

## 인버터 에어컨용 역률제어기능을 갖는 단상능동정류기

정 용 채<sup>0</sup>, 권 경 안  
LG전자 리빙시스템연구소

### Single Phase Active Rectifier with Power Factor Correction For Inverter Air-Conditioner

Jung Yong-Chae, Kwon Kyung-Ahn  
Living System Research Laboratory, LG Electronics Inc.

#### Abstract

*In this paper, a Single-phase Active Rectifier (SAR) with high power factor capability for inverter air-conditioner is adopted for satisfying the international standards of input current harmonics, IEC 1000-3-2. Comparing the conventional boost power factor correction circuit, one diode drop is reduced in the power flow path of the SAR circuit, so the system efficiency is improved. To apply the control IC, such as UC3854, ML4821 and so forth, to the SAR, the adequate sensing circuits are proposed. The design rules of passive components and two control loops are also presented. The proto-type SAR circuit with 3kW power consumption is built and tested to verify the operation of the proposed circuit.*

#### 1. 서론

최근 에너지 saving에 관한 국제적인 움직임이 활발해 지고 있다. 이러한 추세에 발맞춰 에어컨, 세탁기, 냉장고 등의 가전제품에도 인버터 기술을 적용하는 예가 증가하고 있다. 특히 80년대 말 일본에서 소비전력이 큰 에어컨 제품에 인버터 기술을 적용하였는데 현재는 90%이상이 인버터 에어컨이

다. 우리나라에서도 90년대 중반부터 인버터 에어컨을 생산하고 있다.

가정에서 에어컨을 사용할 경우 누전차단기가 떨어지는 것을 막기 위해서 기존의 인버터 에어컨에는 LC 수동필터를 사용하여 역률을 0.6에서 0.9정도로 올리고 있다. 이 필터는 60Hz용 이기 때문에 상당한 공간을 차지할 뿐만 아니라 가격 또한 비싸고, 2001년에 시행될 고조파에 대한 국제규제인 IEC 1000-3-2에도 만족하지 못하고 있다.

따라서 최근에는 비싸고 큰 부피를 차지하는 LC 수동필터를 제거하고 고조파에 대한 국제규제도 만족할 수 있는 역률제어회로를 인버터 에어컨에 삽입하려는 연구가 활발히 진행되고 있으며 히다찌를 비롯한 일본의 몇몇 업체에서는 이미 Boost 방식의 역률제어회로를 제품에 적용하고 있다. 하지만 이러한 회로를 중간에 삽입함에 의해서 인버터 에어컨의 전체효율이 약1-1.5% 정도 떨어지는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 역률제어기능을 갖는 단상능동정류기(SAR)[1]를 사용하였다. 기존의 Boost 방식 역률제어회로는 스위치 1개와 다이오드 2개를 통해서 전류가 흐르는 반면에 단상능동정류기는 항상 다이오드 1개를 적게 흐르므로 conduction손실이 줄어들어 기존의 Boost 방식보다는 약0.5%의 효율상승 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 평균전류 제어방식을 갖는

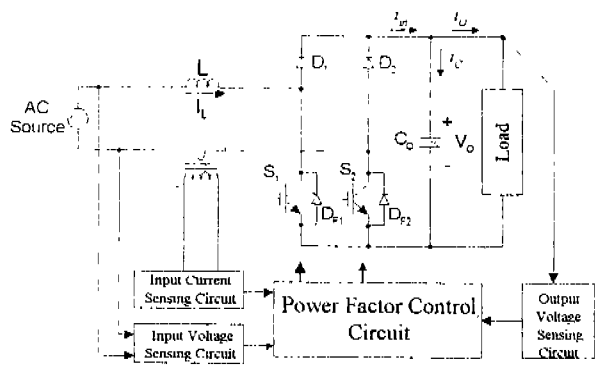


그림 1 제안된 역률제어회로를 갖는 단상능동정류기

UC3854, ML4821 등과 같은 제어용 IC를 단상능동정류기에 적용하기 위해서 적절한 검출회로를 제안하며 수동소자의 설계질차를 제시한다. 이렇게 설계된 회로를 사용하여 3kW 입력의 프로토타입을 제작하고 동작특성을 분석한다.

## 2. 단상능동정류기의 동작

그림 1은 본 논문에서 사용한 단상능동정류기 및 제어회로를 보이고 있다. 이 회로의 동작은 참고 문헌 [1]에 나와 있듯이 입력전압이 양의 값을 가질 경우는  $S_1$ ,  $D_1$  및  $D_{F2}$ 를 통해서 역률제어동작을 하고, 입력전압이 음의 값을 가질 경우는  $S_2$ ,  $D_2$  및  $D_{F1}$ 를 통해서 역률제어동작을 한다.

먼저 입력전압이 양의 값을 가질 경우 동작을 살펴보면 다음과 같다.  $S_1$ 이 온되면 입력측에 있는 인덕터 L에는 입력전압이 걸려서 선형적으로 전류가 증가하고,  $S_1$ 이 오프되면 L에 흐르는 전류는 L-D1-C0 및 부하-D<sub>F2</sub>의 경로로 흐르며 이때 인덕터 L의 양단에는  $S_1$ 의 온시와는 반대방향으로  $V_O - V_{IN}$ 의 전압이 걸려서 선형적으로 전류가 감소한다.

위의 경우와 유사하게 입력전압이 음의 값을 가질 경우,  $S_2$ 가 온되면 입력측에 있는 인덕터 L에는 입력전압이 걸려서 화살표의 반대방향으로 전류가 선형적으로 증가하고,  $S_2$ 가 오프되면 L에 흐르는 전류는 D<sub>2</sub>-C<sub>0</sub> 및 부하-D<sub>F1</sub>-L의 경로로 흐르며 이때 인덕터 L의 양단에는  $S_2$ 의 온시와는 반대방향으로  $V_O - V_{IN}$ 의 전압이 걸려서 선형적으로 전류가 감소한다.

이러한 동작을 20kHz이상의 높은 주파수로 스위칭을 고정주파수에서 duty제어해서 입력전류를 입

력전압과 동상이며 싸인파에 가깝게 만들어 주어 IEC 1000-3-2의 규제를 만족하며, 출력전압도 미리 설정된 일정전압으로 만들어 준다.

## 3. 제안된 검출회로

그림 2에는 단상능동정류기의 안정된 동작을 위해서 제안된 입력전압 및 입력전류의 검출회로를 보이고 있다. 참고문헌 [2]의 미각특허에서는 입력전압을 검출하기 위해서 입력라인의 두선을 따와서 다이오드 브릿지로 정류 후 저항분배를 해서 검출을 하고 있다. 이 경우 스위치가 온되어 있으면 잘 검출되는 반면에 스위치가 오프되어 그림3과 같이 다이오드  $D_2$ 로 전류가 흐를 때는 검출전압에 출력전압이 나타나서 그림 4와 같은 오동작이 발생한다. 원인은 전력회로와 제어회로의 그라운드를 공통으로 사용하고 있기 때문이다. 따라서 그림 2(a)와 같이 트랜스포머를 이용하여, 입력전압을 검출하고 다이오드 브릿지 출력단에 RC필터를 달아서 검출전압의 왜곡을 방지한다.

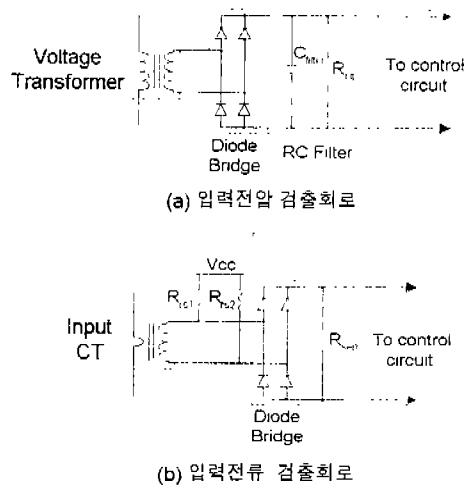


그림 2 입력전압 및 전류의 검출회로

입력전류 검출회로는 그림 2(b)와 같이 전류 트랜스포머를 이용하여 전류를 검출한다. 전류 트랜스포머의 턴수비는 가능한 한 크게 하여 검출전류의 왜곡을 최소화하고, 각 스위칭 시 적절한 reset과 검출전류의 크기가 작은 부분의 왜곡을 없애주기 위해서 본 논문에서는 제어전원과 전류 트랜스포머의 2차측에 offset저항을 삽입하였다. 이 offset저항에 흐르는 전류는 약1mA 정도로 제한해주면 된다.

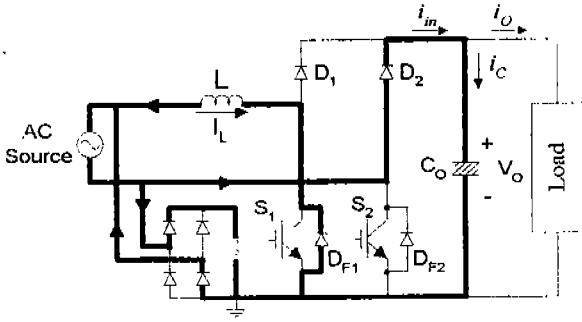


그림 3 입력전압 검출의 오동작 경로

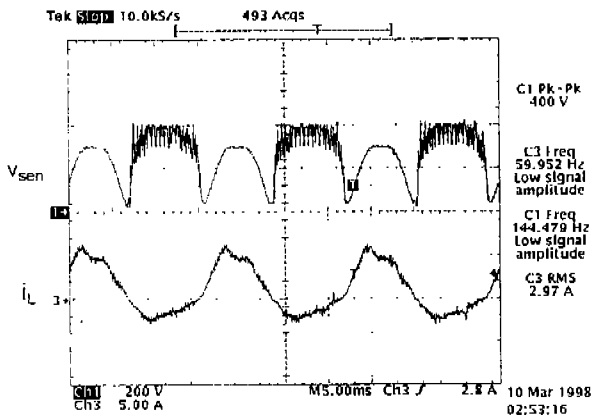


그림 4 입력전압 검출의 오동작 파형

#### 4. 수동소자의 선정방법

1) 역률제어용 인덕터 [3-4] : 역률제어용 인덕터를 선정하기 위해서는 최대 인덕터 전류를 계산해야 한다. 최소 입력전압( $V_{IN, min}$ )에 대해서 최대 인덕터 전류( $I_{pk}$ )를 계산하면 식(1)과 같다.

$$I_{pk} = 2 \cdot P_{IN} / V_{IN, min} + \Delta I / 2 \quad (1)$$

여기서  $P_{IN}$ 은 입력파워이고  $\Delta I$ 는 인덕터의 리플 전류로 30%이하로 잡으면 된다. 한편,  $V_{IN, min}$ 의 peak에서 duty  $D$ 를 계산하면 식(2)와 같다.

$$D = \frac{V_o - V_{IN, min} (peak)}{V_o} \quad (2)$$

여기서  $V_o$ 는 출력전압이다. 미리 선정된 스위칭 주파수를  $f_s$ 라고 하면 역률제어용 인덕터의 값은 식(3)과 같다.

$$L = \frac{V_{IN, min} \times D}{f_s \times \Delta I} \quad (3)$$

2) 출력 캐패시터의 리플전류  $I_{C, rms}$  : 출력 캐패시터의 리플전류값은 캐패시터 선정에 있어서 가장

중요한 요소이다. 먼저 저항부하라는 가정 하에서 부하전류  $I_{O, rms}$ 는 식(4)와 같이 계산된다.

$$I_{O, rms} = \frac{P_{IN} \times \eta_{PFC}}{V_o} \quad (4)$$

여기서  $\eta_{PFC}$ 는 단상능동정류기의 효율이다. 다음으로 부하 캐패시터의 입력전류  $I_{IN, rms}$ 를 계산하면 다음 식과 같다.

$$I_{IN, rms} = \frac{P_{IN}}{V_{IN, min}} \times (1 - D_{ave}) \quad (5)$$

여기서  $D_{ave}$ 는 입력전원 주파수의 한 주기에 대한 평균 duty이다. 따라서 식(4), (5)를 이용하여 출력 캐패시터의 리플전류를 계산하면 식(6)과 같다.

$$I_{C, rms} = \sqrt{I_{IN, rms}^2 - I_{O, rms}^2} \quad (6)$$

3) 출력 캐패시터의 용량 : 이 값은 출력에서의 허용리플전압  $\Delta V$ 과 허용리플전류  $I_{C, rms}$ 에 의해서 다음 식과 같이 결정이 되어진다.

$$C = \frac{I_{C, rms}}{\omega \cdot \Delta V} \quad (7)$$

여기서  $\omega$ 는 입력전원주파수의 2배의 주파수를 갖는 각주파수이고  $\Delta V$ 는 식(8)과 같다.

$$\Delta V = \frac{\% ripple \times V_o}{2\sqrt{2}} \quad (8)$$

#### 5. 실험결과

앞 절에서 제안된 검출회로와 선정된 수동소자를 가지고 3kW 입력의 역률제어용 단상능동정류기를 만들어서 실험을 하였다. 역률제어용 인덕터의 값은 30[A]용량의 530[ $\mu H$ ]이고, 출력 캐패시터는 450[V] 680[ $\mu F$ ]를 사용하였다. 그림 5는 정격부하

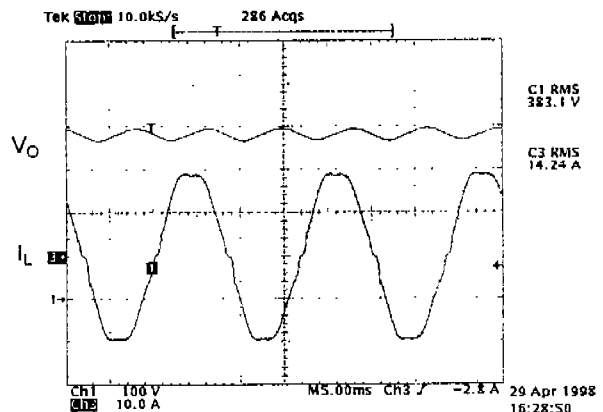


그림 5 정격부하에서의 실험파형 (위:  $V_o$ , 아래:  $I_L$ )

## 참고 문헌

- [1] R. Martinez and P. N. Enjeti, "A High-Performance Single-Phase Rectifier with Input Power Factor Correction", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 11, No. 2, Mar., pp. 311-317, 1996.
- [2] D. M. Mitchell, "AC-DC Converter Having An Improved Power Factor", United States Patent, USP 4,412,277, 1983.
- [3] Philip C. Todd, "UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design", Unitrode Application Note U-134, pp. 10-303-10-322.
- [4] Lloyd H. Dixon, "Average Current Mode Control of Switching Power Supplies", Unitrode Application Note U-140, pp. 10-398-10-411.

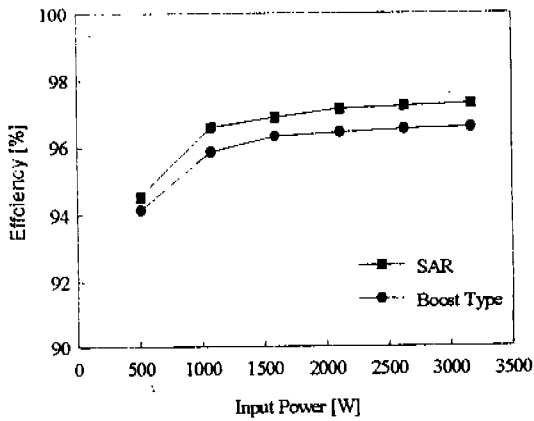


그림 6 단상능동정류기와 Boost 방식의 효율비교

에서 출력전압과 입력전류의 파형을 보이고 있는데 출력전압은 383[V]에 peak-to-peak 리플전압은 30[V]이다. 입력전류는 14.24[A]에 역률은 0.998이고 THD는 5.9%이다. 이러한 수치는 IEC 1000-3-2의 규제에 충분히 만족하고 있다. 그림 6은 기존 Boost 방식의 역률제어회로와 단상능동정류기의 효율을 비교한 것으로 단상능동정류기가 기존 Boost 방식의 역률제어회로보다 약0.5%정도 효율이 상승됨을 알 수 있다.

## 6. 결론

기존의 Boost 방식 역률제어회로의 단점인 효율 저하문제를 개선하기 위해서 본 논문에서는 역률제어기능을 갖는 단상능동정류기[1]를 도입하였다. 기존의 Boost 방식 역률제어회로는 스위치 1개와 다이오드 2개를 통해서 전류가 흐르는 반면에 단상능동정류기는 항상 다이오드 1개를 적게 흐르므로 conduction손실이 줄어들어 기존의 Boost 방식보다는 약0.5%의 효율상승 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 평균전류 제어방식을 갖는 UC3854, ML4821 등과 같은 제어용 IC를 단상능동정류기에 적용하기 위해서 적절한 검출회로를 제안했고 수동소자의 설계절차를 제시하였다. 이렇게 설계된 회로를 사용하여 3kW 입력의 프로토타입을 제작하고 실험을 통해서 동작특성을 분석하였다.