전력전자학술대회 논문집 1998.7.2～4

인버터 에어컨용 능동역률보상회로의 설계 및 효과

박 병 욱°, 권 경 안
LG전자 리빙시스템연구소

Design and Effects of Power Factor Correction Circuit for Inverter Air-Conditioner

Park Byeong-Wook, Kwon Kyung-Ahn
Living System Research Laboratory, LG Electronics Inc.

Abstract

In this paper, the inverter air-conditioner with PowerFactorCorrection(PFC) circuit is presented for obtaining the good system efficiency and cost merit compared with the conventional inverter air-conditioner. The detailed design procedures for getting the optimal passive components are implemented. Through the simulation and experimental results, it is shown that the system efficiency can be improved. Using the designed components, the proto type system is builted and tested to verify the additional good performances of the proposed circuit.

1. 서 론

지구 온난화 및 에너지 자원의 고갈 우려에 따라, 산업용 기기뿐 아니라 가정용 전기기기의 고효율화를 위한 연구의 중요성은 날이 갈수록 증가하고 있는 실정이다. 특히, 최근들어 급증하기 시작한 에어컨의 수요는 여름철 전력 과수요의 주범으로서 고효율화 저소비전력화를 위한 연구의 필요성이 대두되어 그 일환으로 인버터 채용 노력이 활발하다.

그러나, 현재 사용되는 일반적 인버터 에어컨의 방식은 정류부에 큰 용량의 평활 캐패시터를 사용하므로 이로 인해, 정현파가 아닌 높은 펄스형태의 입력전류 형상으로 왜곡이 발생되어 낮은 역율과 많은 고조파(Harmonics)전류를 발생시키게 되므로 전체적인 송전 효율을 저하시키게 되고, 효율적인 전력공급면에서 큰 문제가 발생되게 된다.

이러한 역율 저하 및 고조파 발생은 불필요한 송전시 추가 손실을 발생시킬 뿐만 아니라, 송배전 시스템상 및 전기기기 등의 소자들에 있어서 신뢰성 저하 및 파손 등의 문제를 발생시키므로 국제적으로도 이를 개선하기 위해 고조파 규제 국제 기준(IEC1000-3-2)등 설정하여 주요 선진국등에서 강제 시행을 예고하고 있고, 이에 대한 대책으로서 능동역율보상(Power Factor Correction)기술이 주목받고 있으며 가전기기 업체 또한 본 기술의 적용연구가 활발한 실정이다. 그러나 적용시의 난점으로는 회로 추가로 인한 원가의 상승 및 추가 스위칭 손실로 인한 시스템 효율저하가 가장 큰 문제점으로서 예상되고 있다.

따라서 본 논문에서는 원가의 저감을 위해서 능동역율보상회로의 소자를 성능과 원가를 고려하여 최적으로 결정하는 설계절차를 제시하며, 선정된 소자들로 설계된 능동역율보상회로를 인버터 에어컨에 적용 제작하고 실험을 실시하여 선정된 소자들의 동작성능만족은 물론 국제규격대비 성능만족 및 시스템효율 향상을 검증하고자 한다.

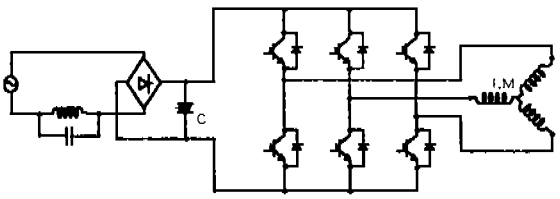

그림 1 수동필터가 적용된 인버터 에어컨

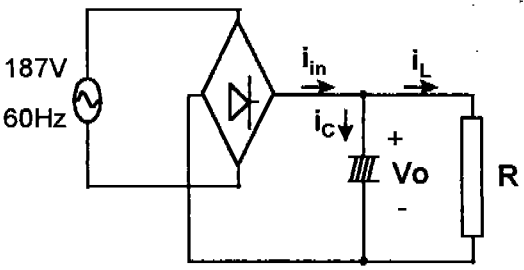

그림 2 일반 인버터 에어콘의 분석모델

2. 능동역율보상 회로 설계기준 설정

그림 1은 수동필터가 적용된 인버터 에어콘의 파워부를 보이고 있다. 이 에어콘의 운전주파수는 35~90Hz이며, 입력전압변동범위는 220V±15%이다. 본 논문에서는 이 인버터 에어컨의 입력과부하조건을 만족할 수 있는 능동역율개선회로의 설계기준을 설정하기 위하여 동작을 분석한다.

1)최대 소비전력 : 최대동작주파수인 90Hz에서 모터의 정격은 1680W이고 이때 입력은 1920W이다. 정격조건에서 과부하조건을 입력전압을 근거로 15%로 설정하면 모터의 과부하시 입력은 2208W가 되고, 이 때 입력조건은 인버터의 출력과 같다. 그리고 인버터의 효율은 약 95%정도이므로 과부하조건에서의 인버터입력은 2324W가 된다. 따라서 본 논문의 능동역율개선회로의 최대 Power는 2400W로 선정한다.

2)입력전압조건 : 소자선정에 있어서 최대 전류조건은 최저전압인 187V이므로 이를 용량분석의 기준으로 선정한다.

3)가정 설정 : 출력Power와 출력전압은 일정한 조건을 설정하고, 이 가정에 의해 분석대상의 인버터 에어컨을 그림 2와 같이 인버터 및 모터의 부하를 저항부하로 모델링할 수 있다.

4)일반 인버터 에어컨의 분석 : 그림 2의 모델을 이용하여 능동역율보상회로 적용시와 비교를 위하여 각 부분의 전류를 분석한다.

부하전류 : $I_L = \frac{Po}{Vo} = 9.1[\ A_{rms}]$

입력전류 : 정류다이오드 효율 98%, 역율 0.9

$$I_{IN} = \frac{Po}{\eta_{BD} \cdot PF \cdot V_{IN}} = 14.6[\ A_{rms}]$$

캐패시터전류:

$$I_c = \sqrt{I_{IN}^2 - I_L^2} = 11.4[\ A_{rms}]$$

분석대상 인버터 에어컨에서 적용된 정류다이오드는 25A용량을 사용하고 있고, 캐패시터는 약 2000μF/400V를 채용하고 있다. 그리고 인버터부는 600V/12A 용량의 스위치가 적용되어 있다.

3. 능동역율보상회로 설계

그림 3은 능동역율보상회로를 적용한 인버터 에어컨을 보이고 있다. 본 논문에서는 승압형 역율보상회로방식을 채택하였고 제어는 평균전류 및 고정주파수로 IGBT를 구동하여 역율보상 및 출력전압의 Regulation을 행하는 방식을 채택하였다. 입력전압범위는 분석된 인버터 에어컨과 같은 조건으로 설정하고 출력전압은 380Vdc로 설계하였다.

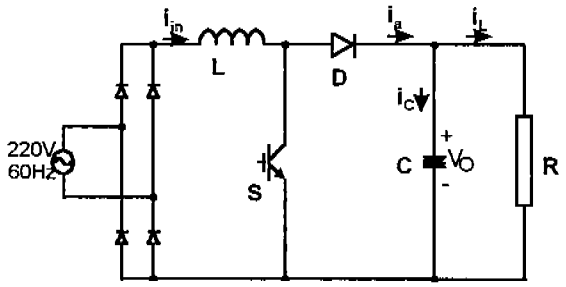

그림 3 능동역율보상회로 적용 인버터 에어컨

1)역율보상용 인덕터 선정: 최대 인덕터 전류는

$$I_{pk} = \frac{2 \cdot P_{IN}}{V_{IN,\min}} + \frac{\Delta I}{2}$$

이고, 여기서 리플전류ΔI는 30%이하로 선정하였다. 한편 최소전압 피크에서 duty D는

$$D = \frac{Vo - V_{in,\min}(peak)}{Vo}$$

로 계산되며 스위칭주파수 fs에서 인덕터 값은

$$L = \frac{V_{IN,\min} \cdot D}{fs \cdot \Delta I}$$

로 결정된다. 계산으로 선정된 인덕터값은 30A용량의 530μF이다.

2)출력캐패시터의 선정 : 출력캐패시터의 선정에서 리플전류값은 가장 중요한 요소이다. 리플전류의 분석을 위해 전장에서와 같이 동일하게 계산하면

부하전류 : $I_L = \frac{Po}{Vo} = 6.3[\ A_{rms}]$

입력전류 : PFC 효율 96.5%, 역율 1, PFC용 스위치의 최대 Duty는 0.3이므로

$$I_{IN} = \frac{Po}{\eta_{PFC} \cdot PF \cdot V_{IN}} = 13.2[\ A_{rms}]$$

$$I_a = I_{IN} \cdot (1-D) = 9.24[\ A_{rms}]$$

캐패시터전류:

$$I_c = \sqrt{I_{IN}^2 - I_L^2} = 6.76[\ A_{rms}]$$

로 결정되며, 이 때 허용리플전류 Ic와 허용리플전압 ΔV에 의해 캐패시터의 용량값은

$$C = \frac{I_c}{\omega \cdot \Delta V}$$

로 결정되며, 여기서 허용리플전압은 10%로 선정하고 ω는 입력전원주파수의 2배이므로 선정된 값은 680μF/450V로 결정하였다.

이와 같이 분석된 결과 각 부분에서의 전류의 값은 표 1과 같다. 그리고 이 결과에 의해서 선정된 캐패시터는 종래의 캐패시터보다 용량이 대폭 저감할 수 있고, 또한 부하전류 I_L이 출력전압 상승에 의해서 감소하고 있으므로 계산된 결과의 전류에서 모터의 토크특성이 나올 수 있도록 권선만의 재설계가 이루어진다면 동일한 성능을 유지하면서도 전류 감소의 효과가 유지되므로 인버터부의 스위칭소자의 전류정격 감소가 가능하여 결국 원가저감이 가능하게 된다.

구분	I_{IN}	Ic	I_L
일반에어컨	14.6	11.4	9.1
PFC	13.2	6.76	6.3

표 1 인버터 에어컨별 전류분석 결과

구분	B.Diode	Capacitor	인버터스위치
일반에어컨	25A/600V	2000μF/400V	12A/600V
PFC	15A/600V	680μF/400V	7A/600V

표 2 인버터 에어컨별 적용 소자

4. 실험 결과

앞 절에서 결정된 소자로 설계된 능동역율보상 회로를 적용한 인버터 에어컨과 수동필터를 갖는 일반 인버터 에어컨을 동작시켜 실험을 하였다.

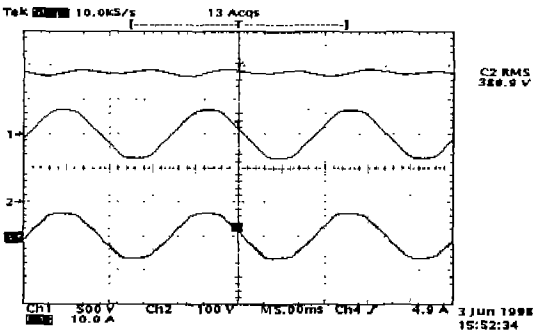

그림 4 능동역율보상 적용 인버터 에어컨의 동작파형(위:Vo,중간:V_{IN},아래:I_{IN})

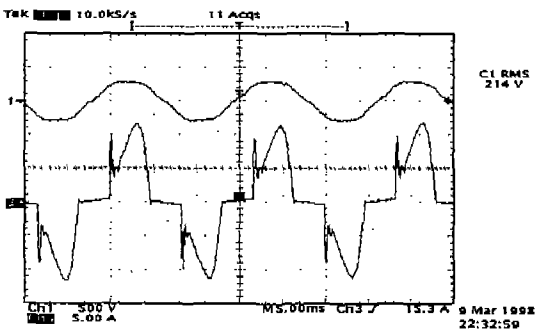

그림 5 일반 인버터 에어컨의 동작파형(위:V_{IN},아래:I_{IN})

그림 4와 그림 5는 각각 능동역율보상 회로 적용 에어컨과 일반 에어컨의 동작 파형이다. 시험항목은 여름철의 전력 과수요시의 입력전압불안현상을 고려하여 입력전압변동에 관한 실험을 실시하였다. 실험결과 능동역율보상회로를 적용한 인버터 에어컨은 전체 동작 범위에 대해서 역율 0.99이상 THD는 10%이하 그리고 전류 고조파는 최대 0.3A 이하(3고조파기준)로 국제규격에서 규제치를 모두 만족하는 결과를 얻었고, 또한 출력전압 Regulation이나 인버터의 안정동작 등을 통해서 선정된 소자들의 안정성능을 검증할 수 있었다. 실험 결과는 그림 6과 7에서 보이고 있다. 그리고 효율에 대해서는 압축기용 모터의 동작효율을 시뮬레이션한 결과와 에어컨의 동작시 모터의 선간전압 검출 결과를 비교하여 효율을 예측하였다. 그림 8은 그 결과로서 일반 인버터 에어컨의 입력전압변동에 대한 효율의 변동을 나타내고 반면에 능동역율보상회로를 적용한 에어컨은 일정한 효율을 보이고 있음을 알 수 있다. 그리고 최대 효율 편차가 약 3%정도 존재하므로 스위칭손실을 고려하여도, 동작시 의 입력전압과 주위온도에 따라 효율이 오히려 상승될 수 있음을 확인할 수 있다. 이것은 일반 인버터 에어컨이 모터의 최적 효율 조건인 표준조건과 대부분 다른

조건에서 동작함으로 인한 효율저하를 고려하면, -특히 여름철 전력과수요에 의한 입력전압변동 등의 조건-능동역율보상회로를 적용한 에어컨은 최적의 일정 효율을 유지하는 면에서 또 하나의 장점을 가질 수 있음을 확인할 수 있다.

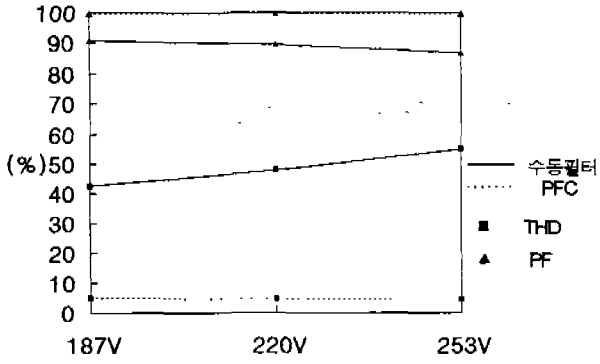

그림 6 인버터 에어컨별 역율 및 THD
(소비전력: 1.7KW 기준)

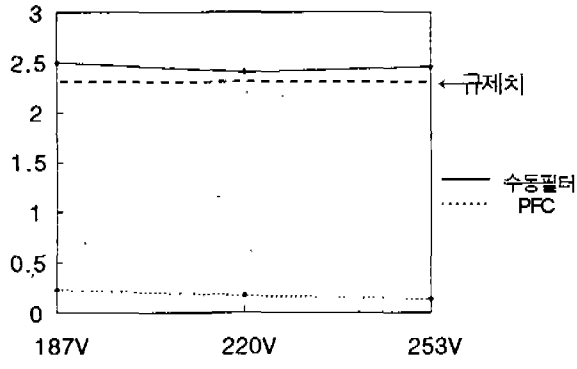

그림 7 인버터 에어컨별 전류고조파(3고조파)

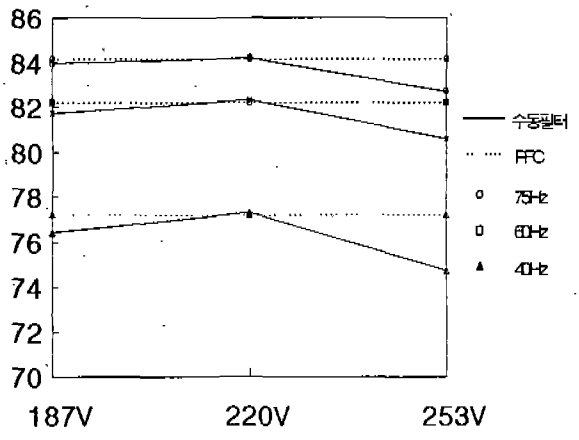

그림 8 유도전동기의 전압별 효율 특성

5. 결 론

능동역율보상회로의 인버터 에어컨에 적용함에 있어서 보편적으로 인식하고 있는 원가상승 및 효율저하의 문제를 해결하기 위해서, 본 논문에서는 능동역율보상회로의 최적의 소자를 선정하는 설계 절차를 제시하였고 이를 통해 선정된 소자의 정격 용량감소로 원가가 절감되는 효과를 확인하였고, 선정된 소자들을 적용하여 회로를 제작하고 실험을 하여 소자의 성능을 검증하였다. 또한 능동역율보상회로를 적용한 에어컨의 성능도 국제규격에 만족하는 성능향상을 확보할 수 있음은 물론 시스템 효율의 면에서도 전압변동에 대해서도 최적효율을 유지함으로인해 특히 국내의 경우처럼 계절별 전압변동이 심한 경우에 결과적으로 효율이 향상되는 효과를 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Philip C. Todd, "UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design", Unitrode Application Note U-134, pp. 10-303-10-322.

[2] Lloyd H. Dixon, "Average Current Mode Control of Switching Power Supplies", Unitrode Application Note U-140, pp. 10-398-10-411.

[3] Lloyd H. Dixon, "High Power Factor Switching Preregulator Design Optimization", Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual, SEM-700, pp.13-1~12