

11kW급 OBC용 LLC 공진형 컨버터의 평판형 변압기 설계 및 분석

권재현, 정창교, 남승민, 이준영^{*}
명지대학교 전기공학과

Design and Analysis of Planar Transformer of LLC Resonant Converter for 11kW OBC

Jae-hyun Kwon, Chang-gyo Jeong, Seung-min Nam, Jun-Young Lee^{*}
Myongji University

ABSTRACT

본 논문은 11kW급 OBC용 LLC 컨버터를 사용하여 전력밀도와 생산성 향상을 위한 평판형 변압기의 설계 가이드를 제시한다. PCB 권선법과 절연거리에 따른 기생 커패시턴스가 발열에 미치는 대하여 영향을 분석하고 실험을 통해 이를 검증한다.

1. 서 론

현재 전 세계적으로 화석 연료로 인한 환경 문제가 대두되며 이로 인해 차량 환경 규제가 강화되고 있다. 이에 대응하기 위해 자동차 회사들은 하이브리드 자동차, 전기자동차, 수소자동차 등 친환경 자동차들을 개발/출시하고 있으며 메이저 회사들은 기존 엔진 기반의 자동차를 단종하고 친환경 자동차로 사업방향을 전환하고 있다. 이로 인해 OBC 및 LDC의 연구/개발이 활발히 이루어지고 있으며 그 가운데 가격 경쟁력 및 생산성을 높이기 위한 연구도 진행되고 있다.^[1]

기존에는 Litz 권선을 사용한 변압기를 사용하였으나 가격 경쟁력을 높이기 위해 평판형 PCB를 사용하는 추세이다. 현재 DC-DC 컨버터로 LLC 컨버터를 주로 사용하나 평판형 변압기로 교체하면서 발열 이슈가 발생하고 있다. 이를 고찰하여 본 논문에서는 1, 2차 간 기생 커패시턴스에 따른 발열 특성을 분석하고자 한다. 1, 2차 권선 간에 FR-4를 삽입하여 거리에 따른 기생 성분 차이를 분석하고 그 실험 결과를 발표한다.

2. 평판형 변압기의 설계

2.1 평판형 변압기 설계

기생 커패시턴스에 의한 평판형 변압기의 발열 특성을 연구하기 위함으로 연구실에서 선행과제로 진행한 11kW급 양방향 OBC의 하드웨어를 사용하였으며 변압기 설계 파라미터도 기존 변압기와 동일하게 적용하였다.^[2]

$$A_p = \left[\frac{L I_{pk}^2 \times 10^4}{420 B_m K} \right]^{1.14} \quad (1)$$

식 (1)의 계산 결과를 토대로 그림 1과 같이 PEE6420코어 3개를 직·병렬하여 사용하였다.

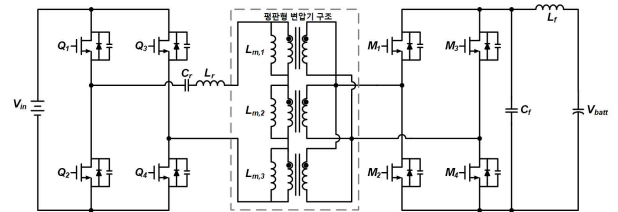


그림 1. 평판형 변압기를 적용한 OBC용 LLC 컨버터 회로

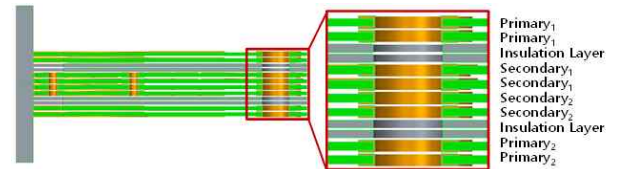


그림 2. 평판형 변압기 적층 방법

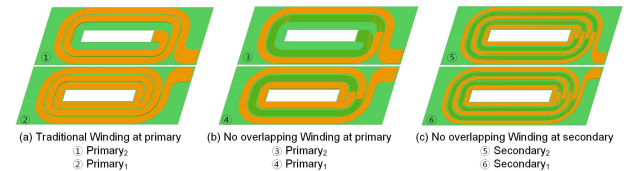


그림 3. PCB 패턴 레이아웃

변압기 권선은 그림 2와 같이 각각의 인쇄 회로 기판을 제작하여 적층하였으며 1, 2차 PCB 사이에 여러 장의 FR-4를 삽입하여 기생 커패시턴스의 크기를 조절하였다. 프린팅 이펙트에 의한 발열을 제한하기 위하여 샌드위치 권선법을 적용하였다. 1차측 패턴은 기생 커패시턴스와 패턴 폭에 의한 발열을 비교하기 위해 그림 3의 (a), (b)와 같이 두 가지로 나누어 설계하였다. 여기서 그림 3-(a)는 한 면에 모든 권선을 설계하므로 양면에 같은 패턴을 적용하여 3-(b)에 비해 총 2배의 패턴 폭을 가지도록 하였다.

2.3 패턴간 거리에 따른 커패시턴스

패턴의 면적과 1, 2차 권선 간의 거리, PCB 및 공기의 유전율을 알고 있으므로 각 변압기 내부 기생 커패시턴스를 계산할 수 있다.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad (2)$$

표 1. 변압기 기생 커패시턴스 계산값과 측정값 비교

Parameter		Value		
		Test 1	Test 2	Test 3
Pattern Winding Method		No over-lapping	No over-lapping	Traditional
number of Insulation PCB [EA]		3	2	2
Parasitic Capacitance Each [pF]	Calculated	74.77	99.69	127.33
	Measured	70.34	102.95	128.36

식 (2)를 사용하여 기생 커패시턴스 계산이 가능하며 1, 2차 측이 2번 교차하므로 한 면의 계산 값에 2배를 곱하여 계산하였다. 표 1.과 같이 계산값과 실제 측정값이 유사함을 확인하였으며 변압기를 그림 1.과 같이 변압기 3개를 한 세트로 구성하였으므로 실제 실험에 사용한 변압기의 기생 커패시턴스는 측정값의 3배로 각 세트당 약 100pF의 차이를 가진다.

3. 실험 결과

제작한 변압기 3종은 그림4.와 같으며 이를 11kW급 LLC 공진형 컨버터에 적용하여 실험을 진행하였다.

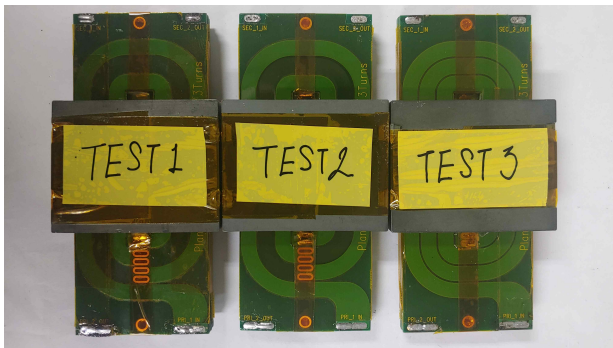


그림 4. 제작한 변압기의 프로토타입

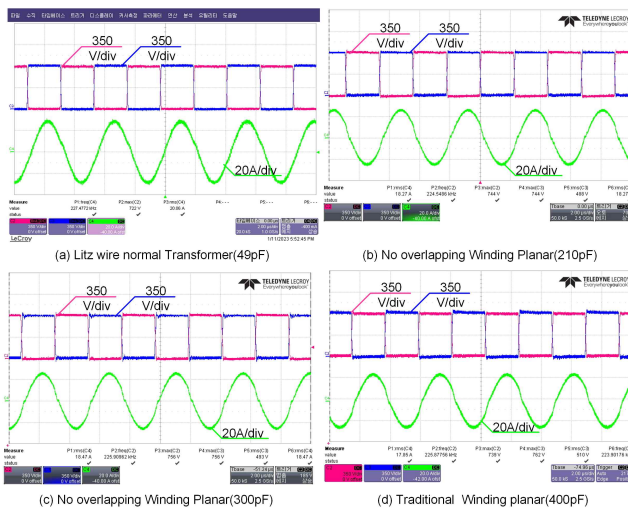


그림 5. 각 변압기의 정격 출력파형

그림 5.는 PQ 코어를 사용한 일반 변압기와 제작한 3종의 변압기로 실험한 파형이며 스위치 전압과 변압기 1차측 전류를

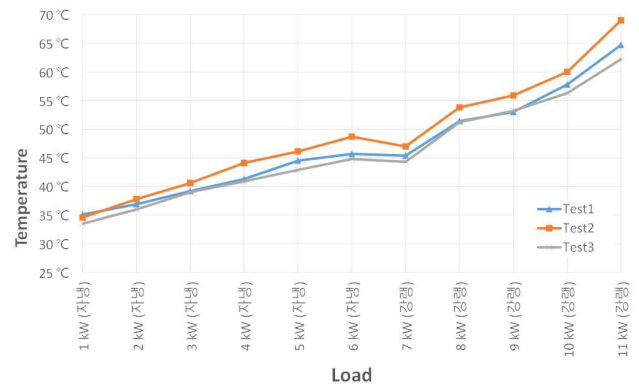


그림 6. 각 부하별 발열 비교

보여준다. 변압기 1차측 전류 파형으로 보아 변압기 형태와 기생 커패시턴스에 따라 변압기 전류에는 영향은 적으며 정상 운전함을 확인하였다.

부하별 발열 여부를 그림 6.과 같이 정리하였다. 6kW까지는 자연공랭 방식으로 실험을 진행하였고 7kW부터 강제공랭방식으로 실험을 진행하여 7kW부하를 기준으로 기온기가 서로 다를 수 있다. 실험 결과 기생 커패시턴스가 커짐에 따라 발열이 다소 증가함을 알 수 있다. 또한 Test 3의 변압기는 Test 2와 비교하여 동일 적층 구조에 2배의 패턴폭을 가짐에도 불구하고 Test 1과 유사한 온도 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 평판형 변압기의 기생 커패시턴스가 발열 요소임을 제시한다. 변압기의 기생 커패시턴스가 이득 1 부근에서 동작하여 실제 컨버터 운전에 미치는 영향은 미비하나 패턴 발열과 연관성이 있음을 확인하였으며 기생 커패시턴스를 줄임으로써 패턴 폭을 확보와 유사한 효과를 가짐을 확인하였다. 추후 연구를 통해 평판형 변압기의 기생 요소의 상관 관계를 분석하여 변압기 최적 설계에 대하여 연구를 지속하고자 한다.

이 논문은 국토교통과학기술진흥원의 “환경부하 저감을 위한 친환경 고효율 말단배출 기술개발” (No. KA162618) 과 산업통상자원부 지원 프로그램 “자동차 산업 기술 개발” (No. 20018958) 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 손원진(Won-Jin Son),이재한(Jae Han Lee),안상준(Sangjoon Ann),변중은(Jongeun Byun),and 이병국(Byoung Kuk Lee). “고밀도 OBC용 LLC 컨버터를 위한 Planar 변압기 설계.” 전력전자학술대회 논문집 2020.8 (2020): 19-21.
- [2] S. Mun, S. Choi, D. Hong, S. Kong and J. Lee, “Three phase 11 kW on board charger with single phase reverse function,” Journal of Power Electronics, vol. 22, no. 8, pp. 1255-1264, 2022. DOI: 10.1007/s43236-022-00457-3.