

Air-Conditioner Power Source Device to Meet the Harmonic Guide Lines

文相弼* · 朴永祚** · 徐基永***
(Sang-Pil Mun · Young-Jo Park · Ki-Young Suh)

Abstract - To improve the current waveform of diode rectifiers, we propose a new operating principle for the voltage-doubler diode rectifiers. In the conventional voltage-doubler rectifier circuit, relatively large capacitors are used to boost the output voltage, while the proposed circuit uses smaller ones and a small reactor not to boost the output voltage but improve the input current waveform. A circuit design method is shown by experimentation and confirmed simulation. The experimental results of the proposed diode rectifier satisfies the harmonic guide lines. A high input power factor of 97[%] and an efficiency of 98[%] are also obtained. The new rectifier with no controlled switches meet the harmonic guide lines, resulting in a simple, reliable and low-cost ac-to dc converters in comparison with the boost-type current-improving circuits. This paper proposes a nonlinear impedance circuit composed by diodes and inductors or capacitors. This circuit needs no control circuits and switches, and the impedance value is changed by the polarity of current or voltage. And this paper presents one of these applications to improve the input current of capacitor input diode rectifiers. The rectifier using the nonlinear impedance circuit is constructed with four diodes and four capacitors in addition to the conventional rectifiers, that is, it has eight diodes and five capacitors, including a DC link capacitor. It makes harmonic components of the input current reduction and the power factor improvement. Half pulse-width modulated (HPWM) inverter was explained compared with conventional pulse width modulated(PWM) inverter. Proposed HPWM inverter eliminated dead-time by lowering switching loss and holding over-shooting.

Key Words : Harmonic guide lines, Inverter Air-conditioner, HPWM

1. 서 론

인버터가 가전제품이나 산업용기기에 널리 보급됨에 따라 직류 전원으로써 채용되고 있는 콘덴서 입력형 다이오드 정류회로에서 발생하는 고조파 강해가 문제시되고 있다. 이 대책으로서 가전제품에 유입하는 고조파 전류의 크기를 법적으로 규제하고 있다^{[1],[2]}. 최근 이러한 문제점들을 해결하고자 여러 가지 방법들이 연구되어지고 있는데 그 중에서 수백W급을 소전력 정류회로에서는 자여소자를 이용한 우수한 파형 개선법이 개발되고 있다^[3]. 그러나 이러한 기술을 인버터 에어컨용 직류전원에 대표되는 단상 중용량 정류회로에 적용한 결과로서는 효율, 경제성 및 전자노이즈등에서 해결방법의 문제점들이 남아 있다. 이 문제에 대해서 다이오드와 수동소자만으로 구성되고 고조파 규제값을 만족하는 정류회로가 개발되어 지고 있다^[4]. 그리고 3배 전압정류회로를 기본 회로로 하여 콘덴서의 충전전압을 전원전압에 중첩하여 전류의 도통구간을 넓게 하므로써 파형 개선을 실현하고 있지만 출력전압

이 입력전압과 거의 동등하게 되기 때문에 부하에 배전압을 필요로 하는 용도에는 적합하지 않다^[5]. 이와 같이 현재의 사용되어지고 있는 정류회로는 다소 범용성에서 부족한 면이 있다. 본 논문에서는 기존의 배전압 정류회로에 있어서 배전압용으로써 사용되고 있는 대용량 콘덴서를 소용량에 적용하고, 리액터로서 병용해서 파형 개선 기능을 가지며 출력전압의 상승을 억제하면서 전류파형의 개선하는 방법을 제안하고자 한다. 그리고 출력에 입력전압의 2배를 얻는 배전압 정류회로의 여러 가지 형태를 제시한다. 또한 특성 파라미터를 토대로 설계된 정류회로의 특성과 고조파 규제값을 만족하는 것을 실험으로 확인하고 이 결과가 시뮬레이션결과와 일치하는 것을 나타내고자 한다.

2. 제안한 에어컨 전원장치의 해석 및 고찰

그림 1과 2는 일반적인 에어컨의 전원부 회로와 입력전압, 전류의 파형을 나타낸 것이다. 일반적으로 콘덴서 입력형의 정류회로는 간단하면서 안정한 회로이지만, 최근에는 전원측에 흐르는 고조파전류가 문제시되고 있다. 정류회로의 입력전류 파형을 개선하는 방법으로는 스위칭 소자를 이용한 PWM 컨버터등이 다수 소개되고 있지만, 제어회로를 필요로 하기 때문에 복잡하면서 경제성이 부족하다. 이러한 문제를 해결하고자 다이오드와 콘덴서로서 구성되어지는 비선형 캐패시턴스 회로를 제안하고자 한다.

* 正 會 員 : 慶南大 工大 電氣電子工學部 博士課程修了
 ** 準 會 員 : 慶南大 工大 電氣電子工學部 碩士課程
 *** 正 會 員 : 慶南大 工大 電氣電子工學部 教授
 接受日字 : 2002年 3月 14日
 最終完了 : 2002年 7月 27日

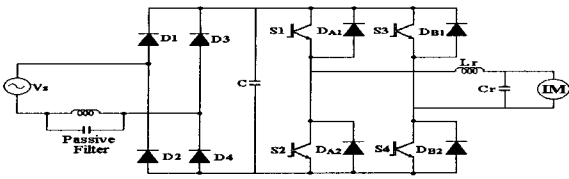


그림 1 일반적인 에어컨의 전원부 회로
Fig. 1 Source part circuit of air-conditioner generally used

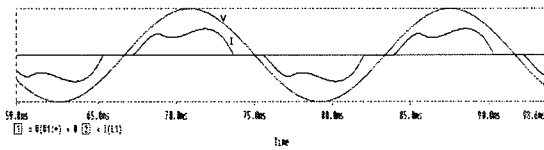


그림 2 기존의 단상 정류회로의 입력전압·전류 파형
Fig. 2 Input voltage and current waveform of conventional single phase rectifier circuit

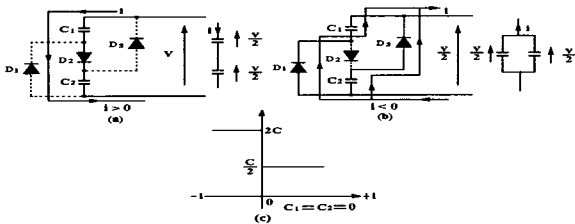


그림 3 비선형 캐패시터의 회로
Fig. 3 Circuit of nonlinear capacitance

그림 3은 제안한 비선형 캐패시턴스 회로를 나타낸 것이다. 그림 3에서 전류 i 가 그림 3(a)와 같은 방향으로 흐르는 경우에는 다이오드 D_2 가 도통해서 C 가 직렬로 구성되므로 캐패시턴스는 $C/2$ 로 된다. 그리고 전류 i 가 그림 3(b)와 같은 방향으로 흐르는 경우에는 D_1, D_3 가 도통해서 캐패시턴스는 $2C$ 로 된다. 이때 회로의 양단 전압은 각각 $v, v/2$ 로 된다. 이 회로를 다이오드 정류회로에 적용하면 입력전류의 파형을 개선할 수 있다.

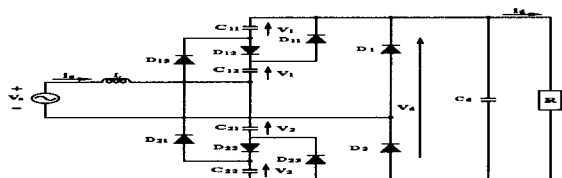


그림 4 제안한 에어컨 전력변환장치의 고조파 개선 회로
Fig. 4 Proposed harmonic correction circuit of air-conditioner power conversion equipment

그림 4는 제안한 에어컨 전력변환장치의 고조파 개선회로를 나타낸 것이다. 회로구성을 간단히 하기 위해서 리액터 L 은 0으로 하며, $C_{11}-C_{12}$ 과 $C_{21}-C_{22}$ 의 값은 같은 것으로 한다. 제안한 회로는 입력전압 v_s 가 정의 반주기동안에 4개의 모드로 구성되며 그 동작원리의 설명은 다음과 같다.

(모드1)

v_s 가 정으로 되면 D_{22} 가 도통하고, $C_{21}-C_{22}$ 가 직렬로 충전되어지는 모드이다. 이 충전동작은 입력전압이 최대가 될 때까지 동작된다. 이때 $C_{21}-C_{22}$ 는 입력전압의 최대값 V_m 의 $1/2$ 까지 충전되어진다. 이것은 그림 5(a)에서 전류 i 가 정의 경우에 해당된다.

(모드2)

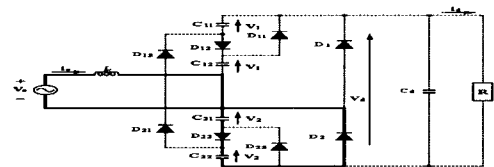
모드2에서는 $C_{11}-C_{12}$ 에 충전된 전압 $V_m/2$ 이 $v_s + v_1 > v_a$ 된 시점에서 D_{11} 과 D_{13} 가 도통되는 모드이다. 이때 직류측에 전류를 공급하게 된다. 전류가 흘러짐으로써 C_{11}, C_{12} 에 축적된 전하는 서서히 방출되며, 전압 v_1 은 감소한다. 이것은 그림 5(b)에서 전류 i 가 부의 경우에 해당된다.

(모드3)

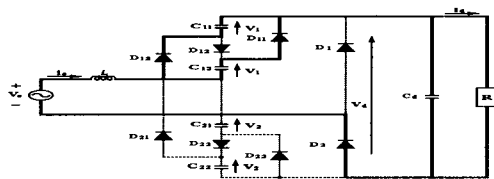
$v_1 = 0$ 로 된 시점에서 $v_s > v_a$ 로 하면, 회로는 전파정류회로와 같은 동작을 하게 된다. 그러므로 그림 5(c)과 같다.

(모드4)

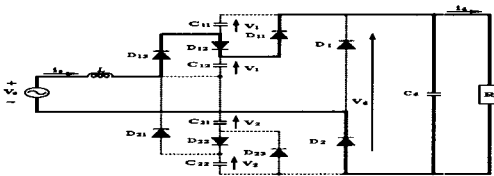
직류측에 전류가 공급되지 않으므로 모드 4에서는 C_d 에 축적된 전하에 의해서 부하측으로 전류가 흐르게 되며 그림 5(d)와 같다.



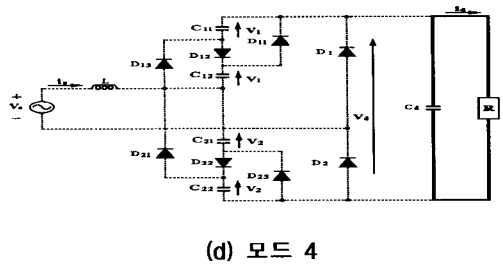
(a) 모드 1



(b) 모드 2



(c) 모드 3



(d) 모드 4
 그림 5 제안한 회로의 동작 모드
 Fig. 5 operating modes of proposed circuit

위에서 해석한 동작모드는 이상적인 해석이지만 실제적으로는 모드 1과 모드 4, 모드 1과 모드 2, 그리고 모드 1과 모드 3이 동시에 동작을 하게 된다. 그림 6은 제안한 회로의 입력전압 및 전류의 파형을 나타낸 것이다. 표 1은 본 논문에서 제안한 에어컨 전력변환장치의 고조파 개선회로에 사용된 회로 정수를 나타낸 것이다.

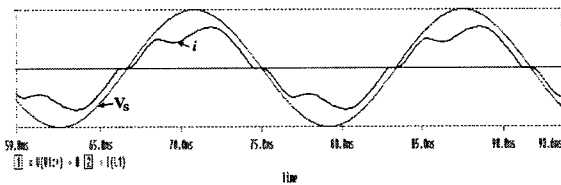


그림 6 제안한 정류회로의 입력전압, 전류 파형
 Fig. 6 Input voltage and current waveform of proposed rectifier circuit

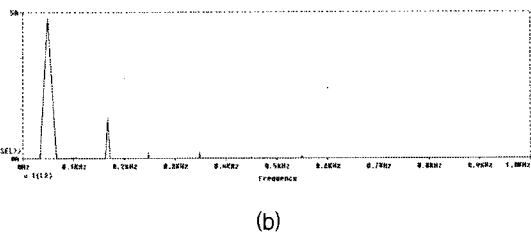
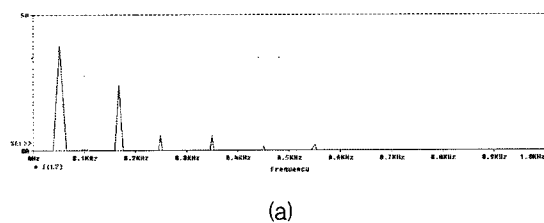


그림 7 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼
 (a) 그림 1의 회로
 (b) 그림 4의 회로
 Fig. 7 Frequency spectrum for input current
 (a) Circuit of fig 1
 (b) Circuit of fig 4

표 1 그림 4에 사용된 회로의 정수
 Table 1 Circuit parameters using fig 4

입력교류전압 V_s	200 [V], 60 [Hz]
리액터 L	4.2[mH], 3[mH]
평활 콘덴서 C_d	4400[μ F]
콘덴서 $C_{11}(=C_{12})$ $C_{21}(=C_{22})$	420[μ F], 73[μ F]
삼각파 캐리어신호 f_c	2160[Hz]
변조도 M	0.9
출력측 필터리액터 L_f	3[mH]
출력측 필터콘덴서 C_f	10[μ F]

그림 7은 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림 7(a)은 그림 1의 회로도에 대한 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이며 그림 7(b)은 그림 4의 회로도에 대한 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 파형에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 회로도의 고조파성분이 적은 것을 알 수 있다.

그림 8은 스위치 $S_1 \sim S_4$ 로 이루어진 일반적인 단상 브리지 회로로 양쪽의 스위치가 각각 서로 다른 시간에 동작을 한다. 즉 스위치 S_1, S_2 가 입력신호의 정의 반주기 동안 스위칭 동작을 하며 부의 반주기 스위치 S_3, S_4 는 휴지하는 기간을 가지게 된다.^[6]

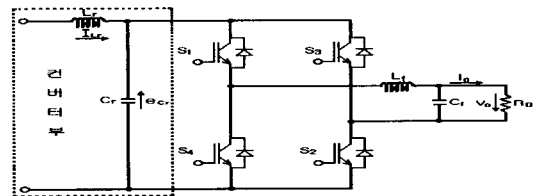


그림 8 제안한 단상 인버터의 주 회로도
 Fig. 8 Main circuit of proposed single phase inverter

인버터의 스위칭 소자에 정현파 입력전압과 삼각파 캐리어 신호에 의해 만들어진 인버터의 게이트 신호를 그림 9와 같이 나타낼 수 있다. 그림 10은 인버터의 스위칭 소자에 정현파 입력전압과 삼각파 캐리어 신호에 의해 만들어진 HPWM 파형을 인가할 경우의 인버터의 출력전압, 전류의 파형을 나타낸 것이다.

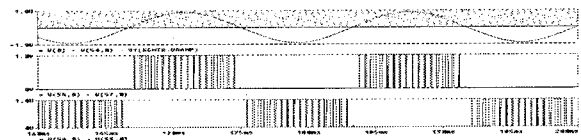


그림 9 제안한 HPWM 인버터의 게이트 신호
 Fig. 9 Gate signal of proposed HPWM inverter

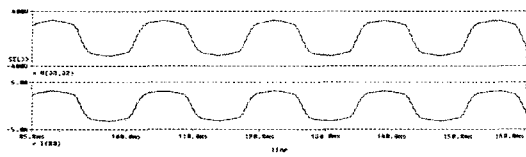


그림 10 제안한 HPWM 인버터의 출력전압, 전류 파형
 Fig. 10 Output voltage and circuit waveform of proposed HPWM inverter

2.1 실험결과 및 고찰

그림 11은 제안한 에어컨 전력변환장치의 고조파 개선의 실험 회로도를 나타낸 것이다. 실험회로에 사용된 전원장치의 전압은 출력전압을 고려하여 설정하였다. 또한 전력용 스위치는 IGBT 시리즈1MBH40-60 ($V_{CE} = 600[V]$, $I_C=40[A]$, $T_{off}=640[ns]$, 20[kHz]기준)을 사용하고, 사용된 다이오드들은 정류형 다이오드를 사용하였다. 인덕터 L 는 Mn-Zn 페라이트 코아로 0.5[mm] 공극으로 3[mH]으로 변화를 주어 구성하고, 콘덴서 $C_{11} - C_{12}$, $C_{21} - C_{22}$ 는 전해콘덴서를 이용하여 73[μF] 주었다.

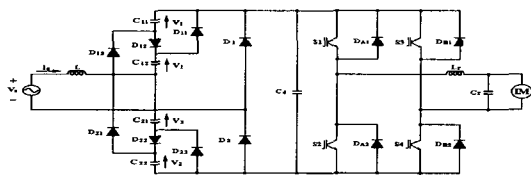


그림 11 제안한 실험 회로도
 Fig. 11 Proposed experimental circuit diagram

그림 12는 입력전압과 입력전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림 12에서 알 수 있듯이 시뮬레이션의 결과와 같이 거의 단위 역률을 이루고 있다.

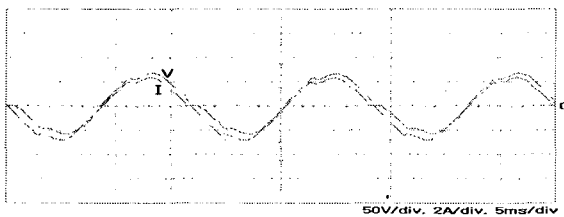


그림 12 입력전압과 입력전류의 파형
 Fig. 12 Waveform of input voltage and current

그림 13은 HPWM 제어신호로서 변조도 0.9, 주파수 60[Hz]의 정현파 변조신호, 주파수 2.160[Hz]의 삼각파 캐리어 신호를 사용한 제어 실험 파형을 나타낸 것이다. 그림 14는 필터를 설치했을 때의 출력전압전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림 14에서와 같이 Low pass filter를 설치할 경우 출력전압전류는 정현파 성분을 띠고 있는 것을 알 수 있으며, 거의 단위 역률로 존재하는 것을 알 수 있다. 이상의 실험 파형들은 시뮬레이션 결과와 잘 일치된다.

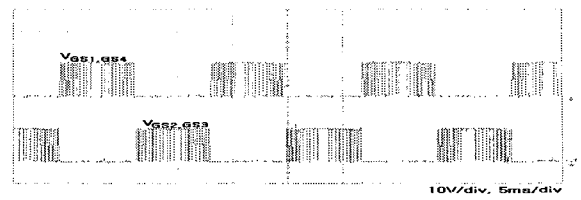


그림 13 인버터 스위치 S1,S4와 S2,S3의 제어신호
 Fig. 13 Control signal of inverter switch S1, S4 and S2, S3

그림 15는 실제 제작한 전력용량 1/2[HP]의 에어컨용 전력변환의 실험장치이다. 그림 15(a)는 전체 실험장치도를 나타낸 것이고, 그림(b)은 제어부분을 나타낸 것이다. 실험 회로에 사용된 전원장치의 전압은 출력전압을 고려하여 설정하였다. 그림 16은 전원부와 제어부를 PIC로 하여 실제 에어컨에 장착한 외형도를 나타낸 것이다.

그림 17은 입력전압의 변화에 따른 그림 1의 회로도와 그림 4의 회로도의 역률을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 전압이 상승하여도 제안한 회로는 크게 역률이 변화하지 않고 일정한 것을 알 수 있다. 그림 18은 출력전류의 변화에 따른 그림 1의 회로도와 그림 4의 회로도의 역률을 비교한 것이다.

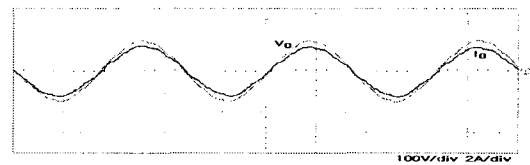


그림 14 출력전압과 출력전류의 파형(필터포함)
 Fig. 14 Waveform of output voltage and current (low pass filter)



(a)



(b)

그림 15 실험장치
 (a) 실험장치의 외형 (b) 제어장치
 Fig. 15 Experimental device
 (a) External of experimental device
 (b) Control device

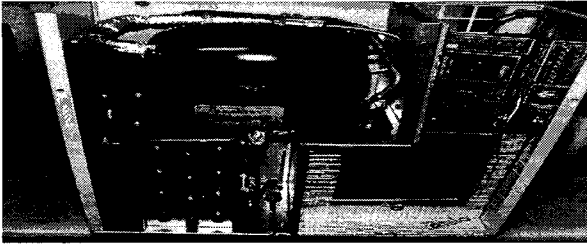


그림 16 실제 에어컨에 장착한 외형도
Fig. 16 The facts air-conditioner outward form

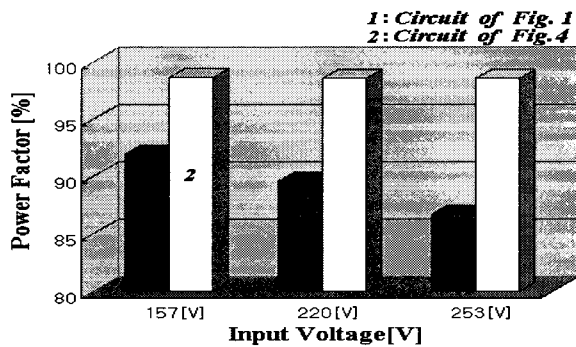


그림 17 입력전압과 역률의 특성
Fig. 17 Characteristics of input voltage and power factor

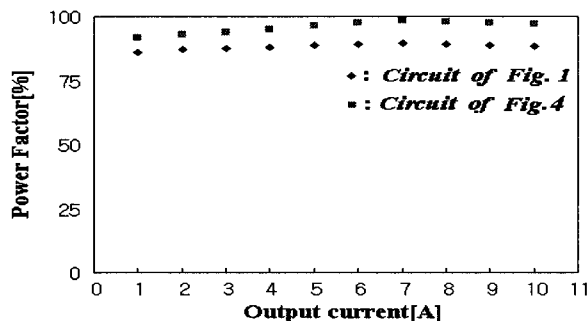


그림 18 출력전류와 역률의 특성
Fig. 18 Characteristics of output current and power factor

3. 결 론

기존의 정류회로에 있어서 대용량 콘덴서를 소용량으로함과 동시에 교류측에 리액터를 삽입해서 공진적으로 콘덴서를 충전전시키는 것에 의한 다이오드 정류회로의 파형 개선법을 제안하였다. 제안한 회로는 수동소자만으로 구성되기 때문에 신뢰성과 경제성에 적합하며, 스위칭 동작을 이용하지 않기 때문에 전자 노이즈등을 문제가 발생하지 않는 특징이 있다. 본 논문에서는 회로정수를 결정하는데 두 개의 특성 파라메타를 이용하여 결정하였으며, 이 파라메타를 정

류회로에 적용하여 실험 및 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 확인하였다. 실험결과에 의해서 전원에 접속되어 있는 다이오드 정류회로의 고조파 전류가 고조파 가드라인을 만족함과 동시에 최대효율 98[%]와 역률97[%]가 얻어졌다. 그리고 수동소자만으로 회로를 구성할 수 있기 때문에 회로구성이 간단하고, EMI 장애가 저감될 수 있다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 에어컨 전력변환장치의 고조파 개선회로를 구성하여 가장 적절한 방법으로 배전압을 구성하여 그 특성 및 입력전압과 전류를 비교하였다. 그리고 제안한 컨버터에서 출력되는 DC전원측에 변조된 신호를 이용한 단상용 인버터를 구성하여 기존의 PWM 인버터의 출력 파형에서 발생하는 문제점들을 제거하여 고조파 성분을 상쇄시키고, 스위칭 손실의 최소화하였다. 이 모든 사항은 시뮬레이션과 시험을 통하여 그 타당성을 증명했다. 결론적으로 본 논문에서 소개한 컨버터와 인버터를 사용하여 실제 에어컨에 적용한다면 많은 잇점을 얻을 수 있다고 사료된다

감사의 글

본 연구는 2002학년도 경남대학교 학술논문게재연구비 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- [1] J.C Salmon, "Performance of A Single Phase PWM Boost Rectifier Using Hysteresis Current Control," EPE'91 Proc. pp4-384~4-389
- [2] J.Holtz. "Pulsewidth Modulation-A Survey", IEEE - PESC Conf. Rec., pp.11~18,1992
- [3] Fujiwara and Nomura: "A Power Factor Correction for Single-phase Diode Rectifiers without Employing PWM Strategy", IPEC-Yokohama,pp.1501-1506, 1995
- [4] 野村: 「單相ダイオード整流回路の高調波電流低減法」, 電氣學會半導體電力變換研究會資料, SPC-96-3, 1996
- [5] 문상필, 서기영, 이현우, 김영문, 김영철. "심플한 단상 에어컨의 역률개선회로에 관한 연구" 조명설비학회지, Vol. 15, No.2, pp.73~79. March 2001
- [6] 백수현 외 1인 "반도체 전력변환회로를 중심으로 한 전력 전자" 동일출판사, 1997

저 자 소 개



문 상 필(文 相 弼)

1997년 부경대학교 전기공학과 졸업.
1999년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 박사수료

E-mail : mun2630@hanmail.net

Tel : 055-249-2630



박 영 조(朴 永 祚)

2002년 경남대학교 전기공학과 졸업.
2002년 경남대학교 대학원 전기공학과 석사과정

E-mail : 59pyj@hanmail.net

Tel : 055-249-2630



서 기 영(徐 基 永)

1965년 한양대학교 전기공학과 졸업.
1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).
현 경남대학교 전기전자공학부 교수

E-mail : skiyoung@kyungnam.ac.kr

Tel: 055-249-2630

Fax : 055-249-2630