

공통 노이즈 저감과 고효율을 위한 능동 클램프 포워드 컨버터의 평판형 변압기 분석

박지훈, 홍예진
현대모비스

Analysis of Active Clamp Forward Converter Planar Transformer for Common Mode Noise Reduction and High Efficiency

Jihoon Park, Yejin Hong
Hyundai Mobis Co. Ltd.

ABSTRACT

본 논문은 전기자동차에 탑재된 저전압 직류변환장치(Low Voltage DC-DC Converter, LDC)의 공통 노이즈 저감과 효율 개선을 위한 평판형 변압기(Planar Transformer)의 설계 고려사항에 대하여 설명한다. 평판형 변압기는 기존의 권선형 변압기에 비해 비용절감, 전력밀도 향상 등의 장점을 가지지만 1/2차간 높은 커플링으로 인하여 공통 노이즈 특성과 효율이 낮다는 단점이 있다. 이를 개선하기 위한 평판형 변압기의 권선 설계 방법에 대하여 제안하였으며, 2.4kW Prototype 제품을 제작하여 검증하였다.

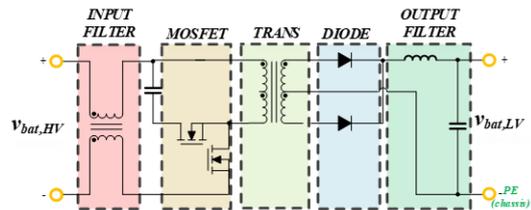


그림 1. LDC 시스템

2. LDC 시스템의 변압기

1. 서론

친환경 차량(HEV, PHEV, EV)에 적용되는 저전압 직류변환장치(Low-voltage DC-DC Converter, 이하 LDC)는 고전압 배터리로부터 차량 내 전장 시스템에 전력을 공급하는 주요 부품이다. 최근, 전기차의 소형화/경량화를 위해 고전압 배터리를 사용하는 탑재형 충전장치(On Board Charger, 이하 OBC)와 통합된 제품으로 개발되고 있다. OBC는 전기차의 빠른 충전 속도를 위하여 충전용량이 11kW에서 22kW급으로 증대되고 있으며, LDC도 전장 시스템의 전력 소모가 높아지며 용량이 증대하고 있다. 또한, 전비 향상을 위하여 제품 사이즈 및 중량 저감을 요구하여 고전력밀도 제품이 필요하다. 이를 만족하기 위해 전력 부품 중 큰 부피 비중을 차지하는 변압기의 소형화를 위한 평판형 변압기(Planar Transformer) 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

그림 1은 LDC의 시스템 회로 구성을 나타낸 그림이다. 고전압 배터리 전압을 12V 정도의 절연형 저전압으로 변환하는 역할을 하며 LDC출력의 그라운드 는 차량 샤시와 동일하다. 따라서, LDC 시스템 전체적으로 차량 샤시를 통하여 흐르는 공통 노이즈 성분이 존재한다. 이러한 공통 노이즈는 차량내에서 전자파 특성을 악화시키며, 차량 내 다른 제품들의 이상동작, 라디오 청취 강도 약화 등을 초래한다.

한편, 1차측과 2차측의 전기적 절연을 위해서는 일반적으로 변압기 사용이 필수적이다. 하지만 변압기 소형화, 1/2차 커플링 등의 이유로 변압기에는 권선 간 기생 커패시턴스가 존재하며, 이는 시스템 효율 및 전자파 특성에 영향을 미친다. 이를 고찰하여 본 논문에서는 LDC 시스템의 변압기 기생 커패시턴스가 LDC 시스템의 효율과 공통 노이즈 성분에 미치는 영향에 대하여 분석한다.

2.1 권선형/평판형 변압기 구성 차이

그림 2는 LDC 시스템의 권선형 변압기와 평판형 변압기에 대한 구성도이다. 가장 큰 차이는 변압기의 권선을 구성하는 물질이며, 일반적으로 LDC 시스템에서 기존 권선형 변압기는 그림 2(a)와 같이 고전압/저전류의 성격을 가지는 1차측은 Litz wire, 저전압/고전류의 성격을 가지는 2차측은 버스바로 구성된다. 평판형 변압기는 그림 2(b)와 같이 1차/2차 권선 모두 PCB로 구현하며, 각 전압/전류 특성에 맞게 권선의 턴수, 패턴폭, 층수 등을 고려하여 설계한다.

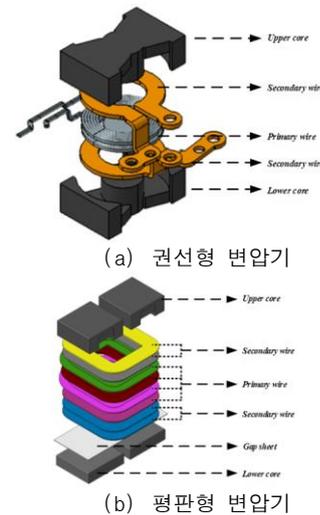


그림 2. LDC 변압기 구성 비교

2.2 평판형 변압기 권선 구조

일반적으로 변압기는 1차/2차 권선 간의 커플링으로 인하여 그림 3과 같이 기생 커패시턴스가 존재한다. 이러한 기생 커패시턴스는 1차/2차 권선 간의 커패시턴스(Inter winding capacitance, 이하 C_{inter})와 같은 권선 간의 커패시턴스(Intra Winding Capacitance, 이하 C_{intra})로 구분된다. C_{inter} 는 시스템의 공통 노이즈 성분에 영향을 미치며, C_{intra} 는 시스템의 효율에 영향을 미친다.^[1] 평판형 변압기의 경우, 권선형 변압기에 비해 각 권선 간의 간격이 좁기에 기생 커패시턴스가 상대적으로 더 크게 형성된다. 본 논문에서는 평판형 변압기의 기생 커패시턴스가 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위해 동일한 회로 구성을 PCB 적층 구조만 달리하여 그림 4와 같은 구성으로 제품을 제작하였다. 기본적인 층간 prepreg는 0.2mm로 제작하였으며, 변압기 기생 커패시턴스 크기 조절을 위해 일부는 0.4mm prepreg를 적용하였다. 표 1은 제작한 케이스에 대하여 커패시턴스 값을 비교한 표이다.

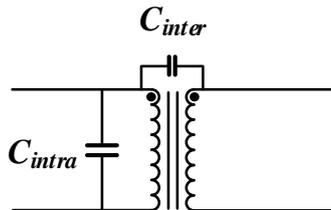
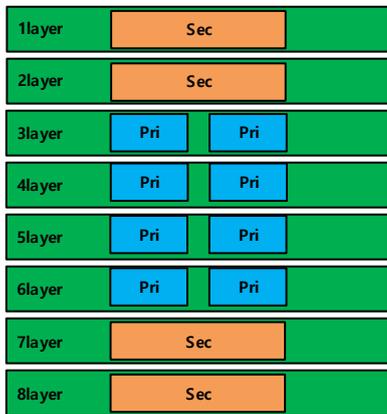
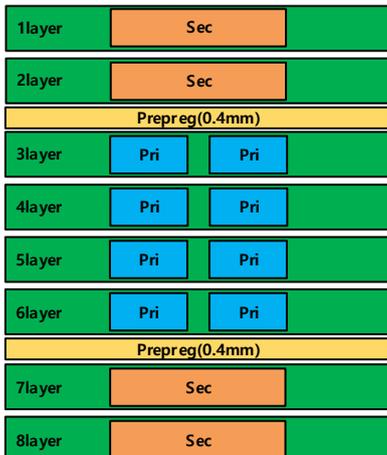


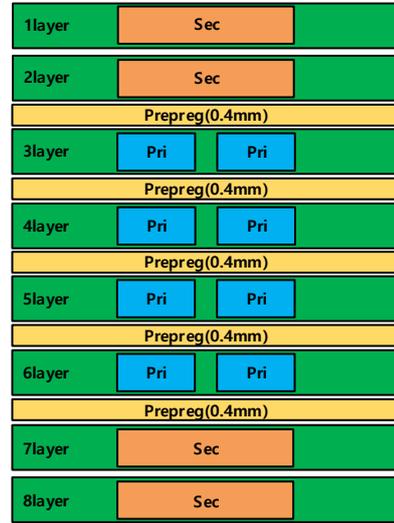
그림 3. 변압기의 기생 커패시턴스 성분



(a) 2.0T PCB



(b) 2.4T PCB



(c) 3.0T PCB

그림 4. 평판형 변압기 PCB 적층 구조

표 1. PCB Prepreg에 따른 커패시턴스값 비교

항목	(a)	(b)	(c)
PCB 두께	2.0mm	2.4mm	3.0mm
C_{inter}	1070pF	525pF	511pF
C_{intra}	352nF	337nF	182nF

is Restricted

2.3 실험 결과

평판형 변압기의 기생 커패시턴스가 LDC 효율과 공통 노이즈에 미치는 영향을 확인하기 위해 $V_{in}=480V$, $V_o=14V$, $P_o=2.4kW$ 제품을 제작하여 테스트를 진행하였다. 그림 5는 그림 4(a)~(c)에 따라 측정된 효율 곡선 결과이다. 측정 결과, C_{intra} 가 350nF 정도 가지는 (a)와 (b)는 효율 곡선이 유사하게 나왔으며, 상대적으로 적은 182nF를 가지는 (c)가 대부분의 부하 영역에서 효율이 증가함을 확인하였다. 따라서, C_{intra} 가 감소할수록 시스템의 효율이 증가함을 알 수 있다.

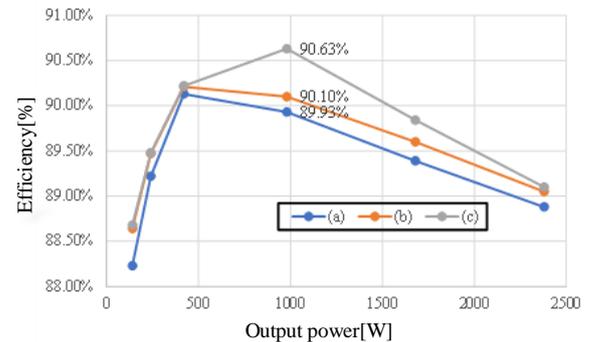
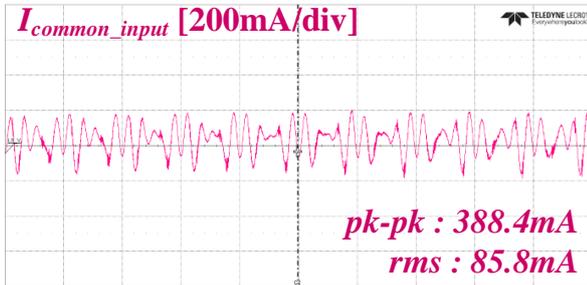


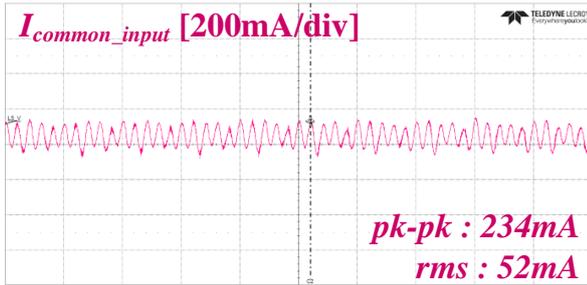
그림 5. PCB별 효율 곡선

참 고 문 헌

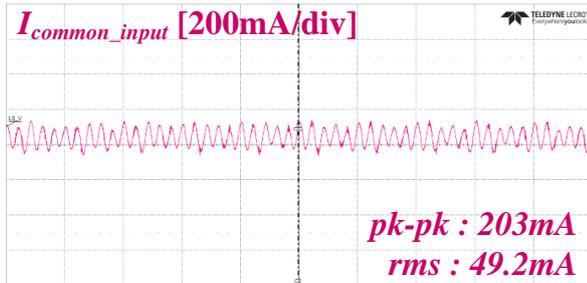
- [1] Zou, S., Singhabahu, C., Chen, J., Khaligh, A.: A comprehensive design approach for a three-winding planar transformer. IET Power Electron. 15, 717-727 (2022).



(a) 2.0T PCB



(b) 2.4T PCB



(c) 3.0T PCB

그림 6. PCB별 입력 공통 전류 파형

그림 6은 그림4(a)~(c)에 따라 입력단에서 측정된 공통 모드 전류 측정 파형이다. 측정 결과, C_{inter} 가 1070pF의 값을 가지는 (a)는 388.4mA_{pk-pk}가 측정되었고, 상대적으로 작은 약 520pF의 값을 가지는 (b)와 (C)는 각각 234mA_{pk-pk}와 203mA_{pk-pk}로 상대적으로 공통 모드 전류가 감소함을 확인하였다. 따라서, C_{inter} 가 감소할수록 공통 모드 전류가 감소하여 공통 노이즈 특성이 개선될 것으로 예상할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 평판형 변압기의 기생 커패시턴스 성분이 LDC시스템의 효율과 공통 노이즈에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 1차/2차 권선 간의 간격을 증가시켜 C_{inter} 를 작게 하여 공통 노이즈 특성을 개선할 수 있고, 1차 권선 간의 간격을 증가시켜 C_{intra} 를 작게 하여 시스템 효율을 증대할 수 있음을 확인하였다. 향후 전자파 측정을 통해 평판형 변압기의 C_{inter} 가 전도방출 특성에 미치는 영향에 대하여 실측할 예정이다.

Mobis Restricted