

30kV 절연성능을 갖는 고절연 DC-DC 컨버터에 관한 연구

김정우, 부한영, 조영훈, 김호성¹, 김주용²
건국대학교 전기기계 및 전력전자연구실, 한국전기연구원¹, 전력연구원²

A study and implementation of a 30kV highly isolated DC-DC converter

Jeongwoo Kim, Hanyoung Bu, Younghoon Cho, Ho Sung Kim, Jintae Cho
Electric Machine and Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

ABSTRACT

In this paper, a highly isolated DC DC converter is designed as a power supply, and an insulator molded transformer is used to achieve high insulation performance. Finally, the insulation performance of the power supply was verified by experimental results

1.서론

최근 전력계통의 배전단에 위치해 있는 주상 변압기를 Solid State Transformer(SST)로 대체하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 주상 변압기를 SST로 대체함으로써 출력 전압과 역률 제어가 가능하고, 전력품질을 보상할 수 있기 때문이다. 한편, SST에 대한 연구가 진행됨에 따라 SST의 게이트 드라이버와 컨트롤러 등을 구동시키기 위한 고절연 전원공급장치에 대한 관심도 높아졌다.

본 논문에서는 고절연 전원공급장치에 적용할 수 있는 DC DC 컨버터를 개발하기 위해 플라이백 컨버터와 높은 절연 성능을 갖는 변압기가 연구되었다.

2.고절연 전원공급장치

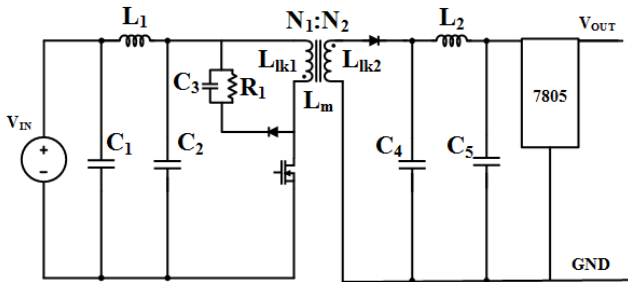


그림 1 고절연 DC-DC 컨버터 회로도
Fig. 1 Schematic of the highly isolated DC-DC converter

2.1 플라이백 컨버터

그림 1은 고절연 DC DC 컨버터의 회로도도를 나타낸다. 높은 절연 성능을 얻기 위하여 1차측과 2차측이 전기적으로 절연되어 있는 플라이백 컨버터를 전원공급장치의 토폴로지로서 선정하였다. 플라이백 컨버터는 일반적으로 일정한 출력전압을 유지하기 위해 출력 레귤레이터와 오프토킨플러, 그리고 변압기의 추가 권선을 이용하여 스위치의 듀티를 조절한다^[1]. 그러나 오프토킨플러와 변압기의 추가 권선을 이용하는 방식은 파워스테이지

의 1, 2차측의 절연거리를 줄이고, 파워스테이지의 절연내력을 오프토킨플러의 절연내력으로 제한하는 문제점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 일정한 스위칭 주파수와 듀티를 발생시키는 타이머와 게이트 드라이버를 이용하여 스위치를 동작시키고, 파워스테이지 출력에 전압 레귤레이터를 추가하여 파워스테이지의 절연 저감 요소를 제거하였다.

표 1 플라이백 컨버터 변수
Table 1 Parameter values of the flyback converter

구분	값	구분	값
V _{IN}	12V	V _{OUT}	5V
C1	2.5μF	C4	10μF
L1	10μH	L2	5μH
C2	20μF	C5	10μF
C3	4.7μF	Lm	700μH
R1	18Ω	Llk1	1μH
N1	6	Llk2	1μH
N2	6	f _{sw}	110kHz

2.2 고절연 변압기

플라이백 컨버터는 회로 내부의 변압기에 의해 1차측과 2차측이 전기적으로 절연되어 있다. 그러나 고전압 회로에서는 1차측 권선과 2차측 권선 사이의 공기, 변압기 코어 표면 등을 통해 절연이 파괴되어 시스템 전체가 피해를 받을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 사고를 방지하기 위하여 플라이백 컨버터에 사용되는 변압기의 절연내력을 높임으로써 전원공급장치의 절연성능을 향상하였다. 외경 30mm의 페라이트 코어를 사용하여 그림 2와 같은 과정으로 변압기를 제작하였고, 보빈, 노맥스 절연지, 캡톤 테이프, 에나멜 권선, 에폭시를 변압기의 절연을 높이기 위해 사용하였다. 보빈과 캡톤 테이프를 이용하여 토로이달 코어 표면의 절연을 강화했고, 절연 성능이 높은 에나멜 권선으로 변압기의 1, 2차측을 결선하였다.

토로이달 코어는 그림 3과 같이 두 가지 방법으로 결선할 수 있다. 그림 3(a)의 방법으로 결선하면 변압기 1, 2차측의 누설인덕턴스를 줄여 변압기의 손실을 줄일 수 있으나 그림 3(b)의 결선 방법 보다 절연이 취약해진다. 본 논문에서는 절연성능을 높이기 위해 그림 3(b)의 방법으로 변압기를 결선하였다.

마지막으로, 노맥스 절연지를 사용하여 변압기 1,2차측 권선 사이의 절연을 강화하였고, 에폭시로 변압기를 몰딩함으로써 공기를 통해 절연이 파괴되는 것을 방지하였다.

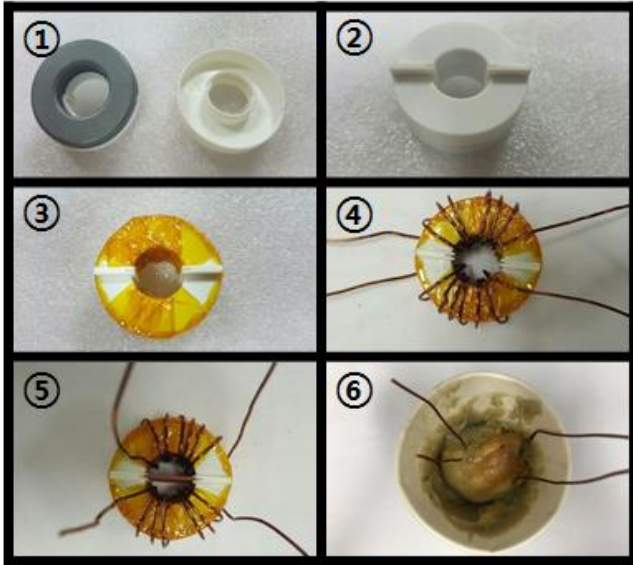


그림 2 고절연 변압기 제작 과정
Fig. 2 Production Method of the highly isolated transformer

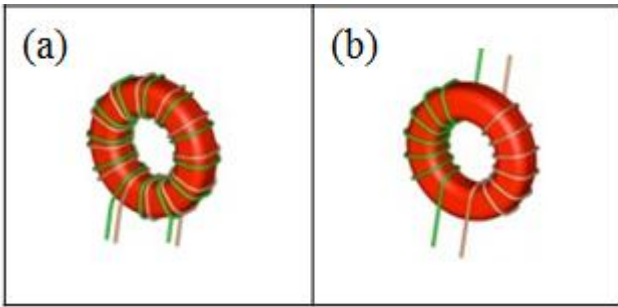


그림 3 토로이달 코어 결선 방법
Fig. 3 Winding method of the toroidal core

3. 실험 결과

그림 4는 입력 전압 12V, 출력 전압 5V, 출력 5W일 때의 플라이백 컨버터의 파형이다. V_{IN} 과 I_{IN} 은 각각 플라이백 컨버터의 입력 전압과 입력 전류를 나타내고, V_{OUT} 과 I_{OUT} 은 플라이백 컨버터의 출력을 나타낸다. 그림 6은 그림 5와 같은 조건에서의 변압기 양단의 파형이다. V_1 과 I_1 은 변압기 1차측의 전압과 전류를 나타내고, V_2 와 I_2 는 변압기 2차측의 전압과 전류를 나타낸다.

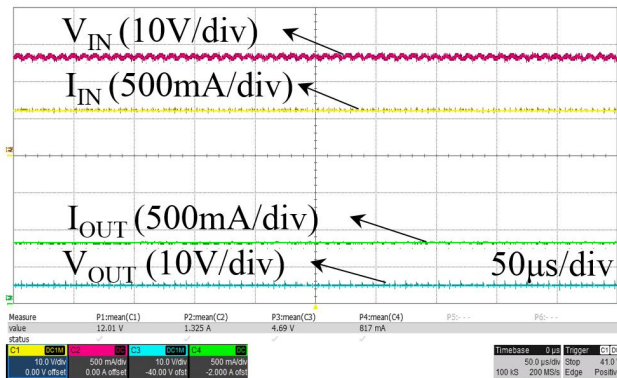


그림 4 고절연 DC-DC 컨버터의 입출력 파형
Fig. 4 The Input and output waveform of the highly isolated DC-DC converter

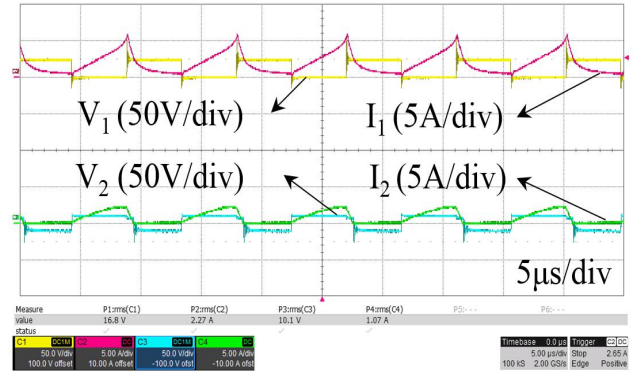


그림 5 고절연 변압기의 1차측, 2차측 전압, 전류 파형
Fig. 5 The primary and secondary waveform of the highly isolated transformer

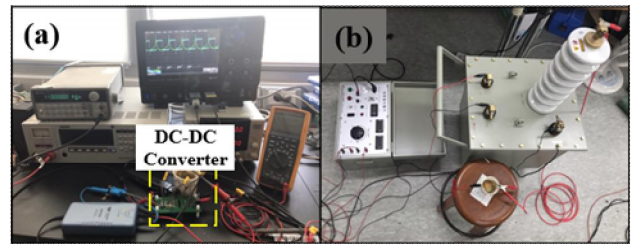


그림 6 고절연 변압기 및 절연내력측정기(ST-6050)
Fig. 6 A highly isolated DC-DC converter and ST-6050

그림 6(b)는 고절연 변압기의 절연성능을 측정할 ST 6050의 사진으로 최대 60kVac의 절연내력까지 측정 가능하다. 본 논문에서 제안한 변압기는 ST 6050으로 1차측과 2차측 사이의 절연내력을 60초 동안 측정할 결과 30kVac의 절연내력을 갖고 있는 것으로 확인되었다.

본 논문에서 제시한 플라이백 컨버터의 입력과 출력은 물리적으로 변압기를 통해서만 연결되어 있다. 따라서 변압기의 절연성능이 컨버터의 절연성능에 직접적으로 영향을 끼친다. 그러므로 30kVac의 절연내력을 갖고 있는 변압기를 사용할 경우 컨버터도 동일한 절연내력을 가질 것으로 기대된다.

4. 결론

본 논문에서는 높은 절연 성능을 갖는 전원공급장치에 대해 연구하였다. 이를 위하여 플라이백 컨버터와 30kVac 절연 성능을 갖는 변압기를 제작하였고, 절연내력시험기(ST 6050)를 이용하여 변압기의 절연성능을 검증하였다.

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2016 A419 0019)

본 연구는 한국전력공사 전력연구원에서 수행중인 "저압 직류배전망 독립성 실증 연구" 과제의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(D3080)

참고 문헌

- [1] H. Y. Li and H. C. Chen, "Dynamic Modeling and Controller Design for a Single Stage Single Switch Parallel Boost Flyback Flyback Converter," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 27, no. 2, pp. 816 827, Feb. 2012.