

에어컨용 단상 배전압 컨버터 회로에 관한 연구

문 상 필, 서 기 영, 이 현 우, *김 영 문
 경남대학교 전기전자공학부, *마산대학 전기과

A study on air-conditioner single-phase voltage-doubler converter circuit

Sang-Pil Mun, Ki-Young Suh, Hyun-Woo Lee, *Young-Mun Kim
 Kyungnam University, *Masan College

Abstract - 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. 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 reduce and the power factor improve. A circuit design method is shown by experimentation and confirmed simulation. It explained that compared conventional pulse-width modulated (PWM) inverter with half pulse-width modulated (HPWM) inverter. Proposed HPWM inverter eliminated dead-time by lowering switching loss and holding over-shooting.

력전압, 전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림3은 고역률 다이오드 정류 회로를 나타낸 것이다. 그림3의 회로 구성은 기존의 배전압형과 유사하지만 C_1, C_2 를 소용량으로 하였으며, 교류측에 리액터 L 를 삽입하여 그림4와 같이 콘덴서 C_1 및 C_2 의 전압 V_{C1}, V_{C2} 가 전원의 반사이클간에 0(V)와 부하전압 V_L 사이에서 총방전하는 것이 기존의 배전압정류회로와 동작이 다르다. 전원 반사이클의 전반에 걸쳐 입력전류의 위상은 L 과 C_1, C_2 의 공진으로서 실현하고, 도통구간의 확대는 리액터 L 에 축적된 에너지를 이용하는 것이다.

1. 서 론

우리나라에서는 90년대 중반부터 비로소 인버터 에어컨을 생산하고 있으나 비싼 가격 때문에 아직까지는 폭넓게 확산되고 있지는 못하는 실정이다. 에너지 절약을 위해서 적용했던 인버터 방식에서는 주로 정류부 다음에 큰 전해캐패시터를 사용하고 있기 때문에 인입선에 펄스성 전류가 흐르게 된다. 이러한 전류 때문에 역률이 낮아지고 고조파전류가 많아져서 송전 효율이 낮아지며, 송전효율이 떨어진다.^(1~6) 이러한 문제점들을 개선하기 위해서 본 연구에서는 다이오드와 콘덴서로서 구성되어지는 비선형 캐패시턴스 회로와 정류회로의 입력전류의 파형을 개선하는 방법을 제안하고자 한다. 그리고 이를 이용하여 효율이나 경제성 및 전자 노이즈 등의 문제점들을 해결하고자 한다. 또한 인버터 에어컨의 전부하 범위에서 역률을 높이고 총고조파 왜곡률을 낮추기 위해서 스위칭 소자를 일정한 주파수로 제어하면서 전류특성이 우수한 평균전류제어기법을 사용한 Boost방식의 DC-DC 컨버터를 적용하여 역률 및 THD를 저감시키고자 한다. 그리고 본 논문에서는 부분공진 스위칭 컨버터에서 출력되는 DC 전원측에 변조된 신호를 이용한 단상용 인버터를 구성하여 기존의 PWM (Pulse Width Modulated) 인버터의 출력 파형에서 발생하는 여러 가지 문제점들 해결하고자 한다. 이 모든 사항은 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 입증하고자 한다.

2. 회로구성 및 동작원리

2.1 고역률 다이오드 정류회로

그림1과 2는 일반적인 에어컨의 전원부 회로와 입

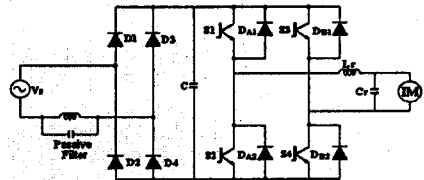


그림 1. 일반적인 에어컨의 전원부 회로

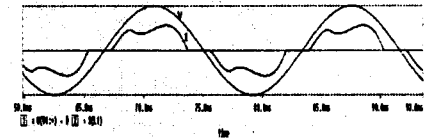


그림 2. 일반적인 에어컨의 전원부의 입력전압, 전류파형

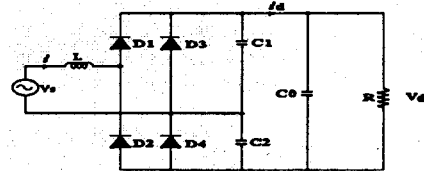


그림 3. 고역률 다이오드 정류회로

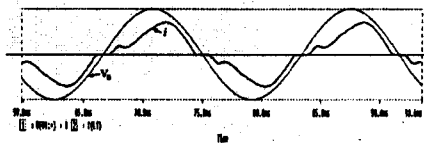


그림 4. 고역률 다이오드 정류회로의 입력전압, 전류의 파형

그림5는 제안한 비선형 캐패시턴스 회로를 나타낸 것이다. 그림5에서 전류 i 가 그림5-(a)와 같은 방향으로 흐르는 경우에는 다이오드 D_2 가 도통해서 C 가 직렬로 구성되므로 캐패시턴스는 $C/2$ 로 된다. 그리고 전류 i 가 그림5-(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.

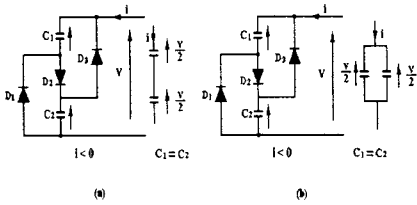


그림 5. 비선형 캐패시터의 회로

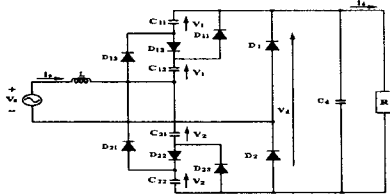


그림 6. 제안한 비선형 캐패시터를 이용한 고역률 정류회로

그림6은 제안한 역률개선 회로를 갖는 배전반용 에어 컨 시스템을 나타낸 것이다. 회로구성을 간단히 하기 위해서 리액터L은 0으로 하며, C11-C12과 C21-C22의 값은 같은 것으로 한다. 제안한 회로는 입력전압 v_s 가 정의 반주기동안에 4개의 모드로 구성되며 그 동작원리의 설명은 그림7과 같다.

(모드1)

v_s 가 정으로 되면 D_{22} 가 도통하고, C21-C22가 직렬로 충전되어지는 모드이다. 이 충전동작은 입력전압이 최대가 될 때까지 동작된다. 이때 C21-C22는 입력전압의 최대값 V_m 의 1/2까지 충전되어진다. 이것은 그림5(a)에서 전류 i 가 정의 경우에 해당된다.

(모드2)

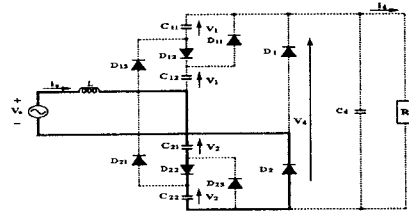
모드2에서는 C11-C12에 충전된 전압 $V_m/2$ 이 $v_s + v_1 > v_d$ 된 시점에서 D_{11} 과 D_{13} 가 도통되는 모드이다. 이때 직류측에 전류를 공급하게 된다. 전류가 흐르므로서 C1에 축적된 전하는 서서히 방출되며, 전압 v_1 은 감소한다. 이것은 그림5(b)에서 전류 i 가 부의 경우에 해당된다.

(모드3)

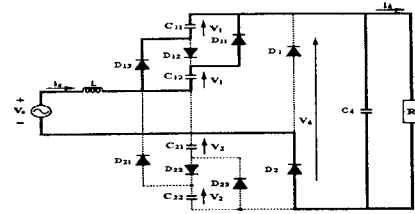
$v_1=0$ 로 된 시점에서 $v_s > v_d$ 로 하면, 회로는 전파정류회로와 같은 동작을 하게 된다.

(모드4)

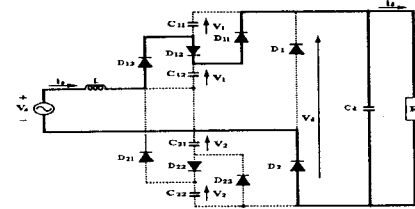
직류측에 전류가 공급되지 않으므로 모드 4에서는 Cd에 축적된 전하에 의해서 부하측으로 전류가 흐르게 된다.



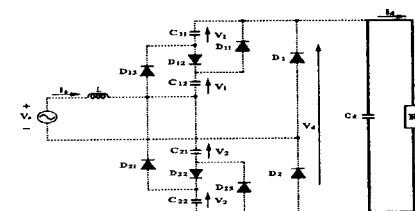
모드 1



모드 2



모드 3



모드 4

그림 7. 제안한 회로의 동작 모드

위에서 해석한 동작모드는 이상적인 해석이지만 실제적으로는 모드1과 모드4, 모드1과 모드2, 그리고 모드1과 모드3이 동시에 동작을 행하게 된다. 그림8은 제안한 회로의 입력전압 및 전류의 파형을 나타낸 것이다.

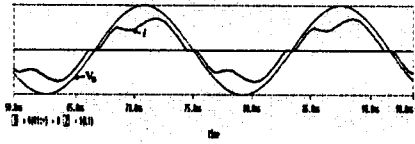


그림 8. 제안한 비선형 캐패시터를 이용한 고역률 정류회로의 입력전압, 전류의 파형

2.2 HPWM 인버터회로

그림9는 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. 그림10은 불연속모드를 설명하기 위한 이상적인 경우를 그림으로 나타낸 것이며, 실제에 있어서는 주스위치의 오프 이후 C_f 의 영향에 의해 L_f 이 0이 되기까지는 약간의 시간지연이 발생한다. 그림10에 제어신호와 전류파형 I_L 를 나타내고, 인버터의 PWM 제어신호는 정현파 입력신호 $v_i = V_{im} \sin \omega_i t$ 와 삼각파 캐리어신호 $v_c = V_{cm} \cdot t_r(\omega_c t)$ 을 비교하여 얻는다. 삼각파 캐리어신호 주기 T_c , 스위칭 온기간 T_1 , 오프기간 T_2 에 대한 상태는 다음 식으로 정리된다.

$$T_1 = t_1 - t_0 = T_c a \sin \omega_i t_0 \quad (1)$$

$$T_2 = T_c - T_1 = T_c (1 - a \sin \omega_i t_0) \quad (2)$$

여기서, $\omega_i = 2\pi f_i$, a 는 변조율로 $a = V_{im}/V_{cm}$ 로 정의된다.

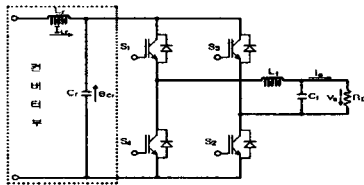


그림 9. 제안한 단상 인버터의 주 회로도

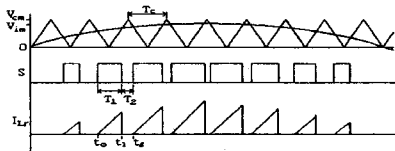


그림 10. 반주기에 대한 동작 파형

2.3 시뮬레이션 결과 및 검토

제안된 전력변환장치의 제어 스위치는 가변 저항 스위치로 가정하고 그 외 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 하였다. 표 1은 그림3의 회로에 사용된 회로 정수를 나타내었다.

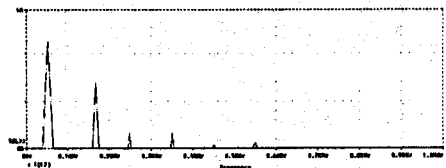
표 1. 그림 3에 사용된 회로의 정수

| | | | |
|-----------------------------|------------------|--------------|--------------|
| 입력교류전압 V_s | 220 [V], 60 [Hz] | | |
| 리액터 L | 2.5[mH] | 3.0[mH] | 5.0[mH] |
| 콘덴서 $C_r (=C_{r1}, C_{r2})$ | 88[μ F] | 73[μ F] | 78[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] | | |

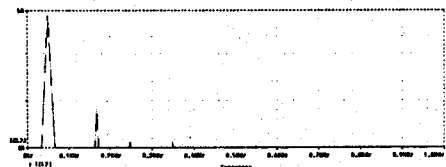
표 2는 본 논문에서 제안한 비선형 캐패시터를 이용한 고역률 정류회로에 사용된 시뮬레이션 회로 정수를 나타낸 것이다. 그림11은 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림11(a)은 그림3의 회로도에 대한 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이며 그림(b)은 그림6의 회로도에 대한 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 과정에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 회로도의 고조파성분이 적은 것을 알 수 있다.

표 2. 제안한 고역률 정류회로에 사용된 시뮬레이션 회로 정수

| | |
|--|------------------|
| 입력교류전압 V_s | 220 [V], 60 [Hz] |
| 리액터 L | 6.6[mH] |
| 평활 콘덴서 C_d | 4400[μ F] |
| 콘덴서 $C_{11}(=C_{12})$ $C_{21}(=C_{22})$ | 157[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] |



(a)



(b)

그림 11. 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼

- (a) 그림 3의 회로도
(b) 그림 6의 회로도

인버터의 스위칭 소자에 정현파 입력전압과 삼각파 캐리어 신호에 의해 만들어진 인버터의 게이트 신호를 그림12와 같이 나타낼 수 있다. 그림13은 인버터의 스위칭 소자에 정현파 입

력전압과 삼각파 캐리어 신호에 의해 만들어진 HPWM 파형을 인가할 경우의 인버터의 출력전압, 전류의 파형을 나타낸 것이다.

그림14는 기존의 PWM방식(I)과 제안한 HPWM방식(II)의 출력측 전압, 전류에 대한 주파수 스펙트럼을 나타내고 있다. 여기서 알 수 있듯이 맥동분을 제거하기 위하여 인버터 입력전류를 불연속으로 하여 입력신호 주파수의 저주파 리플 성분과 캐리어 주파수에 대한 고주파 리플성분으로 분리하여 해석함으로써 인버터의 우수배 고주파 성분을 제거할 수 있으며, 인버터의 스위칭 동작을 정현파 한 주기 동안에 반주기만 PWM동작을 하도록 함으로써 인버터의 손실을 최소화 할 수 있었다.

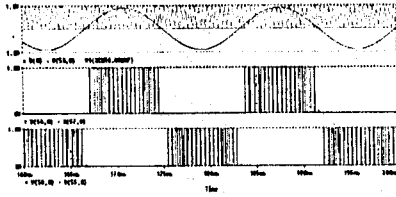


그림 12. 제안한 HPWM 인버터의 게이트 신호

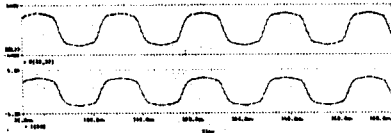
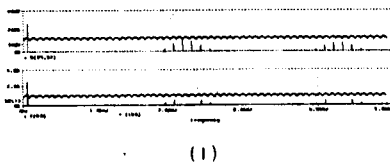
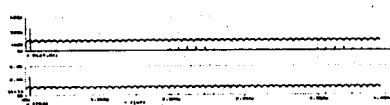


그림 13. 제안한 HPWM 인버터의 출력전압, 전류파형



(I)



(II)

그림 14. 출력전압·전류의 주파수 스펙트럼
(I) 기존의 PWM 인버터
(II) 제안한 HPWM 인버터

2.4 실험 결과 및 검토

그림15는 제안한 역률개선회로를 갖는 배전반용 에어컨 시스템의 실험 회로도를 나타낸 것이다. 실험회로에 사용된 전원장치의 전압은 출력전압을 고려하여 설정하였다.

또한 전력용 스위치는 IGBT 시리즈1MBH40-60(VCE = 600[V], IC=40[A], Toff=640[ns], 20[kHz]기준)을 사용하고, 사용된 다이오드들은 정류형 다이오드를 사용하

였다. 인덕터 L는 Mn-Zn 페라이트 코어로 0.5[mm]공극으로 6.6[mH]으로 변화를 주어 구성하고, 콘덴서 C₁₁ - C₁₂, C₂₁ - C₂₂는 전해콘덴서를 이용하여 157[μF] 주었다.

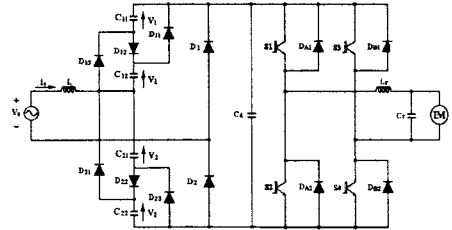


그림 15. 역률 개선 회로를 갖는 배전반용 에어컨 시스템의 실험 회로도

그림16은 입력전압과 입력전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림16에서 알 수 있듯이 시뮬레이션의 결과와 같이 거의 단위 역률을 이루고 있다.

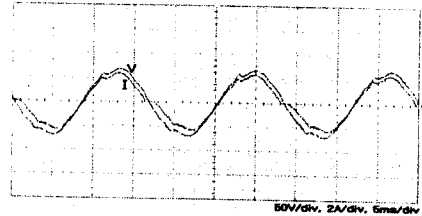


그림 16. 입력전압과 입력전류의 파형

그림17은 인버터 스위치에 인가되는 각각의 제어신호를 나타낸 것이다. 그림18은 입력 220[V], 출력1.0[kW]급 인버터의 실험회로에 대한 파형을 나타낸 것이다. 그림19는 필터를 설치했을 때의 출력전압전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림에서 서와 같이 Low pass filter를 설치할 경우 출력전압전류는 정현파 성분을 띄고 있는 것을 알 수 있으며, 거의 단위 역률로 존재하는 것을 알 수 있다. 이상의 실험 파형들은 시뮬레이션 결과와 잘 일치된다.

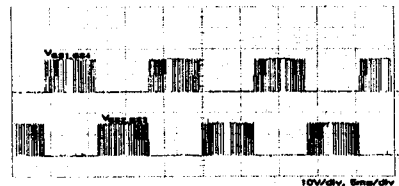


그림 17. 인버터 스위치 S1,S4와 S2,S3의 제어신호

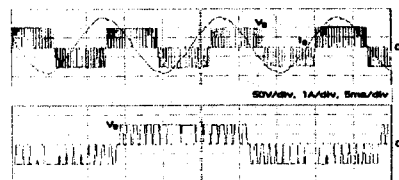


그림 18. 출력전압과 출력전류의 파형

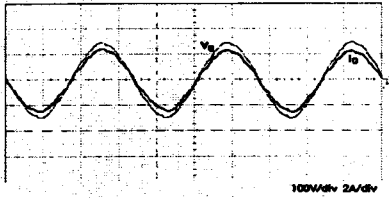


그림 19. 출력전압과 출력전류의 파형 (필터포함)

3. 결 론

본 논문은 역률 개선형 에어컨용 단상 배전압 컨버터 회로에 관한 연구이다 정류기에 역률제어회로를 이용하여 전원선으로의 고조파 삽입을 줄일수 있고, 효율을 향상시킬 수 있으며, 기존의 인버터와 비교해서 전체 시스템 가격을 낮출수 있다. 또한 역률 제어회로의 출력전압을 안정화함에 의해서 시스템 성능을 향상 시킨다. 다이오드 정류기의 전류파형을 향상시키기 위해 전압 다이오드 정류기에 대한 새로운 원리를 제안한다. 기존의 배전압 정류회로에서 상대적으로 큰 커패시터는 출력전압을 승압시키기 위해 사용되어졌다. 반면에 제안된 회로는 출력 전압을 승압시키지 않기 위해서 작은 커패시터와 리액터를 설치한 정류기를 사용하여 입력전류 파형을 향상시켰다. 제안한 회로의 설계방법은 시뮬레이션과 실험에 의해 확인 하였다. 기존의 펄스폭 변조 인버터(PWM)와 반펄스폭변조 인버터(HPWM)을 비교하였다. 그리고 본논문에서 제안된 HPWM 인버터는 낮은 스위칭 손실과 오버슈팅을 제어할 수 있다. 본 논문에서 나온 출력 전압과 전류를 실제 에어컨에 적용하면 유용할것으로 사료된다.

(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] K.Fujiwara and H.Nomura: "Improvement of Current Waveform for 200V Input Single-phase Rectifier Using Modified Voltage-doubler Circuit", Proceedings of Power Conversion Conference - NAGOAOKA, pp.897 ~ 900, 1997
- [6] 문상필, 서기영, 이현우, 김영문. "220(V) 단상 에어컨 용 전력 변환장치에 관한 연구", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.1-2~1-3, 1999
- [7] 문상필, 서기영, 이현우, 김영문, 김영철. "심플한 단상 에어컨의 역률개선회로에 관한 연구" 조명설비학회지, Vol. 15, No.2, pp.73~79, March 2001
- [8] Philip C. Todd, "UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design", Unitrode Application Note U-134, pp. 10-303~10-322