

2분할 전류유입 공진 회로를 이용한 PFC회로의 설계

장우신, 고강훈, 서기영, 이현우, 곽동걸*
 경남대학교, 동해대학교*

Design of the Circuit for a Power Factor Correction using the Two-Input Current Resonant

W.S. Jang, K.H. Koh, K.Y. Seo, H.W. Lee, D.K. Kwak*
 Kyungnam Univ., Donghae Univ.*

Abstract - On the active filter converter for power factor correction is used inverter for a air-conditioner's power supply to meet IEC standard. In the active filter topology for power factor correction, extra switch only control the input current indirectly to satisfied with the IEC standard for reducing the cost and size.

In this paper, by dividing the input current into two different modes, the current conduction period can be widened and harmonics can largely be canceled between the two modes. Hence, the harmonics characteristics can be significantly improved, whereby the lower order harmonics, such as the fifth and seventh orders, are much reduced. The results are confirmed by theoretical and experimental implementations.

1. 서 론

1980년대 후반부터 생활수준의 향상과 쾌적한 공간에 대한 소비자들의 욕구 증대로 인하여 에어컨에 대한 관심과 수요가 점차 증가하기 시작했다. 특히 최근에는 에어컨의 절전기능을 크게 강화시킨 인버터 에어컨이 가정이나 산업용기기에 널리 보급되고 있다.

인버터 에어컨의 전원장치의 구성은 정류회로부, 인버터부, 컨트롤러용 전원부 3가지로 분류된다. 국내의 경우에는 에어컨의 기본 전원이 AC 220V를 사용함으로 일반적으로 다이오드 정류회로를 거친 인버터부 공급 전압은 DC 280V로 변환하고 있다. 하지만 직류 전원으로 채택되어 사용하고 있는 커패시터 입력형 다이오드 정류회로는 역률이 대단히 나쁘며 입력 전류의 고조파 성분에 의해서 유도 장애가 문제시되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

종래의 수동형 필터 기법은 정류회로에 인덕터와 커패시터의 조합으로 역률을 개선하는 방법으로 운전능력이 광범위하게 변화하는 에어컨에서는 효과적으로 고조파를 억제할 수 없으며 역률도 개선시킬 수 없다. 따라서 능동적으로 전류 및 전압을 제어하는 능동 필터 방식이 적용되어야 한다.

현재 인버터 에어컨에 사용되는 능동필터방식은 크게 3가지가 있으며, 스위칭 기법에 따라 완전 스위칭 방법, 부분 스위칭 방법, 간이 스위칭 방법이 있으며, 세 방법 모두 다이오드 정류회로에 승압형 초퍼회로를 사용하고 있다. 이들 방법은 스위칭 소자에 의하여 입력전류를 정현파화 하려고 한 것이기 때문에 비용 대 효율측면에서 불리하다.⁽³⁾⁽⁴⁾

본 논문에서 제안하는 배전압 정류회로를 이용하는 방식이다. 또한 입력전류를 2분할하여 이용함으로써 초기에 작은 입력콘덴서를 충전하고 다음은 필터인덕터를 통

하여 출력콘덴서를 충전한다. 이처럼 입력전류를 2분할하는 것에 의하여 전류의 도통기간을 확장함으로써 고조파를 대폭으로 저감할 수 있다. 또한 스위칭소자를 이용하지 않으므로 효율 대 비용 관계를 저감시킬 수 있다. 본 논문에서는 2분할 전류유입 공진회로를 이용한 PFC회로를 설계하고 시뮬레이션 및 실험을 통하여 검증하였다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾

2. 인버터 에어컨의 전원장치

현재 에어컨에 사용되는 대부분의 모터는 유도 전동기나 BLDC모터이며 단순히 압축기를 On/Off 시키는 방식에서부터 모터의 회전 속도를 제어하기 위해서 인버터 에어컨이 널리 이용되고 있다.

그림 1은 일반적인 인버터 전원장치이다. 이러한 전원장치는, 입력전압이 커패시터 전압보다 높을 때에만 다이오드를 통하여 커패시터로 전원전류(충전전류)가 흐르기 때문에 입력전류는 입력전압의 최대 값 부근에서 펄스형으로 흐르게 된다. 이러한 이유로 입력전류에는 정현파 전류에 비해 많은 고조파 성분이 포함하고 있으며, 최대 입력역률은 거의 0.6으로 좋지 못하게 된다. 고조파에 대한 규정은 IEC(국제 전기표준회의)에서 이미 전원 고조파 전류의 규격인, IEC 1000-3-2 (IEC 555-2)가 제정되어 적용되고 있다. 또한 커패시터 입력형 정류회로는 출력전압이 일정한 DC전압이므로 가변의 DC전압을 출력할 수 있는 AC-DC 컨버터에 비해 유용성이 매우 낮으며, 많은 고조파로 인해 일부의 기기에서는 전원계통에 악영향을 끼친다.

특히 에어컨 같은 큰 전력을 소비하는 제품은 전원의 안정된 사용을 위해서 역률을 개선시키기 위해서 수동필터를 사용해 왔다. 하지만 수동 필터만으로 완전히 고조파 문제에 능동적으로 대응할 수 없었었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 PFC회로가 고안되어지고 있다.

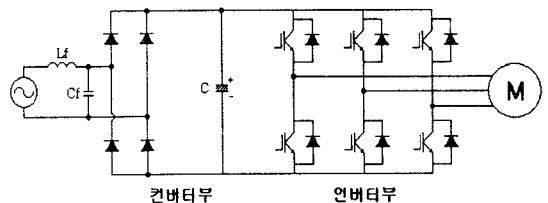


그림 1 다이오드 정류기를 갖는 인버터 회로
 Fig. 1 An Invert Circuit with The Diode Rectifier

2.1 배전압정류회로

2분할전류 유입방식의 기본이 되는 배전압 정류회로를 그림 2에 나타내었다. 콘덴서 용량 $C_1(=C_2)$ 를 감소하면 왜율도 감소한다는 사실을 많은 문헌들을 통해 소개되어지고 있다. 하지만 C_1 이 어느 값 이상 감소된다면 왜율은 증가한다.

원인은 C_1 이 감소하면 충전전류의 기간도 줄어들게 되는데 C_1 에서 병렬의 보호용 다이오드에 전류가 들기 때문이다. 그러므로 C_3 에서 충전전류의 효과가 크다 하더라도 왜율이 상승하게 된다. 또한 L의 증감에 따른 왜율의 변화의 형태는 사용된 소자의 특성에 따라 일정하지 않다. 따라서 부하의 용량변동에 따라 적절한 L값과 C값을 구하여야 한다.

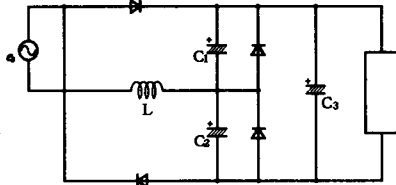


그림 2 배전압정류회로(기본회로)
Fig. 2 Voltage doubler rectifier

2.1 2분할 전류유입방식

그림 3에서 콘덴서 충전회로에 병렬로 LC공진회로를 이용하여 2분할하여 입력전류기간을 확대하는 방식의 회로이다. C_1 을 작게 선택하고 평활용 C_3 는 큰 값을 선택한다.

그림 4와 같이 초기 i_c 전류에 의해 값이 작은 C_1 을 충전한다. v_{c1} 이 출력의 v_{c3} 이상이 되면 i_L 전류가 흐른다. 전원 전압 e_s 가 점차적으로 감소하여도 e_s 에서 직렬로서 투입한 L_2 의 작용으로서 i_L 전류의 흐름은 계속되고, 고조파의 위상이 지연된다. i_c 의 고조파의 위상이 진상이기 때문에 서로 상쇄된다.

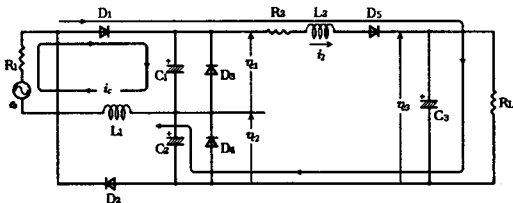


그림 3 제안의 고역률 단상정류회로
Fig. 3 Proposed PFC circuit

기간 종료 후에는 하단의 C_2 는 방전하고 다음 동작을 기다린다.

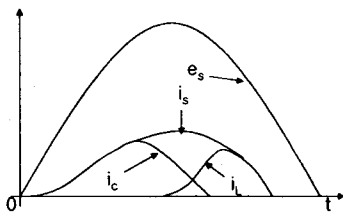


그림 4 동작 파형
Fig. 4 Operating waveforms.

3. 회로해석

앞서 설명한 내용과 같이 C_1, C_2 의 값을 저감하여 i_c 의 진상의 고조파와 L_2 증가의 i_L 지상의 고조파가 효과적으로 상쇄되기 위한 각 정수의 최적값을 구한다. 단 입력 전류파형 고조파저감의 목적보다 전류 왜율을 최소로 하는 정수를 선택한다.

3.1 회로미분방정식

그림 3 회로의 미분방정식은 식 (1)과 같다. 단 소자는 모두 이상적 소자로 하고, i_{c1}, i_{c2}, i_{c3} 는 각 콘덴서로부터 유출되는 방전전류이다.

$$e_s = L_1 \frac{di_s}{dt} + R_1 i_s + v_{c2} \quad (1)$$

$$i_{c1} = i_{c2} + i_s, \quad i_{c2} = i_2 - i_s \quad (i_s > 0)$$

$$e_s = L_1 \frac{di_s}{dt} + R_1 i_s - v_{c1} \quad (2)$$

$$i_{c2} = i_{c1} - i_s, \quad i_{c1} = i_2 + i_s \quad (i_s < 0)$$

$$v_{c1} + v_{c2} = L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 + v_{c3} \quad (3)$$

$$i_{c1} = -C_1 \frac{dv_{c1}}{dt}, \quad i_{c2} = -C_2 \frac{dv_{c2}}{dt}, \quad i_{c3} = -C_3 \frac{dv_{c3}}{dt} \quad (4)$$

3.2 회로동작

(1) 모드 I : 그림 5에서 e_s 가 0부터 상승한다. 통상 $v_{c1(0)} = 0$ 이기 때문에 i_c 전류는 직선적으로 상승한다. v_{c1} 이 상승하고, 전 동작에서 이미 충전되어 있는 v_{c2} 와의 합 $v_{c1} + v_{c2} \geq v_{c3}$ 으로 되면 이 모드는 종료된다.

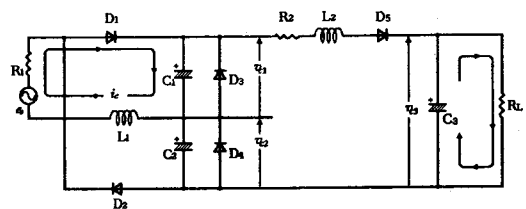


그림 5 모드 I
Fig. 5 MODE I

(2) 모드 II : 그림 6에서 $v_{c1} + v_{c2} \geq v_{c3}$ 가 되면 전원으로 부터 부하측으로 전류가 유입된다. C_3 의 충전이 시작되고 동시에 i_c 전류도 하강을 시작한다. C_1 의 충전이 완료하고 $i_{c1} = 0$ 로 되면 이 기간이 종료된다.

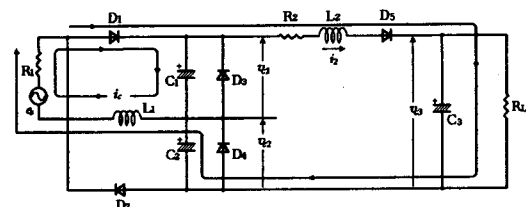


그림 6 모드 II

(3) 모드 III : 그림 7은 전압이 점점 감소하고 있지만 L_2 의 작용으로 i_L 의 전류는 계속 흐르며, C_1 의 전하도 부하측으로 방전한다. L_2 에 축적된 에너지가 완전히 방전되면 모드가 종료되고 다음의 반주기를 기다린다.

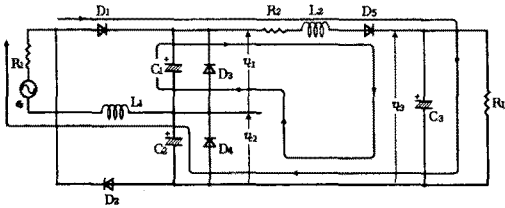


그림 7 모드 III
Fig. 7 MODE III

(4) 모드 IV : 그림 8에서 e_s 가 부하에서 분리된 후 C_3 의 전하만이 출력으로 공급된다. 이때 $v_{C1} + v_{C2} < v_{C3}$ 이므로 D_5 는 C_3 에서의 역방전을 차단한다.

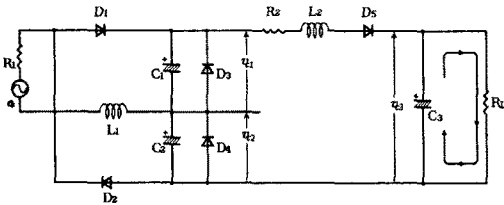


그림 8 모드 IV
Fig. 8 MODE IV

4. 시뮬레이션 결과

$L_1 = 4.1mH, L_2 = 0.38mH, C_1 (= C_2) = 220\mu F, C_3 = 4400\mu F$ 의 파라미터값을 Pspice 9.1을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 이때의 입력전압, 전류파형을 그림 9에 나타내었다. 콘덴서 입력형보다 역율이 개선되었으나 스위칭을 이용한 일반적인 PFC회로보다 역율이 저하된다. 그러므로 차후 간단한 간이 스위칭 모드를 사용한 PFC를 부가하고자 한다.

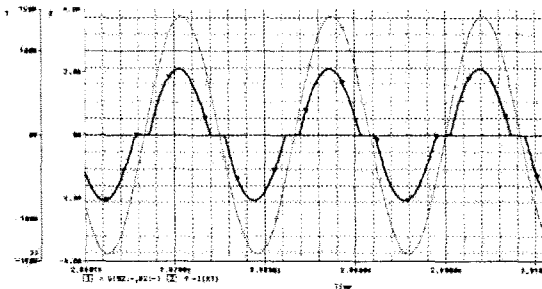


그림 9 시뮬레이션 결과
Fig. 9 simulation result

5. 결론

본 연구에서는 수동소자만을 이용한 PFC를 구현함으로써 입력전류파형개선과 역율개선을 얻을 수 있었다. 또한, On-Off제어의 스위칭소자를 사용하지 않으므로 스위칭손실 및 고주파 노이즈를 차단 할 수 있다. 또한 스위칭소자의 구동에 필요한 주변회로가 없기 때문에 저비용이다. 단점으로서 콘덴서의 충전전류로 인하여 역율이 다소 저하하거나 수동소자의 분포용량으로 인하여 효율이 저하한다. 향후과제로는 실험을 통하여 적절한 L 값과 C값을 산정하고, 간단한 보조회로를 부가하여 좀더 개선된 역율개선회로를 설계하여야 한다.

(참고 문헌)

- (1) 권경안 외 3명, "역률제어회로를 갖는 인버터 구동 에어컨", 전력전자학회논문지, 제4권 제1호, p.105-110, 1999.9.2
- (2) 정용채 외 2명, "제료비 절감을 위한 병렬구조를 갖는 인버터 에어컨용 역률제어회로", 전력전자학회 논문지, 제4권 제2호, p.122-127, 1999.4
- (3) 박정우, "패널용 에어컨의 역율 개선 및 고조파 저감에 관한 연구", 석사학위논문, 2001년 2월
- (4) K.Fujiwara and H.Nomura, "A Power Factor Correction for Single-Phase Diode Rectifiers without employing PWM Strategy", IPEC-Yokohama'95, p. 1501-1506, 1995
- (5) 高橋勳 外 1名, "單相整流回路の入力電流波形改善", 電學論B, 105, 174(昭60-2)