

Interleaved PFC 컨버터의 인덕터 축소 구현 방안

김병석, 김상언, 강경수, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Application of Reduced Inductor for Interleaved PFC Converter

Byeong Seok Kim, Sang Eon Kim, Kyung Soo Kang, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

본 논문은 지능형 실외기인 CAC, PAC 에어컨 실외기의 Interleaved PFC단에 사용하는 리액터에 관한 것으로써, 리액터의 부피 및 가격 저감을 목표로 하고 있다. 기존 6KW급 CAC, PAC 에어컨 실외기의 Interleaved PFC단에 사용하는 두 개의 개별 리액터를 한 개의 코어를 이용한 커플 인덕터 방식의 리액터로 대체한다. 이를 통해, 리액터의 부피 및 가격 저감이 가능하다. 실제 제품에 적용하여 실험한 결과, 기존과 동등한 수준의 입력 전류와 인덕터 전류 리플을 갖고, 역률 또한 개선됨을 검증하였다.

1. 서론

최근 CAC, PAC 용 인버터 보드는 역률 개선 회로(PFC)와 Compressor 모터 구동용 인버터로 구성된다. 이 때, 역률 개선 회로(PFC)는 Interleaved PFC 부스트 컨버터를 채용하여 PFC 단의 입력 전류와 출력 전류 리플을 저감한다. 이로 인해 RFI Filter 소형화 및 경량화, DC Link 캐패시터의 실효 전류를 감소시키는 장점을 지니고 있다.

본 논문에서는 기존 두 개의 코어를 하나로 통합한 커플 인덕터 방식의 Interleaved 부스트 컨버터를 제안한다. 또한, 기존 리액터에 사용된 Toroidal 코어의 비선형적 특성으로 인하여 Offset 전류가 증가함에 따라 감소되는 리액터의 인덕턴스를 Ferrite 코어를 사용하여 개선한다. 이로써 역률을 향상 시키고, 보빈을 이용해 자동권선 양산화가 가능한 리액터를 제안한다.

2. 커플 인덕터를 적용한 Interleaved PFC 회로

2.1 Interleaved PFC 회로 커플 인덕터 구현

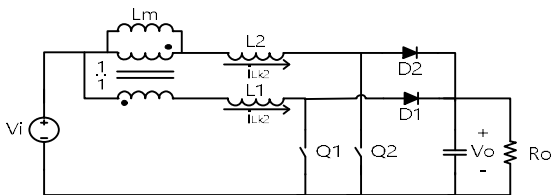


그림 1. 커플 인덕터의 누설 인덕턴스를 이용한 Interleaved PFC 컨버터

그림 1은 제안된 커플 인덕터의 누설 인덕턴스를 이용한 Interleaved PFC 회로로써 기존의 두 개의 개별 리액터를 한 개의 커플 인덕터의 누설 인덕턴스로 대체한다. 따라서, 기존 Interleaved PFC 회로의 입력 전류 및 인덕터 전류 리플 저감, 출력 전압 리플 저감 등의 장점을 유지하면서, 리액터의 부피와 권선 수를 줄이고, 양산 공정 자동화로 인해 제작 비용을 줄일 수 있는 장점이 있다.

2.2 커플 인덕터 설계

본 논문에서는 리액터 설계를 위해 식 (1)을 통하여 최적 조건의 코어를 Ferrite EE 55 코어로 선정한다.

$$a_{ch}(m) = \left(\frac{S_{tot}}{15 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{V_{Lrms} I_{Lrms}}{15 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

또한 제안 회로는 커플 인덕터의 누설 인덕턴스를 이용하므로 외측에 비해 중측 면적이 넓은 EE 코어의 특성을 고려하여, 권선 수 저감에 유리하고 누설 인덕턴스 유도에 적합한 그림 2와 같은 DM Mode 방식을 채택한다.

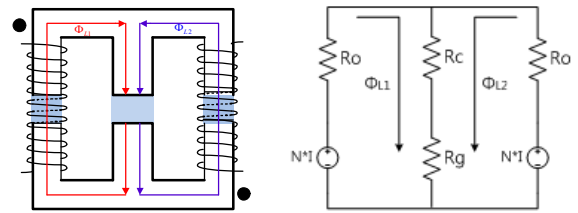


그림 2. 제안된 커플 인덕터의 자화 인덕턴스 구현을 위한 구성도 및 Reluctance 등가 모델

커플 인덕터 설계를 위해, 필요 인덕턴스의 값을 결정해야 한다. 회로 모드해석으로 누설 인덕터에 걸리는 전압과 전류 파형을 그림 3에 나타내었다.

이를 통해 입력 전류 리플과 각 인덕터의 전류 리플은 다음 식 (2), 식 (3)과 같음을 알 수 있다.

$$I_{input-ripple} = I_{Lk1} + I_{Lk2} = \frac{DT_s}{L_k} [2V_i - V_o \left(\frac{L_k + 3L_m}{L_k + 2L_m} \right)] \quad (2)$$

$$I_{Lk-ripple} = \frac{1}{L_k} [V_i - V_o \left(\frac{L_m}{L_k + 2L_m} \right)] DT_s \quad (3)$$

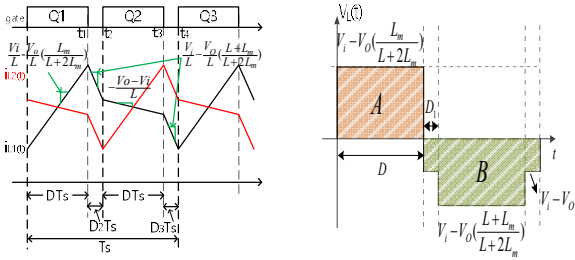


그림 3. 스위치 gate 및 인덕터 전류, 전압 파형

기존 회로와 동등 수준의 전류 리플을 가정하여, 식 (2), 식 (3)를 통해 누설 인덕턴스 값을 190uH로 구할 수 있다.

턴 수는 76턴으로 식 (4)를 통해 결정하였고, 스위칭 주파수와 인덕터에 흐르는 최대 실효전류를 고려하여 직경 1.29mm의 동선을 채택한다. 그림 2의 Reluctance 등가 모델 해석으로 공극 길이에 따른 누설 인덕턴스 값의 변화에 대한 식 (5)를 유도하였고, 이를 통해 중 축 공극 길이를 결정하였다.

$$\Phi_{L1} + \Phi_{L2} = \frac{N(I_1 + I_2)}{R_g} = B_{sat} A_c, \quad N = \frac{L_k(2I_{pk})}{B_{sat} A_c} \quad (4)$$

$$R_o = \frac{l_o}{\mu \left(\frac{A_c}{2}\right)}, \quad R_g = \frac{l_g}{\mu_o A_c}, \quad L_k \approx \frac{N^2}{R_g} = \frac{\mu_o N^2 A_c}{l_g} \quad (R_o \ll R_g) \quad (5)$$

상기 방법으로 설계한 6kW급 CAC용 Interleaved PFC 회로에 적용한 커플 인덕터 사진 및 사양을 그림 4와 표 1에 나타내었다.



그림 4 a. 기존 리액터



그림 4 b. 제안된 리액터

그림 4. 기존 리액터 제안된 리액터 사진

표 1. 인덕터 설계 사양

인덕터 L1		인덕터 L2	
L1	190uH	L2	190uH
턴 수	76턴	턴 수	76턴
적용 코어	Ferrite EE 5555A		
중 축 공극 길이	14mm		
적용 권선	0.1*150십 (1.307mm ²)		
인덕터 최대전류	26A	Stot	2,620

설계한 커플 인덕터를 6kW급 Interleaved PFC 회로에 적용하여 실험하였다.

2.3 실험 결과

본 논문에서는 6kW, CAC용 실제 제품 Interleaved PFC 회로에 커플 인덕터를 적용하여 실험하였다. 실험 조건은 입력 전압 220Vac, 출력 전압 370V 조건으로 실험하였고, 실험 조건을 다음 표 2에 나타내었다.

표 2. 커플 인덕터를 적용한 Interleaved PFC 회로 실험 조건

커플 인덕터 적용 제한 회로	
입력 전압(Vin)	220Vac
출력 전압(Vo) 및 전력(Po)	360~370Vdc / 6kW
스위칭 주파수(fsw)	25kHz

그림 5에 기존 회로와 커플 인덕터를 적용한 제안 회로의 실험 파형을 도시하였다.

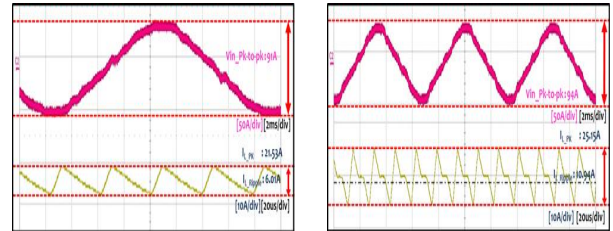


그림 5-a. 입력 전류 및 리액터 전류 실험 파형

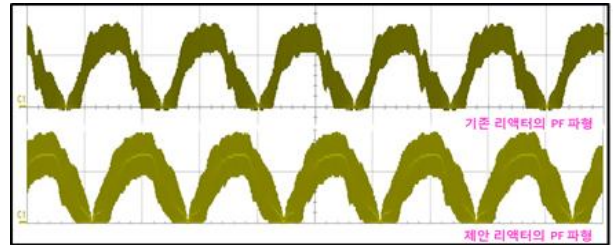


그림 5-b. 기존 리액터와 제안 리액터 PFC 전류 파형

그림 5. 출력 전력 6kW 시, 기존 회로와 제안 회로 실험

기존 회로와 제안 회로의 입력 전류 리플과 인덕터 전류 리플이 동등 수준인 것을 볼 수 있고, 제안 회로의 인덕터 전류의 최대치에서 코어가 Saturation 되지 않음을 볼 수 있다. 또한, 역률이 개선됨을 파형을 통해 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 Interleaved PFC 회로에 리액터 부피와 제작 단가를 줄이기 위한 커플 인덕터를 제안하였고, 6kW급 실제 CAC용 Interleaved PFC 회로에 적용하여 실험하였다. 이를 통해, 두 개의 개별 리액터를 사용한 기존 회로와 제안된 커플 인덕터를 적용한 회로의 전류 리플이 동등수준임을 검증하였다.

본 연구는 삼성전자(주)의 연구비 지원과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학T연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA 2013 H0301 13 2007)

참고 문헌

- [1] 고종진, 최지환 외 4명, "CM Choke의 누설 인덕턴스를 이용한 리액터 설계", 전력전자학회 2012년도 하계학술대회 논문집, 2012.7, P.277 P.278
- [2] 윤광호, 품소피악 외 3명, "커플인덕터를 적용한 Interleaved PFC 컨버터", 전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집, 2011.11, P.197 P.198