

인버터에어컨에 능동역률개선회로 적용에 관한 연구

김 태덕*, 배 영돈, 박 윤서
삼성전자 기술총괄 생활시스템연구소

A Study On The Application Of Active Power Factor Correction Circuit In Inverter Airconditioner

Tae-Duk Kim*, Young-Dawn Bae, Yoon-Ser Park
Living System R&D Center, Samsung Electronics

Abstract The demands of minimizing the reactive power and reducing the current harmonics are increasing nowadays. The inverter airconditioner needs high inductive power and it operates with wide load ranges. Conventionally, an huge LC passive filter is used in airconditioner to improve the power factor and to reduce current harmonics which doesn't give good results. In this paper, a design of active power factor correction(APFC) circuit for inverter airconditioner is described. To improve the P.F and reduce the current THD, average current controlled APFC is designed and tested. The problems of APFC implementation, their solution and testing results are described.

1. 서 론

1980년대 후반부터 생활수준의 향상 및 소비자의 Needs에 의해 국내시장에서의 에어컨의 수요가 점차 증가하기 시작하였고 특히 최근에 와서는 에어컨의 절전기능을 크게 강화시킨 인버터에어컨의 보급이 날로 증대되고 있다. 인버터에어컨의 실외기의 구성은 정류회로부, 인버터부, 콘트롤러용 전원부의 3 가지로 분류된다. 국내의 경우에는 에어컨의 기본전원이 220VAC를 사용함으로 일반적으로 정류회로를 거친 인버터부의 공급전압은 280VDC로 변환하고 있다. 잘알려진 바와 같이 콘덴서인풋형의 정류회로에는 전류파형이 정현파가 아니고 펄스파의 형태로 되기 때문에 고조파가 발생하여 역률도 나쁘게 된다. 기존의 인버터에어컨에 있어서는 그림1에 보이지는 것과 같은 리액터를 삽입하여 고조파의 저해와 역률의 개선을 도모하고 있다. 그림1에 보이지는 리액터와 병렬로 연결된 C는 LC공진회로를 구성하여 역률상승을 꾀하고 있는 역률개선용의 콘덴서이다.

인버터부에서는 이를개하여 만들어진 DC전압을 6개의 트랜지스터로 정현과 PWM에 따른 스위칭을 행하여 3상의 AC 전압을 만들어서 콤프레서 모터를 가변속제어하여 넓은범위의 부하변동에 따른 적절한 속도제어를 행하여 절전운전(성에너지운전)을 가능하게 하고 있다. 콘덴서인풋형의 컨버터구성에 의한 입력전류파형의 애곡은 시스템의 역률저하와 전류성분에 많은 고조파 성분을 포함되게 되는데 이러한 펄스형태의 전류는 높은 피크전류를 유발하여 사용되는 회로소자들에 손실 및 스트레스를 유발시키고 NOISE와 EMI, 입력전압의 파형애곡등의 문제를 발생시킨다. [1][2] 국제적으로 입력전류의 고조파 성분에 대해서 발생하는 문제점을 최소화 하기위해서 유럽을 시

작으로 IEC555-2규정을 근거로 해서 전류의 고조파성분의 크기를 규제하기 시작했다. 본 연구에서는 9평형의 냉난방 인버터에어컨에 평균전류제어방식을 채용한 능동역률개선회로를 적용하여 입력의 역률개선 및 전류의 고조파 성분을 최소화하여 IEC555-2규정을 만족하는 3KW급의 입력전원부를 설계 및 실험 힘으로써 인더터부하 설계시의 문제점을 해결 할 수 있는 반인물을 제시하였으며, 부품의 선정에는 국산품을 최우선으로 삼아 부품경쟁력도 확보하게 되었다.

2. 능동역률개선회로의 에어컨 적용

그림2는 능동역률개선회로를 적용한 인버터에어컨의 전원부를 나타낸다. 그림1의 구성을 갖는 일반적인 인버터에어컨의 경우에는 부하변동에 따라서 최소 0.7 정도에서 최대 0.9정도의 비교적 낮은 역률을 가지는 특징을 보여주며 역률개선의 목적으로 사용된 수동필터에 사용된 부품들의 크기가 키며 세트전체의 무게증가의 한 요인이 되고 있으며 대용량의 펌프콘덴서를 가진 콘덴서인풋형의 구성으로 인하여 입력전류가 펌프형태로 됨으로써 입력전류의 고조파성분이 아주 많아지며 입력전압의 향상도 과곡시키는 결과를 낳게 하고 있다. 이러한 문제들을 개선하기 위해서 도입하는 능동역률개선의 전원회로는 그 주목적이 전원고조파전류의 억제, 기기의 종합역률의 향상, 인버터부의 공급전압의 안정화에 의한 베이스진압 안정화로 파워모듈의 손실저감, 동일 용량의 전원브레이크의 용량내에서 에어컨의 냉난방능력의 향상, 인버터부의 효율향상등의 잇점뿐만 아니라 IEC555-2의 전원관련 환경문제까지 해결 할 수 있게 한다.

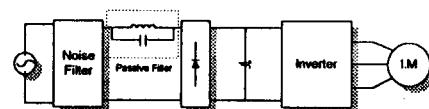


그림 1. 일반적인 인버터에어컨의 전원부 구성도

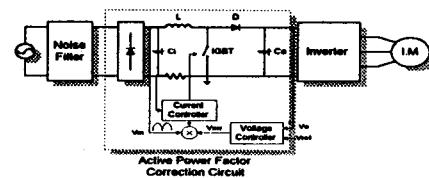


그림 2. 능동역률개선회로를 적용한 경우의 인버터에어컨의 전원부 구성도

능동역률개선회로를 적용함에 있어서는 해당 에이컨의 부하 용량, 운전특성 및 재료비등을 고려하여 최적의 TOPOLOGY를 선정한다. 인버터에이컨의 전부하범위(약500W~3000W)에서 역률을 높이고 총고조파왜곡률을 낮추기 위해서 스위칭소자를 일정 주파수로 제이하면서 전류특성이 우수한 평균전류제어기법을 사용한 BOOST 방식의 DC/DC 컨버터의 구성을 선택하여 역률 및 총고조파왜곡률을 저감시킨다. 능동역률개선회로를 설계함에 있어서 가장 중요한 부품선택 기준은 인덕터 및 스위칭주파수의 선정이다. BOOST 컨버터에 있어서는 인덕턴스의 값이 크고 스위칭주파수가 높을수록 입력전류의 리듬성분이 감소하게 되어 총고조파왜곡률을 저감시킬 수 있으며 10배 가까운 역률을 달성할 수 있게된다. 스위칭주파수의 선정은 사용할 인덕터의 코아 및 스위칭소자의 스위칭특성을 잘 고려하여 결정한다. 순시입력전압이 아주 낮은 경우에는 스위칭소자의 스위칭주파수가 낮을때에는 인덕턴스값이 작거나 부하가 아주 낮은 경우 입력전류의 형상이 불연속적인 구간이 존재하고 이때에는 전류의 왜곡이 아주 심하게 되어 고조파의 급격한 증가를 초래한다. 본 연구에서 부하로 삼는 인버터에이컨의 경우는 아주 넓은범위에서 부하의 빈동이 따르기때문에 전체 운전영역에서 단일역률과 고조파저감을 위해서는 가능한 범위에서 스위칭주파수를 최대로 하는 것이 필요하다. 3kW급의 부하용량을 만족시키며 스위칭주파수를 가능한 높게 하기 위하여 스위칭소자로는 IGBT를 선택했고 인덕터의 경우는 종래의 철심코아의 사용을 가급적이면 피하고 제작이 간단한 FERRITE 재질 및 고주파특성이 우수한 아밀퍼스재질의 코아를 검토, 선정하였다.

3. 능동역률개선회로의 설계

인버터에이컨의 입력역률을 개선하고 성능을 향상시키기 위하여 POWER STAGE에는 역률개선용 IC로 평균전류제어형을 사용하는 UNITRODE사의 UC3854를 사용하고 BOOST 컨버터함을 선택하여 능동역률개선회로를 설계하였다. 본 연구에서 개발한 인버터에이컨의 능동역률개선회로의 설계 사양은 표1과 같다.

표 1. 개발된 시스템의 사양

항 목	종래 사양	신설개사양
입력전압 Vin	180 ~ 260 [Vac]	180 ~ 260 [Vac]
부하 범위	500 ~ 3000 [W]	500 ~ 3000 [W]
출력 전압	280 [Vdc]±10%	370 [Vdc]±5%
스위칭주파수	-	25 kHz
전류 리플	-	20 %

표1에서 입력전압 Vin은 한국공업규격에서 정하는 입력전압 AC 220V±15%, 부하범위는 9광형의 냉/난방인버터에이컨의 최소 700W, 최대 2500W를 충분히 만족할 수 있는 500 ~ 3000W 까지로 선정하였고 출력전압은 BOOST 컨버터의 특성상 입력 전압보다 높게 설정하여야 하지만 출력전압이 높은 경우 다음 단의 인버터에 높은 전압스트레스를 주게되고 높은 전압/전류비를 갖는 소자의 선정이 뒤따르고 특히 평활커패시터의 전압정

격이 아주 높은것으로 선정하여 부품가격의 상승이 동반되므로 최대입력전압에서의 역률의 최소한으로 회생하고 370Vdc로 설정하였다. 스위칭주파수는 입력전류의 리플크기와 직접적인 관련이 있으며, 스위칭주파수가 낮으면 인덕터의 인덕턴스가 작거나 부하가 아주 작은경우 순시입력전압이 아주 낮은 범위에서 불연속적인 입력전류가 흐르게되어 전류의 왜곡발생 및 고조파가 증가하게 되므로 에어컨세트에의 실현을 통하니 전부하임의에서 불연속적인 입력전류가 발생하지 않는 25kHz의 스위칭주파수를 선정하였다.

인덕터의 설계는 스위칭주파수, 입력전류의 크기, 입력 전류리플에 의해 결정되며 인덕터에 흐르는 전류가 매우 크기 때문에 인덕터 코일의 자름이 커져며 따라서 코아에 커션할 수 있는 커션수가 재한되므로 인덕턴스도 입력전류의 그크값에 의해 재한된다. 기존에 사용하던 PCB에 ON-BOARD화를 위해서 인덕터의 코아를 FERRITE 재질을 사용하고 입력전류의 리플이 20%로 설정하여 아래의 식에 따른 인덕턴스 600uH로 결정하였다.

$$L = \frac{Vin \times D}{fs \times \Delta I}, D = \frac{Vo - Vin}{Vo}, Ipk = \frac{\sqrt{2} \times P}{Vin(\min)}$$

단, FERRITE 재질의 FPQ5050코아를 사용한 경우 1.8KW정도에서 코아의 포화 및 포화로 인한 자기소음의 발생등의 문제가 생겨 2개의 코아를 300uH로 설계하여 커션의 편이성 및 코아의 포화를 방지하였다.

최대부하범위에서 충분한 능력을 발휘할 수 있도록 스위칭소자는 IR사의 IRGPC50U 및 삼성반도체의 SGH30N60을 사용하였고 다이오드는 역회복시간이 충분히 짧은 IXYS사의 DESI-505E를 선정하였다. 또한 스위칭주파수의 전류리플과 노이즈발생을 감소시키기 위하여 인덕터와 함께 입력에 필터커패시터를 사용하여 저주파 필터를 구성하여 25kHz 시에 스위칭주파수 이득이 -32dB로 충분한 노이즈 및 전류리플감쇄비를 가지며 120Hz 주파수에서 위상지연이 있으므로 입력전류 과형의 왜곡이 발생되지 않도록 했다.

전류제어를 위한 전류의 센싱에는 전류센싱을 위한 무유도지향을 사용하는 방법과 2개의 IGBT와 DIODE에 흐르는 전류를 측정하는 2개의 전류트랜스포머를 사용하는 2가지의 방법이 있는데 전류 트랜스포머를 사용할 경우에는 전류센싱에 따른 손실은 줄일수 있으나 시비율이 넓은 범위로 변화하기 때문에 포화되지 않고 사용하기 위해서는 복잡한 리세트회로를 필요로 하며 가격상승이 동반되는 문제점이 있으므로 본 연구에서는 센싱용 저항을 사용한 전류센싱법을 선택했다. 피아크전류의 재한을 위해서는 제어 IC UC3854의 내부 앰프를 이용하여 순시전류가 설정된 최대전류를 넘어설경우 스위칭소자를 터모프시키기 했다.

4. 실험결과

본 연구에서 설계, 개발한 능동역률개선회로를 적용한 인버터에이컨 시스템의 역률과 THD를 측정하고 영국의 VOLTECH사의 PM3300 계측기를 사용하여 IEC555-2 TEST를 실시하여 종래의 L/C 수동필터를 사용한 인버터에이컨 시스템과의 비교, 분석을 행하였다.

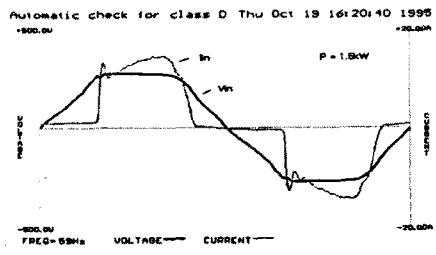


그림3. 종래의 인버터에어컨의 입력전압, 전류파형

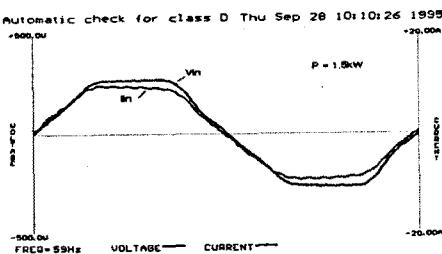


그림4. 능동역률개선회로를 적용한 인버터에어컨의
입력전압, 전류파형

그림3과 4는 인버터에어컨의 정격부하부근인 1.5kW에서의 능동역률개선회로로 적용전후의 입력전압 및 전류의 파형을 보이고 있는데 그림3에서 전류의 파형이 펄스형태이고 전압 및 전류의 위상차가 보이는데 반하여 그림4의 전류파형은 거의 전압과 동상인 정현파로 제어됨을 알 수 있다.

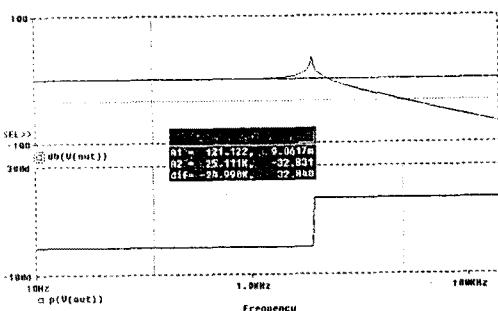


그림5. 입력저주파 필터의 보드선도

그림5는 입력필터와 인버터로 구성된 저주파필터의 보드선도로 25kHz 스위칭주파수에 있어서의 주파수이득이 -32dB로 충분한 NOISE 및 전류리ップ비를 가짐을 보아주며 120Hz에서의 위상차 연도 없으므로 입력전류의 파형왜곡이 발생치않음을 보여주는 결과이다. 그림 6과 7에는 인버터에어컨의 전부하영역에 따른 총고조파왜곡률과 역률을 실험을 통해서 얻은 결과를 보여주고 있다. 500 ~ 3000W 사이에서 역률이 0.97이상이고 주로 사용되는 1kW 이상에서는 역률이 거의 단일역률에 가까운 0.99이상의 결과를 보여주며 총고조파왜곡률의 측정결과 또한 전영역에서 9% 이하의 결과를 나타내고 있다.

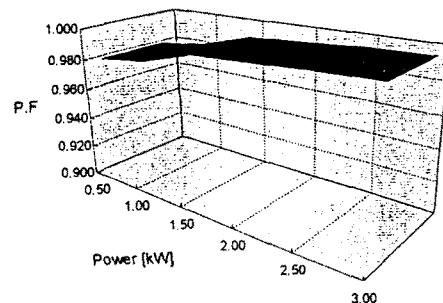


그림6. 능동역률개선회로를 사용한 인버터에어컨의 역률

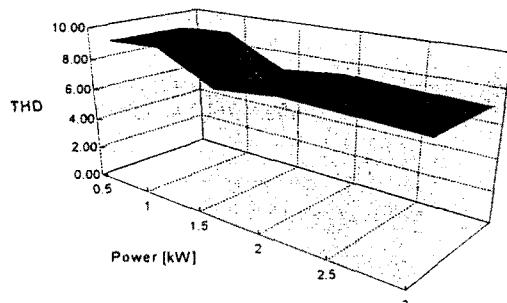


그림7. 능동역률개선회로를 사용한 인버터에어컨의 THD

5. 결 론

인버터에어컨의 입력역률 및 성능을 향상시키기 위하여 기존의 수동필터대신에 능동역률개선 회로를 설계 및 제작하여 실험을 통하여 성능을 확인하였다. 개발된 시스템은 인버터에어컨의 전부하영역에서 1에 가까운 역률과 9%이하의 THD를 나타냈으며 입력전류의 고조파 규제인 IEC555-2 TEST에도 만족스러운 결과를 보여주었다. 또한 부하의 변동에 관계없이 고성된 출력전압을 보장하여 인버터부의 신뢰성 향상에도 기여했으며 수동필터를 제거함에 따른 시스템의 무게감소 및 크기를 감소 할 수 있었으며 고조파 규제가 시작되고 있는 유럽등의 수출가능성을 높일 수 있게 되었다.

참고문헌

- 1] Lloyd H. Dixon Jr, "High Power Factor Preregulators For Off-line Power Supplies," Unilite's Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual 1991, pp. I2-1 ~ I2-16
- 2] B.Alizadeh, "EMI & Thermal Consideration In Off-line Boost Converter-based Power Factor Controllers" Power Conversion June 1991 Proc. pp.149~156
- 3] J.C Salmon, "Performance Of A Single Phase PWM Boost Rectifier Using Hysteresis Current Control," EPE'91 Proc. pp.4-384~4-389
- 4] Fernando S.Dos Reis, "Determination of EMI Emission In Power Factor Preregulators by Design", IEEE PESC 1994, pp.203~212