

패널용 에어컨의 역률 개선 및 고조파 저감

(Power Factor Correction Improvement and Total Harmonic Distortion Reducing for Panel's Air-conditioner)

박성우* · 박정우* · 이현우
*한일콘트롤 · 경남대학교

S. W. Park* · J. W. Park* · H. W. Lee
* Hanil Control · Kyungnam University ·

Abstract

High Power factor Active Filter converter is used for Inverter Air conditioner power supply to meet IEC standard. In the active filter topology for power factor, extra switch just control the input current indirectly to meet the IEC standard for reducing the cost and size.

In this paper, low cost converter was suggested by simulation using extra switch which auxiliary pulse is inserted and quasi resonant soft switching topology control is adapted for panel's inverter air conditioner converter

Inserting auxiliary Pulse method to the extra switch has the benefit of reducing THD by low cost input control circuit. And also quasi resonant soft switching topology can reduce switching loss. So both technical is suitable for Panel's Air conditioner.

1. 서 론

에어컨은 기존의 압축기에 사용되어 왔던 유도전동기의 단순 On/Off 종류에서 전동기의 회전속도를 제어하여 압축기의 능력을 다양하게 조절하여 전체적인 효율향상과 에너지 절감 문제를 해결하기 위한 인버터 에어컨으로 발전해 왔다. [1]-[5]

인버터 에어컨의 전원장치의 구성은 정류회로부, 인버터부, 컨트롤러용 전원부 3가지로 분류된다. 에어컨의 기본 전원이 AC 220V를 사용함으로 일반적으로 다이오드 정류회로를 거친 인버터부 공급 전압은 DC 280V로 변환하고 있다. 하지만 직류 전원으로 채택되어 사용하고 있는 캐패시터 입력형 다이오드 정류회로는 역률이 대단히 나쁘며 입력 전류의 고조파 성분에 의해서 유도 장애가 문제시되고 있다. [6]-[7]

인버터 에어컨에 사용되는 Active Filter 방식은 스위칭 기법에 따라 완전 스위칭 방법, 부분 스위칭 방법, 간의 스위칭 방법이 있다. 세 방법 모두 다이오드 정류회로에 승압형 초퍼 회로를 사용하고 있다. 특히 간의 스위칭 방법은 전원 전류 및 출력 직류 전압은 제어하지 않고 IEC 규격을 만족하는 정도로 전류를 변형시키는 방법으로 제어부의 간소화를 도모하고 저비용을 목적으로 하는 방식이다. [8]-[13]

본 논문에서는 패널용 인버터 에어컨에서 역률을 개선하고 THD(Total harmonic distortion)를 저감하여 IEC 규격을 만족하면 경제성 면에서 유리한 간의 스위칭 방식의 역률 개선 방법에 대해 검토하고, 간의 스위칭 방법에 의한 역률 개선의 보다 효율적인 적용을 위해서 보조펄스 첨가법과 부분공진 소프트 스위칭 회로의 적용의 타당성을 검토하고 있다. [14]-[16]

2. 본 론

2.1 간의 스위칭에 의한 역률 개선

2.1.1 역률 개선회로를 가지는 컨버터

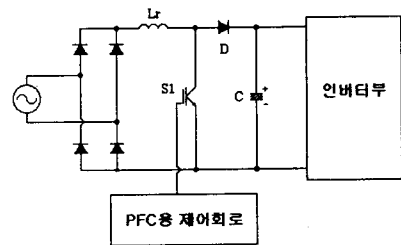


그림 2.1 역률 개선회로를 가지는 컨버터 회로

그림 2.1은 간의스위칭 방식의 역률 개선 회로를 가진 컨버터이다. 이 컨버터 회로는 다이오드 브리지 와 리액터 L 스위칭 소자 S 역류 방지용 다이오드 및 평활용 캐패시터로 구성된 승압 초퍼 회로로 구성되어 있다.

전원전압의 반주기에 1회만 초퍼 회로의 스위칭 소자들을 온 상태로 하는 제어방식의 특징으로 액티브 필터방식이나 PWM컨버터 등의 고조파 스위칭에 기인한 모든 문제를 최소한으로 억제하고, 초크 입력형 정류회로의 저역률, 출력전압의 저하의 문제를 개선하고, 비교적 낮은 가격으로 실현하는 것이 가능하여 패널용 에어컨의 전원장치로 가장 적합하다.

2.1.2 간의스위칭방식 역률 개선형 컨버터 동작원리

간의 스위칭방식 역률 개선형 컨버터 동작원리는 입력교류 전압의 순시치의 큰 출력 직류전압 즉 캐패시터 전압 V_c 보다 낮은 기간에, 입력교류전압의 반 사이클에 1번만 스위칭 소자 S_1 의 스위칭 동작으로 On 상태를 만든다. 이 동작에 의해, 전원 v_s 가 단락해서 입력전류가 흐르고, 컨버터의 역률이 개선되며, 3차 고조파가 저감이 가능하다. 그림 2.2 는 간의 스위칭 방식의 역률 개선형 컨버터의 입력전압 v_s 와 입력전류 i_s 의 파형을 나타낸다.

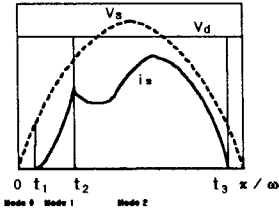


그림 2.2 입력전압 · 입력전류 · 제어전압파형

2.1.3 동작해석

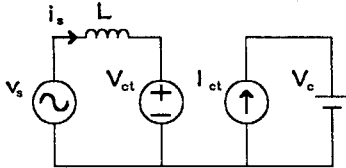


그림 2.3 역률 개선회로를 가지는 컨버터 등가회로

그림 2.3에 역률 개선회로를 적용한 컨버터를 위한 해석모형을 나타내었다. 해석에 있어서는, 간이화를 위해 출력평활 캐패시터 C는 부하에 대응하여 충분히 큰 것으로서 직류전압원 V_c 로 가정하였다. 또, 스위칭에 수반한 손실과 스위칭 소자의 전압강하는 무시되고, 스위칭 회로를 가제어전압원 V_{cd} 로 가정하였다.

간이스위칭 컨버터의 회로동작에서는, 입력교류전압의 반싸이클마다 3개의 동작모드가 존재한다.

2.1.4 간이 스위칭방식 역률 개선형 컨버터의 입력 특성

입력 전류 실효치 I_s 는 식 (2.1)과 같다

$$I_s = \sqrt{\frac{\omega}{\pi} (I_{d0}^2 + I_{s1}^2 + I_{s2}^2)} \quad \text{.....(2.2)}$$

식 (2.1)을 각각 식 (2.2)에 대입하여 정리하면 입력전류의 실효치 I_s 는 식 (2.3)으로 나타낼 수 있다

$$I_s = \left[\frac{1}{\pi} \left[I_p^2 \left\{ \omega T_c \left(\frac{1}{2} - \cos^2 \omega t_1 \right) - 2 a_1 \cos \omega t_1 + \frac{a_2}{4} \right\} + \frac{\omega T_e I_e^2}{3} + I_p \{ I_e (2 \sin \omega t_3 - \omega T_e \cos \omega t_1) + 2 I_c a_3 \} \right] \right] \quad \text{.....(2.3)}$$

$$\text{단, } T_e = t_3 - t_1$$

$$I_e = K T_e$$

$$I_c = \frac{V_c}{\omega L}$$

$$a_1 = \sin \omega t_3 - \sin \omega t_1$$

$$a_2 = \sin 2\omega t_3 - \sin 2\omega t_1$$

$$a_3 = \cos \omega t_3 - \cos \omega t_2$$

입력전력 P_s 는 식 (2.4)에서 구할 수 있다.

$$P_s = \frac{\omega}{\pi} (P_p + P_{s1} + P_{s2}) \quad \text{.....(2.4)}$$

입력전압 v_s 와 식(2.1)에 의해 P_p , P_{s1} , P_{s2} 를 각각 구하여 식 (2.4)에 대입하여 정리하면 식 (2.5)와 같다.

$$P_s = \frac{1}{\pi} \left\{ P_p \left(\frac{b_2}{4} - b_2 \cos \omega t_1 \right) + V_3 I_e \cos \omega t_3 - V_c I_p b_3 \right\} \quad \text{.....(2.5)}$$

$$\text{단, } P_p = \omega L I_p^2$$

$$b_1 = \cos 2\omega t_3 - \cos 2\omega t_1$$

$$b_2 = \cos \omega t_3 - \cos \omega t_1$$

$$b_3 = \sin \omega t_3 - \sin \omega t_2$$

총합역률 λ 는 식 (2.3), 식 (2.5)에서 식 (2.6)으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda = \frac{\sqrt{2} P_s}{I_s V_s} \quad \text{.....(2.6)}$$

2.1.5 고조파해석

입력전류에 포함된 n차 고조파의 실효치를 I_{sn} 이라 하고, n차의 푸리에 계수를 A_n, B_n 이라 하면, 하고 다음 식 (2.17)로 주어지게 된다.

$$I_{sn} = \sqrt{\frac{A_n^2 + B_n^2}{2}} \quad \text{.....(2.17)}$$

여기에서, 전주기에 있어서 푸리에 계수 A_n, B_n 은 각 모드에 있어서의 푸리에 계수로 분할 가능하여, 모드 0 ~ 2에 있어서의 n차의 푸리에 계수를 각각 A_{n0} 와 A_{n1} 와 B_{n1} , A_{n2} 와 B_{n2} 라 하면 각각 아래 식과 같다.

$$A_n = A_{n0} - A_{n1} - A_{n2} \quad \text{.....(2.18)}$$

$$B_n = B_{n0} - B_{n1} - B_{n2} \quad \text{.....(2.19)}$$

식 (2.5), 식 (2.8), 식 (2.11)에서 있어서 A_{n0}, A_{n1}, A_{n2} 와 B_{n0}, B_{n1}, B_{n2} 를 각각 구하여 식(2.18), 식(2.19)에 각각 대입하여 정리하면 푸리에 계수 A_n, B_n 은 아래 식과 같다

$$A_n = \frac{1}{\pi} \left\{ I_p \left(\frac{2c_1}{n} \cos \omega t_1 - \frac{c_2}{n-1} - \frac{c_3}{n-1} \right) - \frac{2K}{n} \left(T_e \sin \omega t_3 + \frac{c_4}{n\omega} \right) \right\} \quad \text{(2.20)}$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \left\{ I_p \left(\frac{2d_1}{n} \cos \omega t_1 - \frac{d_2}{n-1} - \frac{d_3}{n-1} \right) + \frac{2K}{n} \left(T_e \sin \omega t_3 - \frac{d_4}{n\omega} \right) \right\} \quad \text{(2.21)}$$

$$\text{단, } c_1 = \sin \omega t_3 - \sin \omega t_1$$

$$c_2 = \sin(n-1)\omega t_3 - \sin(n-1)\omega t_1$$

$$c_3 = \sin(n+1)\omega t_3 - \sin(n+1)\omega t_1$$

$$c_4 = \cos n\omega t_3 - \cos n\omega t_2$$

$$d_1 = \cos n\omega t_1 - \cos n\omega t_3$$

$$d_2 = \cos(n-1)\omega t_1 - \cos(n-1)\omega t_3$$

$$d_3 = \cos(n+1)\omega t_1 - \cos(n+1)\omega t_3$$

$$d_4 = \sin \omega t_3 - \sin \omega t_2$$

2.2 시뮬레이션 및 검토

2.2.1 역률 개선 회로의 입력 전류의 고조파 분석

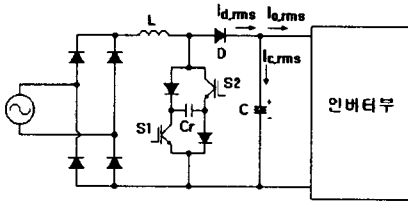


그림 2.8 시뮬레이션 회로도

표 1. 시뮬레이션 회로정수

입력전압	단상 AC 220 [V]
입력 필터	3 [mH]
공진용 인덕터	6 [mH]
평활 캐패시터	6000 [uF]
부하전류	3 [A]

표 1에 나타난 회로정수를 사용하여 PSpice에 의해 그림 2.8을 시뮬레이션 하였다. 사용된 소자는 이상적인 조건으로 하였다.

간의 스위칭 범에 의해 전압이 0 크로스 점을 통과한 직후에 한번의 펄스를 인가하여 입력 전압 및 전류 그리고 FFT를 분석하였으며, 경우 1에서는 단일펄스와 함께 입력 전류가 0가 되기 직전에 한번의 보조 펄스를 인가하였고, 경우 2에서는 단일 펄스 Off 직후 보조펄스를 인가하였다. 경우 3에서는 경우 1과 경우 2에서의 펄스를 동시에 인가하였고 경우 4에서는 방법 3과 함께 단일 펄스 앞에 보조 펄스를 인가하여 스위칭하였다. 각각 경우에는 비고를 위해서 단일펄스 인가시와 같은 펄스를 인가하고 각각의 보조 펄스를 인가하였다.

2.2.2 시뮬레이션 결과

(1) 단일펄스 인가

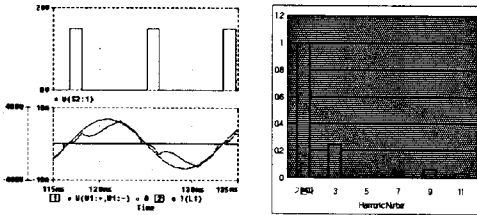


그림 2.9 단일펄스 제어법과 입력 전압 전류 및 FFT

(2) 보조펄스 인가 (경우 1)

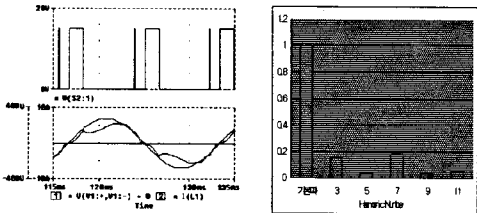


그림 2.10 경우 1의 제어법과 입력 전압 전류 및 FFT

(3) 보조펄스 인가 (경우 2)

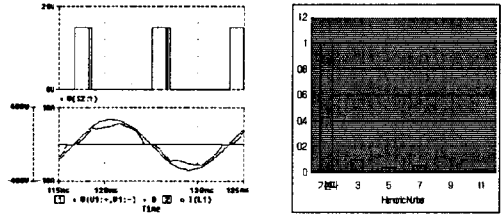


그림 2.11 경우 2의 제어법과 입력 전압 전류 및 FFT

(4) 보조펄스 인가 (경우 3)

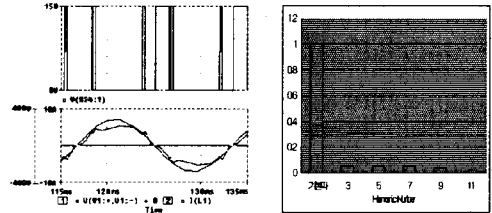


그림 2.12 경우 3의 제어법과 입력 전압 전류 및 FFT

(5) 보조펄스 인가 (경우 4)

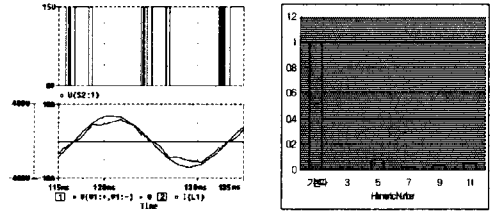


그림 2.23 경우 4의 제어법과 입력 전압 전류 및 FFT

단일펄스 인가방법과 보조펄스 첨가 방법에 대해 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 그림 2.24은 제어 방법에 따른 고조파 비율을 나타내었다. 시뮬레이션 결과 단일 펄스에 의한 고조파 저감 방법보다, 보조 펄스를 첨가하면 훨씬 더 많은 고조파 저감 효과가 있음을 알 수 있다.

각각의 경우에서 고조파 지수가 크게 바뀌는 것은 On 시간의 길이에 의해 특정차수의 고조파전류의 크기가 바뀌기 때문이다.

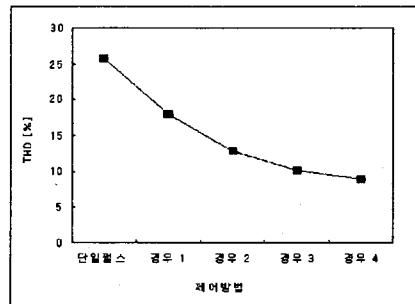


그림 2.24 제어 방법에 따른 왜형률

3. 결 론

단상 중용량 정류회로인 인버터 에어컨용 직류전원에서는 IEC 규격에 대응하기 위해 Active Filter 고역용 컨버터를 적용하고 있다. Active Filter 방식의 역률 개선 회로에서 간이스위칭 방법은 전원 전류 및 출력 직류 전압은 제어하지 않고 IEC 규격을 만족하는 정도로 전류를 변형시키는 방법으로 제어부의 간소화를 도모하고 저 비용을 목적으로 하는 방법이다.

본 논문에서는 패널용 인버터 에어컨에서 역률을 개선하고 THD(Total harmonic distortion)를 저감하여 IEC 규격을 만족하면 경제성 면에서 유리한 간이스위칭 방식의 역률 개선 방법에 대해 검토하고, 간의 스위칭 방법에 의한 역률 개선의 보다 효율적인 적용을 위해서 보조필스 첨가법과 부분공진 소프트 스위칭 회로를 제시하였다.

보조 필스 첨가법은 원필스 뒤에 짧은 보조필스를 인가하여 입력전류의 THD를 기존의 방법보다 저감시킬 수 있는 장점이 있다, 또한 부분공진 소프트 스위칭 회로를 적용하면 스너브 회로가 필요 없고, 스위칭 손실이 줄어드는 장점이 있다.

이상의 시뮬레이션을 통하여 제안한 보조필스 첨가법과 부분공진 소프트 스위칭기법을 적용한 역률 개선 회로는 간의 스위칭 방법보다 고조파 성분을 저감하였고 저가의 주회로 및 제어회로 구성으로 패널용 에어컨의 적용이 용이함을 검증하였다.

참고문헌

- [1] 이홍원,배영돈,오성제,이원우,김재훈,정주식. “에너지절약형 고효율 에어컨 開發에 關한 最終報告書”, 상공자원부, 1994.3
- [2] 이현우. “전력변환회로에서의 역률 개선(PFC)을 위한 소프트 스위칭(Soft Switching)기법”, 전력전자학회지 제6권 1호, pp12~19
- [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