현파 발생기에 의해 증폭영역에서 동작하게 한다.

따라서, R_{osc} 에 흐르는 전류와 트랜지스터에 흐르는 전류의 합이 16번 핀으로부터 흐르는 전류가 된다.

이 전류의 합이 기존 R_{osc} 에 흐르던 전류 값의 전후가 되도록 설정한다. 결국, R_{osc} 값이 변하는 것과 같은 효과를 얻게 되어 RPWM이 간단하게 구현된다.

2.2 Anti-Phase Winding 기본 개념

그림 6은 일반 Boost 컨버터의 CM 노이즈 경로를 나타낸다. CM노이즈 경로는 그림과 같이 주로 MOS-FET drain단과 방열판 사이에 기생 커패시터 c_1 이 형성되고 컨버터의 스위칭에 의한 급격한 전압, 전류의 변화에 의해 발생된 노이즈전류 i_{CM} 이 c_1 과 방열판을 통해 접지로 흘러 CM 전도노이즈 경로를 이룬다.

APW 기법은 컨버터의 기존 기생 커패시터의 CM 노이즈 전압에 대하여 같은 크기이면서 반대극성의 상쇄 전압을 발생시키기 위해서 승압용 인덕터 대신에 역상변압기를 사용한다.

이 방법은 기존에 사용하던 인덕터에 APW를 추가함으로써 기존회로에 큰 변화 없이 구현할 수 있다. 그림 7은 APW Boost 컨버터의 CM 노이즈 경로이다. 2차측 역상권선APW를 그림 7과 같이 설계하여 구성한다.

APW에 의해서 기생 커패시터 c_1 에 인가되는 CM 전도노이즈 전압과 반대극성, 같은 크기의 전압이 c_2 에 인가되어 c_1 과 c_2 가 충.방전이 상보적으로 동작하게 된다. 그리고 c_1 과 c_2 의 커패시터 값이 같다면 CM전도노이즈 전압이 0 dBuV에 가깝게 제거된다. 그림 7에서 c_1 은 MOSFET와 방열판 사이에 기생 커패시터이고 c_2 는 APW와 방열판 사이에 삽입하는 보조 커패시터이다.

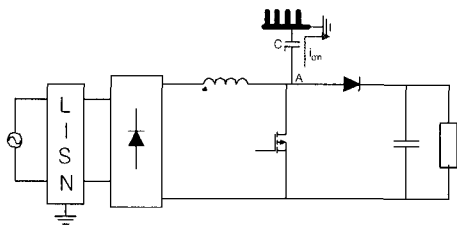


그림 6 Boost 컨버터의 CM 노이즈 경로
Fig. 6 CM noise paths in Boost converter

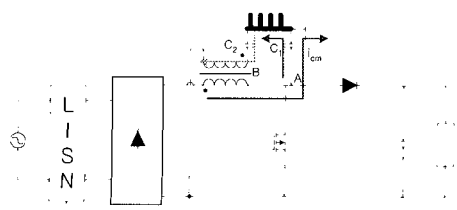


그림 7 APW Boost 컨버터의 CM 노이즈 경로
Fig. 7 CM noise paths in APW Boost converter

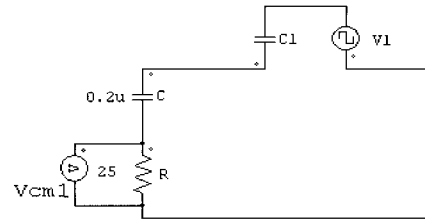


그림 8 일반 Boost 컨버터 CM 전도노이즈 분석 모델
Fig. 8 Common mode analysis model of conventional Boost converter

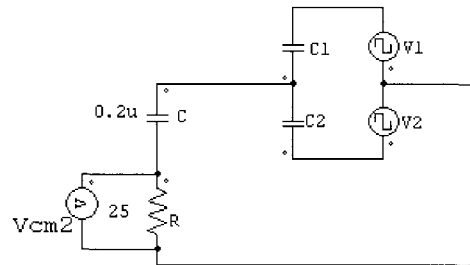


그림 9 APW Boost 컨버터 CM 전도노이즈 분석 모델
Fig. 9 Common mode analysis model of APW Boost converter

승압용 인덕터의 보조 역상권선을 설계하기 위해서 그림 6의 Boost 컨버터 CM 전도노이즈 분석모델과 그림 7의 제안된 Boost 컨버터 CM 전도노이즈 분석 모델을 그림 8과 그림 9에서 간략하게 나타낼 수 있다.

소신호 전압원 $v_1(\omega)$ 은 CM 노이즈 전원을 나타낸다. LISN의 CM 노이즈 모델은 저항 25Ω과 커패시터 0.2 μF을 직렬로 연결한 것과 같다. 저항 25Ω에 걸리는 전압은 LISN에서 검출된 CM 노이즈 레벨이다.

v_1 과 v_2 의 관계는 권수비 n 과 같다.

$$\text{권선비} : n = \frac{v_2}{v_1} \tag{1}$$

기생 커패시터의 관계는 k 로 표현된다.

$$\text{기생 커패시터비} : k = \frac{c_2}{c_1} \tag{2}$$

각각의 CM 노이즈 전압은 다음 식과 같다.

* 일반 Boost 컨버터의 CM 노이즈 전압 :

$$v_{CM1}(\omega) = \frac{25 \times 0.2 \times 10^{-6} \omega c_1}{25 \times 0.2 \times 10^{-6} \omega c_1 + c_1 + 0.2 \times 10^{-6}} \times v_1(\omega) \quad (3)$$

* APW Boost 컨버터의 CM 노이즈 전압 :

$$v_{CM2}(\omega) = \frac{25 \times 0.2 \times 10^{-6} \omega c_1 (kn-1)}{25 \times 0.2 \times 10^{-6} \omega c_1 (k+1) + c_1 (k+1) + 0.2 \times 10^{-6}} \times v_1(\omega) \quad (4)$$

식 (1), (2), (3)과 (4)를 이용하여 삽입손실 A 를 구할 수 있다.

$$A = 20 \log \frac{|v_{CM1}(\omega)|}{|v_{CM2}(\omega)|} \quad (5)$$

제안된 회로의 CM 노이즈 저감정도는 식 (5)에서처럼 삽입손실 A 로 표현된다.

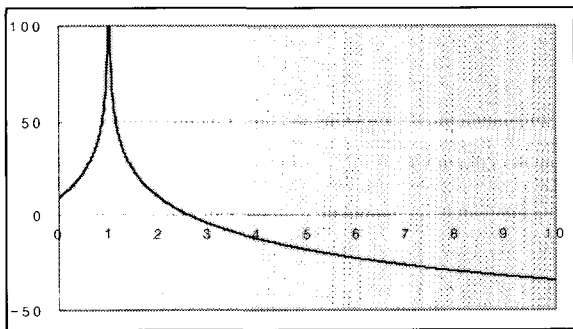


그림 10 k 일정 ($k=1$), n 값에 따른 삽입손실 A 곡선
Fig. 10 (in case of $k=1$) Insertion loss A against n

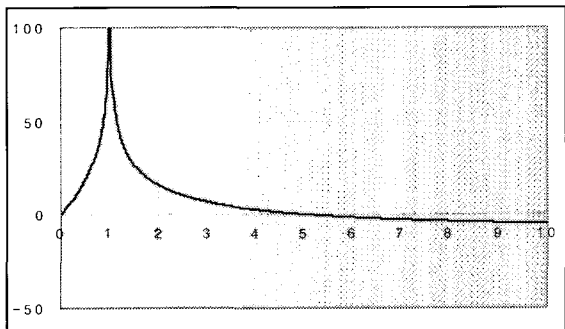


그림 11 n 일정 ($n=1$), k 값에 따른 삽입손실 A 곡선
Fig. 11 (in case of $n=1$) Insertion loss A against k

A 값이 크다는 것은 CM 노이즈 저감효과가 크다는 것을 의미한다.

그림 10, 11과 같이 k 와 n 이 1일 때 이론적으로 CM 노이즈를 0에 가깝게 제거할 수 있다. 그러나 권수비 n 을 1에 가깝게 설계하는 것은 용이하나 커패시터비 k 를 1에 가깝게 하는 것이 어렵다.

즉, 반복적인 시행오차를 거듭하는 실험을 통하여 k 값을 1에 가깝도록 해야 하는 단점이 있다^{[6][7]}.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

시뮬레이션에서는 3kW급 PFC Boost 컨버터를 사용하였고 실험에서는 3kW급 가정용 에어컨 시스템에 적용하여 실험하였다.

그림 12는 PFC Boost 컨버터에 대한 시뮬레이션 회로도이다. 그림 13은 PFC boost 컨버터에 RPWM 기법을 적용한 회로도이다. 그림 14는 PFC boost 컨버터에 APW 기법을 적용한 회로도이다. 그림 15는 APW 기법과 RPWM 기법을 병행하여 PFC boost converter에 적용한 회로도이다.

시뮬레이션은 각 제안된 방법들의 타당성을 확인하기 위해 3kW급 PFC Boost 컨버터에 적용하였다.

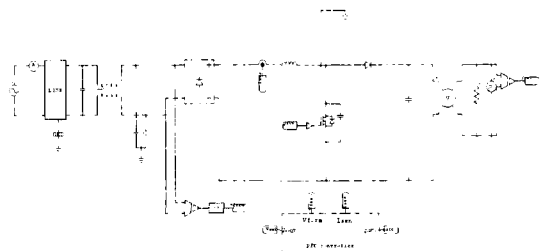


그림 12 PFC Boost 컨버터의 시뮬레이션 회로도
Fig. 12 Simulation schematic of PFC Boost converter

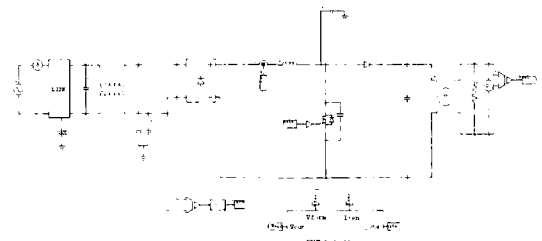


그림 13 RPWM Boost 컨버터의 시뮬레이션 회로도
Fig. 13 Simulation schematic of RPWM Boost converter

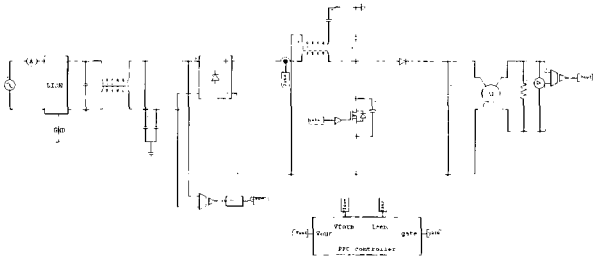


그림 14 APW Boost 컨버터의 시뮬레이션 회로도
Fig. 14 Simulation schematic of APW Boost converter

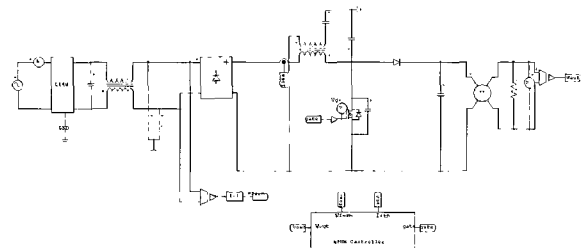


그림 15 APW & RPWM Boost 컨버터의 시뮬레이션 회로도
Fig. 15 Simulation schematic of APW & RPWM Boost converter

RPWM 기법을 적용하면 그림 16에 비해 그림 17과 같이 스위칭 주파수의 배수로 집중되던 노이즈가 분산되어 CM 노이즈 레벨이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 19와 같이 APW와 RPWM을 병행 적용시 노이즈 레벨이 가장 현저히 저감되는 것을 확인할 수 있다.

실험은 3kW급 가정용 벽걸이형 에어컨에 적용하였고 운전 부하는 1.6kW이다.

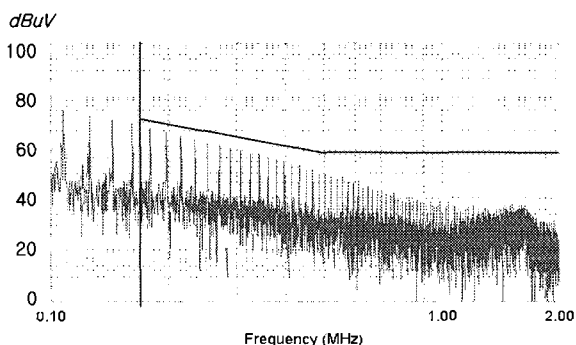


그림 16 PFC Boost 컨버터 CM 전도노이즈 시뮬레이션 파형
Fig. 16 Common mode noise simulation wave of PFC Boost converter

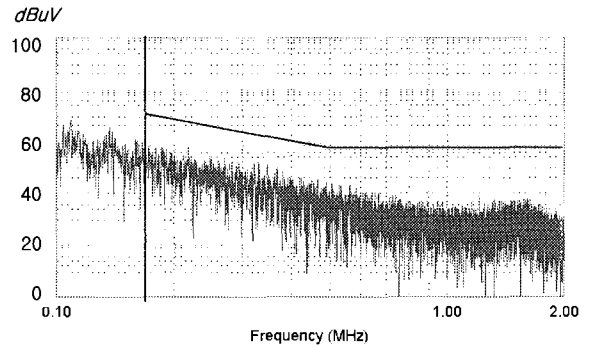


그림 17 RPWM 적용시 CM 전도 노이즈 시뮬레이션 파형
Fig. 17 Common mode noise simulation wave of RPWM Boost converter

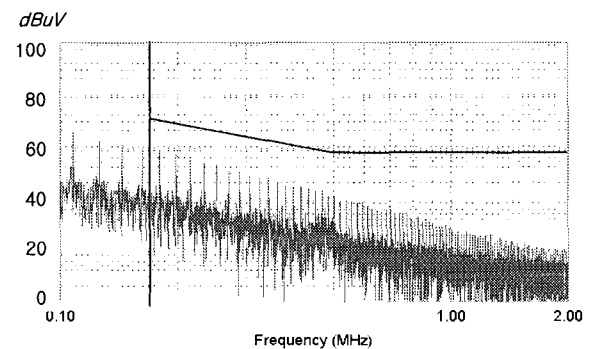


그림 18 APW 적용시 CM 전도 노이즈 시뮬레이션 파형
Fig. 18 Common mode noise simulation wave of APW Boost converter

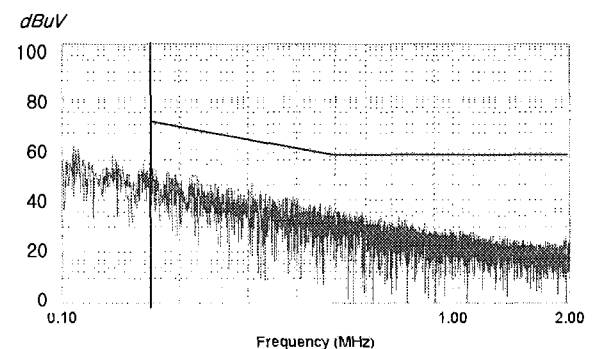


그림 19 APW 및 RPWM 적용시 CM 전도 노이즈 시뮬레이션 파형
Fig. 19 Common mode noise simulation wave of APW & RPWM Boost converter

APW방법은 그림 18과 같이 노이즈 에너지 자체가 저감되는 것을 확인할 수 있다.

k 값은 1.4로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

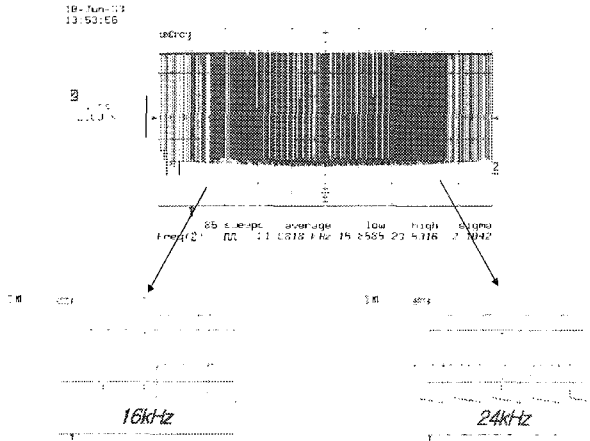


그림 20 RPWM 운전시 v_{gs} 전압 파형
 Fig. 20 The v_{gs} wave in operating RPWM

기존 Boost 컨버터의 스위칭 주파수는 18kHz 이지 만 랜덤 스위칭 주파수는 승압용 인덕터의 특성을 고려하여 그림 20에서는 16kHz~24kHz로 적용하였다.

APW방법을 적용한 컨버터의 기생 커패시터 c_1 과 c_2 의 전압파형은 그림 21과 같이 서로 상보적으로 작용함으로써, RPWM이 CM 전도노이즈를 분산 시켜 노이즈 레벨을 낮추는 것과는 다르게 CM전도노이즈를 상쇄를 시킨다.

그림 22는 기존 컨버터에 대한 CM 노이즈 스펙트럼이다. 그림 22에 비해 그림 23에서는 CM 전도 노이즈가 분산 저감되고, 그림 24에서는 상쇄 저감됨을 확인할 수 있다.

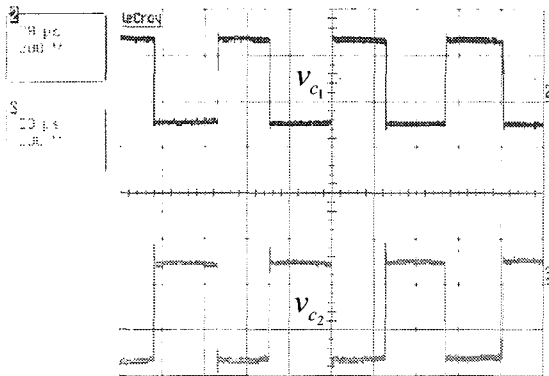


그림 21 기생 커패시터 c_1 과 c_2 의 전압파형 비교
 Fig. 21 Compared parasitic c_1 with c_2 voltage waveform

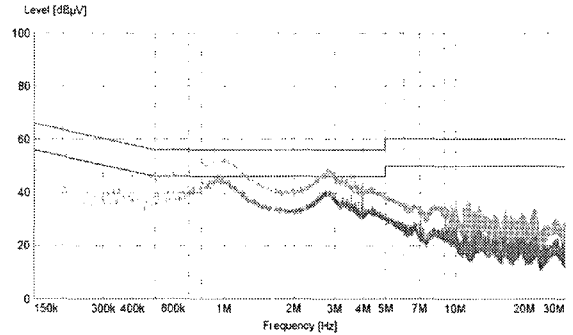


그림 22 PFC Boost 컨버터 CM 전도노이즈 스펙트럼
 Fig. 22 The CM conduction noise spectrum of PFC Boost converter

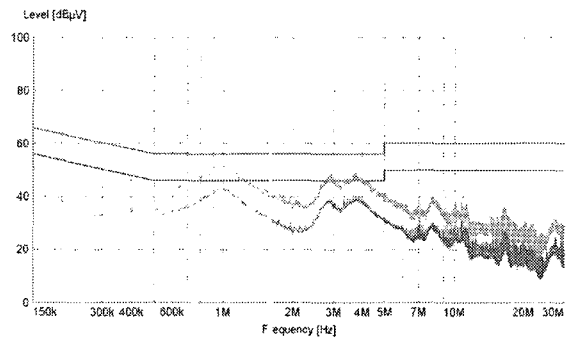


그림 23 RPWM 적용시 CM 전도 노이즈 스펙트럼
 Fig. 23 The CM conduction noise spectrum of RPWM Boost converter

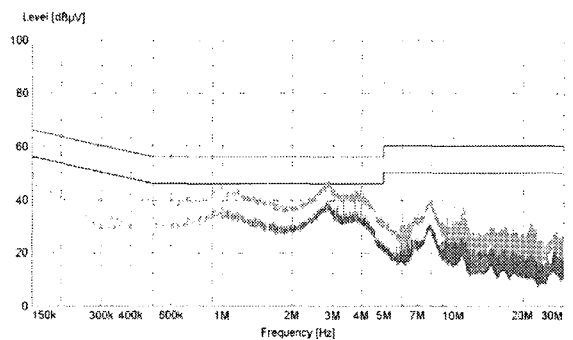


그림 24 APW 적용시 CM 전도 노이즈 스펙트럼
 Fig. 24 The CM conduction noise spectrum of APW Boost converter

그림 25는 PFC Boost 컨버터의 입력전류 고조파 분석[IEC555-2 (전류의 고조파 성분 규제)] 결과이며, 기존의 컨버터와 RPWM 및 APW를 적용한 컨버터들을 비교해 보면 전류 고조파의 크기가 규제치에 모두 만족하는 것을 알 수 있다.

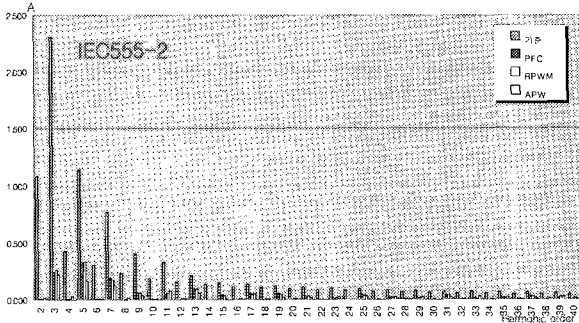


그림 25 각각에 대한 전류고조파 분석 결과
Fig. 25 Each current harmonic in the analysis result

4. 결 론

본 논문에서는 가정용 에어컨 시스템에 사용되는 PFC Boost 컨버터부에 RPWM 및 APW기법을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PFC Boost 컨버터에 RPWM 및 APW를 적용하였을 때 입력전류 고조파 규제(IEC555-2)에 모두 만족한다.
- 2) PFC Boost 컨버터에 RPWM 적용시 150kHz에서 3MHz사이의 EMI 전도 노이즈가 기존 컨버터보다 5dBuV정도 분산되고, APW 적용시 10dBuV정도 저감되는 것을 확인 할 수 있다.

향후 RPWM 및 APW를 병행 적용하여 고조파 및 EMI 전도 노이즈 저감 연구가 필요하다고 생각된다.

이 논문은 삼성전자의 지원을 받은 SFARC 2002-0154-080 에 의하여 연구 되었습.

참 고 문 헌

[1] 김경화, 윤명중, "에어컨의 기술개발 동향 및 전망", 전력 전자학회지 제5권 제5호, pp. 16~20, 2000.
 [2] Feng Lin and Dan Y. Chen, "Reduction of Power Supply EMI Emission by Switching Frequency Modulation", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 9, No. 1, pp. 132~137, Jan. 1994.
 [3] 최태영, "RPWM 기법을 이용한 능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터 전도노이즈 저감", 성균관대학교 석사학위논문, 2002.

[4] 김영규, 최태영, 원충연, 김재문, 김규식, 최세완, "RPWM 기법을 이용한 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터 전도 노이즈 저감", 전력전자학술대회 논문집, pp. 498~501, 2002.
 [5] 박석하, "스위칭주파수 변조방식을 이용한 PWM 컨버터의 EMI 저감", 충남대학교 박사학위논문, 1999.
 [6] Wu Win, M.H. Pong, Z.Y. Lu, and Z.M. Qian, "Novel Boost PFC with Low Common Mode EMI: Modeling and Design", APEC '2000, pp. 178~181, 2000.
 [7] M. Shoyama, T. Okunae, G. Li, and T. Ninomiya. "Balanced Switching Converter to reduce Common-Mode Conducted Noise", IEEE PESC '2001 Record, pp. 451~456, June 2001.

저 자 소 개



이성희(李成熙)

1975년 2월 15일생. 2002년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2002년 3월~현재 성균관대 대학원 메카트로닉스공학과 석사과정.



김이훈(金利勳)

1970년 7월 7일생. 2001년 성균관대 대학원 메카트로닉스공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정.



김영규(金永邦)

1976년 11월 13일생. 2002년 호서대 전기공학과 졸업. 2002년 3월~현재 성균관대 대학원 에너지시스템공학과 석사과정.



원충연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년 3월~현재 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수. 당 학회 부회장.



김태덕(金泰德)

1964년 5월 5일생. 1987년 경북대 전자공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 삼성전자 DA총괄 DA연구소 수석연구원.



김대경(金大慶)

1972년 9월 27일생. 1999년 순천대 전기 제어공학과 졸업. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 삼성전자 DA총괄 DA연구소 선임연구원.