

특집 : PFC 기술동향

# 재료비를 고려한 역률제어회로의 기술동향

정용채

(남서울대학교 전자정보통신공학부 교수)

## 1. 서론

고조파 규제에 대한 국제적인 동향을 살펴보면 현재 EN 60555-2의 규제가 유럽에서 적용되고 있는데 적용범위는 가정용 제품 및 유사기기로 한정되어 있다. 이 적용 범위를 Low-Voltage Distribution System (50 또는 60Hz의 220/380V, 230/400V, 240/415V 시스템)에 접속하는 16(A) 이하의 모든 전기기기로 확대하려는 규제가 EN 61000-3-2이다. 당초 이 규제는 2001년 1월 1일에 적용하려고 하였지만 산업계의 요구에 의해서 2000년 10월초 105차 CENELEC 기술위원회에서 2004년 1월 1일로 적용시점을 연기한다는 14번째 개정안(Amendment A14)을 승인했다. 하지만 가정용 제품에 대해서는 바뀐 사항이 없기 때문에 EN 60555-2에 대한 지속적인 대응이 필요하다.

특히 가정용 제품에서 큰 전력을 소비하는 에어컨 같은 제품은 유럽에 수출을 하기 위해서는 필히 고조파 규제에 대응할 수 있는 역률제어회로(PFC)의 채용이 꼭 필요하다.<sup>(1,2)</sup> 물론 다른 제품들도 고조파 규제에 적용되지만 수동대책으로 해결이 가능하기 때문에 보통은 역률제어회로를 적용하고 있지 않다.

따라서 본 고에서는 인버터 에어컨에 적용되는 역률제어회로의 설계에 있어서 기본 성능을 만족하면서도 가격 면에서 최적으로 설계할 수 있는 설계절차를 고찰하려고 한다. 또한 최근에 도시바에서 적용된 저가격형 부분스위칭 역률제어회로도 소개하려고 한다.

## 2. 인버터 에어컨용 역률제어회로

최근 들어서 가전제품의 성능을 향상시키고 효율을 증대시키기 위해서 각 제품에 인버터 회로의 채용이 증가하고 있

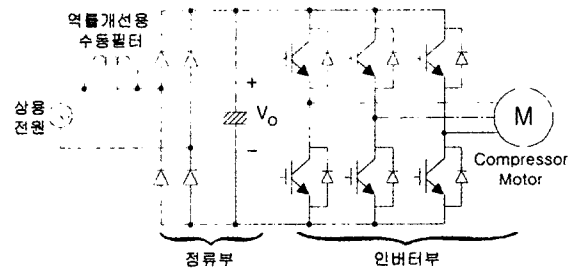


그림 1 다이오드 정류기를 갖는 인버터 회로

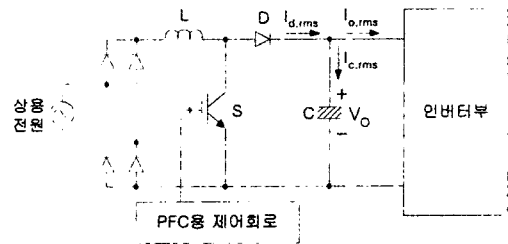
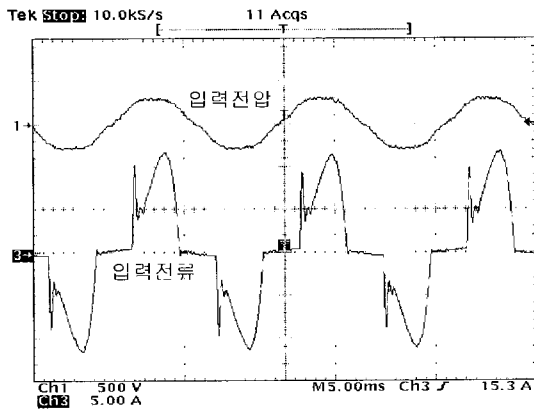


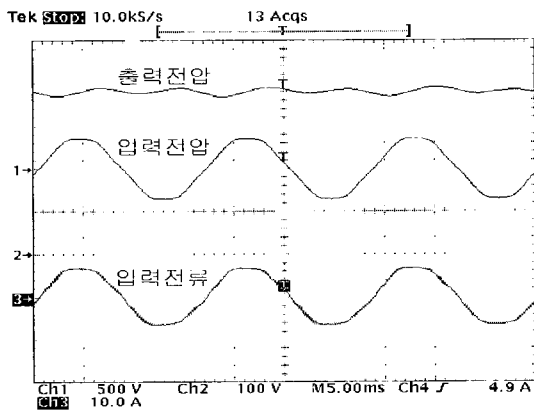
그림 2 역률제어회로를 갖는 인버터 회로

다. 이 인버터 회로를 적용하다보면 그림 1과 같이 입력전원을 브리지 정류기로 정류하고 전해 캐패시터로 평활하는 회로가 들어가는데 이 평활회로 때문에 역률이 떨어지고 고조파가 증가하게 된다. 특히 에어컨같이 큰 전력을 소비하는 제품은 전원의 안정된 사용을 위해서 역률을 0.9정도로 맞추어야 하는데 이 목적으로 들어간 것이 그림 1에 있는 역률개선용 수동필터이다.

그림 2는 인버터회로에 역률제어회로를 적용한 경우인데 기존의 인버터 회로에 역률제어용 부스트 회로가 추가적으



(a) 수동필터에 의한 입력파형



(b) 역률제어회로에 의한 입력파형

그림 3 수동필터와 역률제어회로에 따른 입력파형

로 더 들어가 있다. 이 두 회로를 비교해보면 그림 1과 비교해서 그림 2의 회로는 역률개선용 수동필터가 빠지고 역률제어회로인 L, S, D 및 PFC용 제어회로가 추가적으로 더 들어가 있다. 언뜻 보기에는 상당히 많은 가격상승이 있을 것 같지만 참고문헌 [1], [2]에서와 같이 최적 설계한 결과를 보면 실제로 오히려 가격을 절감할 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 즉, 평활용 전해 캐패시터의 리플전류 저감에 따른 용량 감소를 할 수 있고 출력전압의 상승에 따른 인버터 회로에 사용되는 스위치의 전류용량을 줄일 수 있어서 재료비 절감을 할 수 있다. 정리해보면 역률개선용 수동필터, 전해 캐패시터 및 인버터 스위치에서 재료비를 줄일 수 있어서 전체적인 재료비는 오히려 감소할 수 있다.

성능 면에서 보면 역률제어회로의 출력전압이 기존의 인버터 방식보다는 안정되고 높은 전압을 갖기 때문에 입력전압 변동에 대해서도 인버터가 안정되게 동작할 수 있으며 제어도 훨씬 쉬워진다.<sup>[1]</sup>

그림 3은 위의 두 경우의 입력전압과 입력전류의 파형인데 역률제어회로가 없는 기존의 인버터 회로에서는 역률개선용 수동필터 때문에 전류 파형의 모양이 넓은 폭을 갖는 펄스형태의 모양을 갖는다. 반면에 역률제어회로를 삽입하면 그림 3(b)와 같이 깨끗한 정현파를 얻을 수 있어 고조파 문제를 해결할 수 있다.

참고적으로 업계동향을 살펴보면 LG전자에서는 이미 유럽 수출용으로 인버터 에어컨에 역률제어회로를 적용하여 양산하고 있으며 최근에는 국내용으로도 선보이고 있다. 삼성전자에서도 인버터 에어컨에 역률제어회로의 적용을 위해서 개발에 주력하고 있다. 일본의 경우 800만대 이상의 에어컨 시장을 갖고있는데 이 중 93% 이상이 냉난방 겸용인 히트펌프를 채용하고 있다. 이러한 히트펌프는 인버터로 구동되며 이 중 50% 정도가 일본의 자부규제(VCCI)를 통해서 역률제어회로를 채용하고 있다. 최근에는 에어컨 뿐만 아니라 냉장고에도 역률제어회로를 채용하고 있으며 앞으로도 역률제어회로의 채용이 계속해서 늘어날 것으로 예상된다.

### 3. 각 소자의 설계

각 소자를 최적으로 설계하기 위해서는 역률제어회로 다음 단계에 연결되는 인버터 회로의 최대 입력전력을 주어진 정격에 대해서 계산해야 한다. 최대 입력전력에 대해서 역률제어회로 및 정류부의 효율을 고려하고 또한 최저 입력전원에 대해서 계산하면 최대 입력전류를 계산할 수 있다.<sup>[2]</sup> 이렇게 결정된 전류를 기준으로 각 소자의 정격을 계산할 수 있는데 표 1의 설계조건을 가지고 각 소자의 설계과정을 고찰해 보면 다음과 같다.

#### 3.1 스위칭 소자의 선정

스위칭 소자를 선정하려면 정격 전압과 전류 및 스위칭 속도를 고려해야 한다. 그림 2의 스위칭 소자인 S와 D의 정격 전압은 역률제어회로의 출력전압에 기생성분에 의한 ringing을 고려하면 되는데 표 1의 조건을 기준으로 하면

표 1 역률제어회로의 설계사양

항목	설계사양	비고
입력전압	220V ±15% (187~253V)	
출력전압	400V	
입력전력	3kW	1.5Hp 압축기
스위칭 주파수	25kHz	가칭주파수 이상
정류부 효율	98%	100% 부하시
PFC 효율	96%	100% 부하시

600[V] 소자를 사용하면 된다. 스위칭 소자가 3[kW]를 감당하려면 MOSFET보다는 IGBT가 더 적합하기 때문에 IGBT를 S로 선택한다. 다이오드는 오프 시 역회복 특성이 문제가 되기 때문에 고속 다이오드를 사용하되 될 수 있으면 역회복 시간이 짧은 것을 사용해야 한다. 각 소자에 흐르는 전류는 입력전류의 리플성분과 다이오드의 역회복 특성을 고려하여 선정하면 되는데 25℃ 기준으로 50[A] 정격의 스위치를 선정하면 된다.

### 3.2 인덕터의 선정<sup>(1-6)</sup>

인덕터에 흐르는 전류의 리플률에 따라서 값이 차이가 나는데 일반적인 선택기준은 30%이다. 이 경우 인덕터와 여기에 흐르는 최대 전류 식은 다음과 같다.

$$L = \frac{V_{IN,min}(peak) \cdot D}{f_s \cdot \Delta I} \quad (1)$$

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

$$D = \frac{V_o - V_{IN,min}(peak)}{V_o} \quad (3)$$

여기서 D는 최소입력전압의 피크치( $V_{IN,min}(peak)$ )에서의 duty factor이고  $f_s$ 는 스위칭 주파수이다. 인덕터에 흐르는 전류는 입력전류가 정류된 형태로 흐르기 때문에 큰 전류가 흐르고 손실이 문제가 된다. 따라서 이러한 인덕터에 적합한 코어는 (주)창성의 High Flux, MPP 또는 Dust 코어나 (주)유유의 아몰포스 코어를 사용하면 된다. 이 중 High Flux, MPP 또는 Dust 코어는 분말코어이기 때문에 갭이 없고 온도특성도 우수하다. 반면에 아몰포스 코어는 약 3[mm]의 갭이 존재하고, 코어의 구성을 잘 못하면 큰 전류가 흐를 때 소음이 발생하는 단점이 있다.

### 3.3 출력 캐패시터의 선정

출력 캐패시터를 선정하기 위해서는 캐패시터에 흐르는 리플전류와 용량을 결정해야 한다. 참고문헌<sup>(1-3)</sup>을 참고하면 다음과 같은 수식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$I_{c,rms} = \sqrt{I_{d,rms}^2 - I_{o,rms}^2} \quad (4)$$

$$C = \frac{I_{c,rms}}{\omega \cdot \Delta V} \quad (5)$$

각 전류에 대한 변수들은 그림 2에 표기되어 있고  $\omega$ 와  $\Delta V$ 는 각각 정류된 전압의 각주파수와 캐패시터의 리플 전압이다.

하지만 식 (4)에 의해서 계산된 리플전류에 따라서 캐패시

터를 선정하다보면 식 (5)에 의해서 계산된 용량보다는 항상 크게 나온다. 따라서 무엇보다도 리플전류의 계산이 중요하다.

또 하나 중요한 선정인자가 수명인데 이는 이 제품의 사용시간과 주위온도에 따라서 보충해 주어야 하는 시간을 계산해서 정해야 한다. 이러한 데이터들은 보통 전해 캐패시터의 카탈로그에 잘 나와있다.

참고문헌<sup>(1-2)</sup>과 같이 기존의 인버터 회로와 비교해보면 캐패시터의 리플전류와 용량이 작은 것을 사용해도 된다는 것을 알 수 있으며 이러한 부분에서 기존 시스템과 비교해서 재료비 절감을 얻을 수 있다.

### 3.4 제어 IC의 선정

본 고에서 제시한 예에서는 큰 전력을 다루기 때문에 역률 제어방식은 고정주파수 연속전류모드제어를 선택해야 한다. 이러한 용도의 제어용 IC로는 최근 TI사와 합병한 Unitrode사에서 출시한 UC3854를 비롯하여 Micro Linear, Fairchild((구)삼성반도체), Fuji 등 많은 회사에서 출시하고 있다. 하지만 규제치는<sup>(3)</sup>에서 제시한 바와 같이 엄격하지 않기 때문에 성능이 약간 떨어지더라도 가격이 저렴한 것이 선택의 기준이 될 것이다. 따라서 현재는 성능 면에서는 UC3854A/B가 가격 면에서는 Fuji의 FA5332P가 경쟁력을 갖고 있다.

## 4. 부분 스위칭 역률제어회로

그림 4는 일본의 도시바에서 인버터 에어컨에 적용한 부분스위칭 역률제어회로를 보이고 있다.<sup>(7)</sup> 이 방식은 입력전원의 반주기 동안 1번 또는 2번의 스위칭 만을 해주기 때문에 효율 측면에서는 기존의 부스트 방식보다는 우수한 특성을 가진다. 반면에 역률제어 특성은 다소 떨어지고 출력전압제어가 잘 안 되기 때문에 앞 절에서 언급한 부스트 방식의 역률제어회로가 적용된 인버터에서 얻을 수 있는 장점은

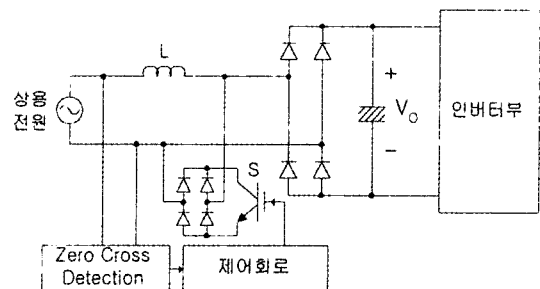


그림 4 도시바의 부분 스위칭 역률제어회로

얻을 수 없다. 또한 역률제어용 인덕터는 저주파용으로 규소강판을 사용하고 있으며 부피가 커진다는 것과 저주파 동작에 의한 소음문제도 해결해야 하는 과제이다. 가격 면에서 검토해보면 스위치 S는 양방향 스위치가 돼야하고 구동회로와 제어회로가 복잡해지며 출력 캐패시터의 리플전류가 증가해서 부스트 방식만큼 줄일 수는 없기 때문에 전체적인 재료비는 부스트 방식과 비슷해질 것으로 판단된다.

### 5. 맺음말

본 고에서는 국제적으로 문제가 되고 있는 고조파 규제에 대한 대책으로 큰 전력의 인버터 에어컨에 적용하는 역률제어회로의 최적설계에 관해서 논의를 했다. 여러 가지 역률제어회로가 있지만 그 중 대전력에 적합한 부스트 방식의 역률제어회로에 대해서 재료비를 고려한 각 소자의 선정방법에 대해서 정리했다. 그리고 최근에 일본의 도시바에서 인버터 에어컨에 적용한 부분 스위칭 역률제어회로에 대한 장단점을 논의하였다. 앞으로도 이와 같은 성능 향상과 재료비 절감을 위한 연구가 지속적인 이루어 질 것으로 전망된다. ■

### 참고문헌

- [1] 권경안, 박병욱, 김정태, 정용채, "역률제어회로를 갖는 인버터 구동 에어컨", 전력전자학회 논문지 제4권 제1호, pp. 105~110, 1999.
- [2] 정용채, 정윤철, 권경안, "재료비 절감을 위한 병렬구조를 갖는 인버터 에어컨용 역률제어회로", 전력전자학회 논문지 제4권 제2호, pp. 122~127, 1999.
- [3] 정용채, 권경안, "인버터 에어컨을 위한 고역률 단상능동정류기", 전력전자학회 논문지 제4권 제2호, pp. 144~151, 1999.

- [4] Philip C. Todd, "UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design", Unitrode Application Note U-134, pp. 10-303~10-322.
- [5] Lloyd H. Dixon, "Average Current Mode Control of Switching Power Supplies", Unitrode Application Note U-140, pp. 10~398-10~411.
- [6] Lloyd H. Dixon, "High Power Factor Switching Preregulator Design Optimization", Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual SEM-700, pp. 13-1~12.
- [7] Yasuhiro Shimma and Kenji Iida, "Inverter Applications to Air Conditioning Field", IEEJ The Proceedings of 2000 International Power Electronics Conf. (IPEC), Vol. 3, pp. 1747~1750, 2000.

### 〈 저 자 소 개 〉



#### 정용채(鄭龍采)

1966년 2월 28일생. 1989년 한양대학교 공대 전자공학과 졸업(학사). 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1995년~1999년 LG전자 홈어플라이언스 연구소 선임연구원. 1999년~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 전임강사.