인덕터 결합 변압기를 이용한 소프트 스위칭 하프브릿지 컨버터에 관한 연구

이달우, 안태영
청주대학교 정보통신공학부

A New Soft Switching DC-to-DC Converter Employing Transformer-coupled inductor

Dalwoo Lee, Taeyoung Ahn
Dept. of Electronics Eng., Cheongju Univ.

ABSTRACT

This paper presents a new soft switching dc-to-dc converter that employs IM transformer. Detailed analysis and design considerations of the proposed circuits are presented. By applying the proposed magnetic integration procedure, new integrated magnetic circuits featuring low loss, simple structure are then developed to overcome the limitations of prior art. Consequently, the power loss and the size of the integrated magnetic device are greatly reduced. The operation and performance of the proposed converter are demonstrated with an experimental converter that delivers a 5V/5A output from a 48V input at the maximum efficiency of 90 %.

1. 서 론

최근 전자, 정보통신 기술의 발달로 인하여 통신과 관련된 여러 시장도 함께 소형화로 발전되어 가고 있는 추세이다. 더불어, 정보통신과 관련된 장비 역시 더욱 소형화, 멀티미디어화, 복잡화 되면서 전원장치 또한 소형화 경량화 박형화가 더욱 요구되고 있는 실정이다. 일반적으로 스위칭 전원장치는 높은 스위칭 주파수로 전력을 변환시키기 때문에 커패시터 및 변압기와 같은 소자의 용량과 크기를 줄일 수 있고, 소형 경량화가 가능하며, 고 효율의 전력변환이 용이하다는 특징이 있어서 통신기용 전원장치 등에 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 통신기용 등에서 많이 사용되고 있는 AHB(Asymmetrical half bridge) TTF(Two transistor forward), ACF(Active clamp forward), converter 방식의 경우 AHB는 변압기의 자속이 불균형하고, TTF는 하드스위칭 타입으로 스위칭 손실이 높고, 리셋 회로가 필요하며, ACF는 스위칭소자의 전압스트레스가 높은 단점이 있다. 본 논문은 기존의 하프브릿지 컨버터의 단점을 개선시킨 고효율 동작이 가능한 IM변압기를 적용한 새로운 소프트 스위칭 방식의 하프브릿지 DC-DC 컨버터를 정상상태 해석과 실험을 통하여 실용성을 확인하는 것이다.

2. IM 변압기를 적용한 소프트 스위칭 방식의 DC-DC 컨버터

제안된 회로를 그림 1에서 보여주고 있으며, 기본적으로 비대칭 하프 브릿지의 특성을 가지고 있다. 그림 1에서 1차측은 2개의 스위치 Q1, Q2 커패시터 C1, C2와 인덕터 LLK는 변압기 내의 누설 인덕턴스를 나타낸다. 2차측은 배전압 방식으로 2개의 다이오드와 출력 필터 인덕터와 커패시터로 구성하였다. 스위치 Q1, Q2는 비대칭의 시비율로 동작하며 주 스위치 Q1은 시비율 D1=0.5로 제한을 받고 보조 스위치 Q2는 시비율 D2=(1-D1)로 결정된다.

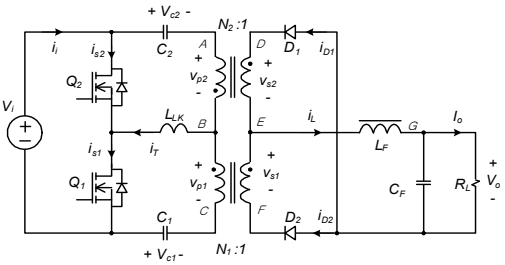


그림 1 제안한 소프트스위칭 dc-dc 컨버터 기본 회로
Fig.1 Basic circuit of proposed soft switching dc-to-dc converter.

그림 2는 그림1의 기본회로가 일정한 스위칭 주파수 fs와 한 주기에서 일정한 데드타임을 갖는 스위칭 신호에 의해 주 스위치와 보조스위치가 제어되며, Ceq1, Ceq2는 스위치 Q1, Q2 의 기생 커패시터이고, 변압기는 자기 인덕턴스 LM1, LM2와 내부 누설인덕턴스 LLK를 고려하였고,. 커패시터 C1, C2를 충분히 크다고 가정하여 정 전압 원으로, 2차측 LF를 정 전류 원으로 가정했을 때 등가회로를 나타낸 것이다. 그림 3은 본 논문에서 제안한 IM 변압기 구조이며, 그림 3의(a)는 두 개의 코어를 적용한 기본 형태이고 (b)는 두 개의 코어를 한 개의 코어로 결합한 구조이며, (c)는 출력 인덕터와 두 개의 코어를 한 개의 코아에 결합한 IM 변압기 이다.

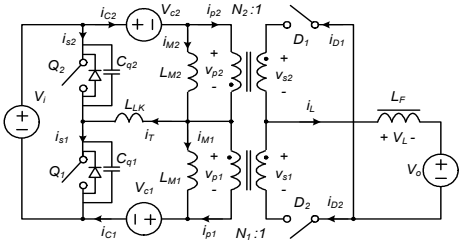


그림 2 제안한 회로의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of proposed converter.

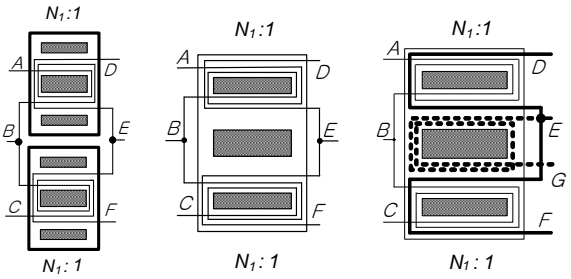
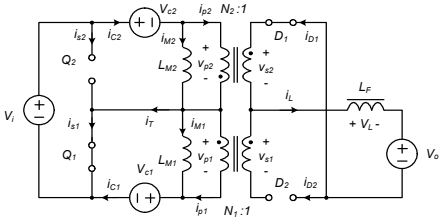
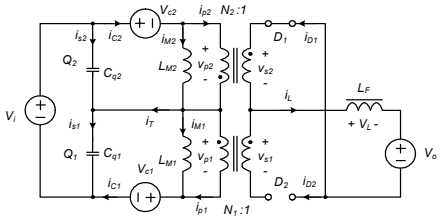


그림 3 제안한 소프트스위칭 dc-dc 컨버터 변압기
Fig. 3 Transformer of proposed converter.

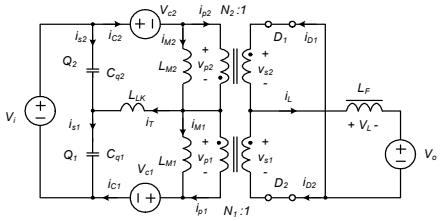
그림 2의 등가회로가 정상 상태에서 동작하는 경우, 각 스위치 Q1, Q2, D1, D2의 동작 상태에 따라 그림5와 같이 T0에서 T6까지 6단계 나눌 수 있으며 이때의 등가회로를 그림 4 에서 보여주고 있다. 그림 4 (a)의 등가회로에서 주스위치 Q1이 제어신호에 의해 온 되면 변압기 1차측의 VP1, VP2는 Vc1으로 되고 변압기 2차측 변압기 Vs1, Vs2에는 Vc1/N의 전압이 유기되고 D1는 온이 되면서 전류는 D1를 통하여 흐르게 되고 D2는 역 바이어스가 걸리게 되므로 오프가 된다. (b)의 등가회로에서 주스위치 Q1이 T1에서 오프되면 Ceq를 통하여 전류가 흘러 VDS1은 Vc1으로 충전이 된다. (c)에서 변압기의 누설 인덕턴스 LLK와 Ceq가 공진을 하면서 VDS1은 Vi과 같아지게 된다. T3이후 동작은 T0-T3 동작을 반복하게 된다.



(a) Mode 1: $[t_0 - t_1]$.



(b) Mode 2: $[t_1 - t_2]$



(c) Mode 3: $[t_2 - t_3]$

그림 4 한 주기 동안 동작 상태.
Fig 4 Topological stages during one switching period of proposed converter.

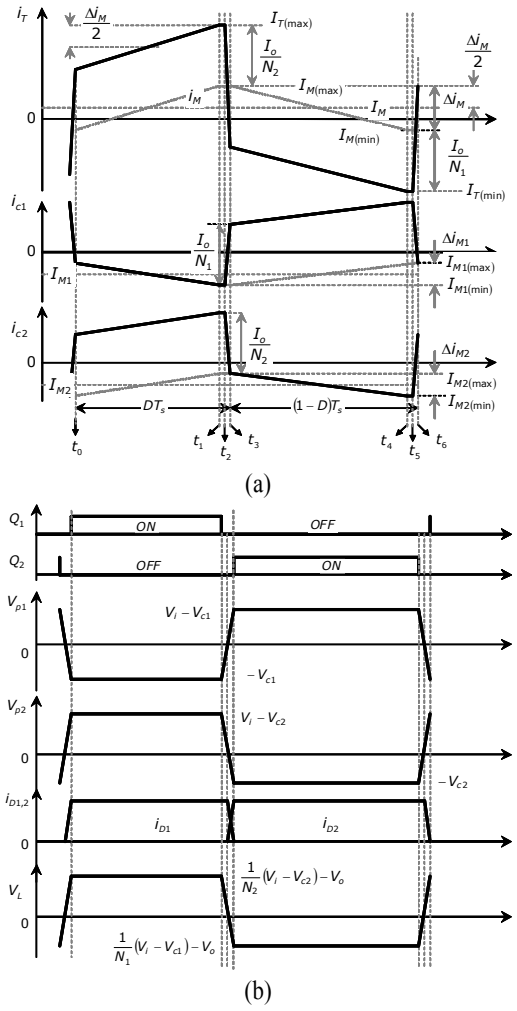


그림 5 각 상태별 이론 동작 파형
Fig. 5 Theoretical waveform for the states

그림 5 (a),(b)는 그림 4 에서의 각 상태별 이상적인 전압, 전류 파형을 보여주고 있다. 그림 4의 등가회로와 그림 5의 파형으로부터 회로가 정상적으로 동작하는 것을 확인 할 수 있으며, 그림 5 에서 스위치 전압이 최소가 될 때 영 전압 스위칭을 하고 있다는 것을 알 수 있다. 표 1은 정상 상태에서의 중요 부품의 전류 스트레스를 정리한 표이다.

표 1 중요 소자에 인가되는 실효전류 값
Table 1 RMS current stress of major circuit components

Part	RMS current stress
Q_1	$\sqrt{D\left[I_o^2(1-D)^2\left(\frac{1}{N_1}+\frac{1}{N_2}\right)^2+\frac{V_o^2T_s^2}{12}\left(\frac{1}{L_{M1}}+\frac{1}{L_{M2}}\right)^2\left(\frac{N_1N_2}{N_1+N_2}\right)^2\right]}$
Q_2	$\sqrt{(1-D)\left[I_o^2D^2\left(\frac{1}{N_1}+\frac{1}{N_2}\right)^2+\frac{V_o^2T_s^2}{12}\left(\frac{1}{L_{M1}}+\frac{1}{L_{M2}}\right)^2\left(\frac{N_1N_2}{N_1+N_2}\right)^2\right]}$
D_1	$\sqrt{D\left[I_o^2+\frac{1}{12}\left(\frac{V_oT_s}{L_F}\right)^2\left(\frac{N_1}{N_1+N_2}-D\right)^2\right]}$
D_2	$\sqrt{(1-D)\left[I_o^2+\frac{1}{12}\left(\frac{V_oT_s}{L_F}\right)^2\left(\frac{N_1}{N_1+N_2}-D\right)^2\right]}$

표 2 변압기 및 회로의 전기적인 사양
Table 2 Specifications and Transformers and inductor design of experimental converter.

Parameters		Name	Value	Unit
Input/ Output	Input Voltage	Vin	48	V
	Output Voltage	Vo	5	V
	Max load current	Io	5	A
	Switching frequency	fs	100	KHz
Transformer	core	EI3030	PL7	mm
	Inductance	LM	300	μH
	Turn ratio	N1 N2	12:3	
	Leakage inductance	Llk	3.5	μH
Inductor	Core	CM203	20×12	mm
	Inductance/Turn	L1	60/12	μH

3. 실험 결과

실험은 두종류의 회로 구성으로 실시하였다. 첫 번째는 그림 6과 같이 두 개의 코아를 한 개의 코아에 구성하여 실험 하고, 두 번째는 그림 8과 같이 한 개의 코아에 두 개의 변압기와 출력 쵸크를 결합한 회로를 구성하여 실험 하였다. 표 2는 변압기 및 실험 회로의 전기적인 사양이다. 실험에 적용된 PWM IC는 시비율이 49%인 KA7553으로 하였으며, 1차측과 2차측의 절연을 위하여 포토커플러를 사용하였고, 2개의 스위치 구동 위하여 L6387과 MIC4417 IC를 사용 하였다. 그림 7의 (a)는 인덕터를 공유하지 않은 그림 6 실험 회로의 스위치 전류, 전압 파형이며, (b)는 영전압 스위칭 동작 파형이다. 그림 9의 (a)는 인덕터를 공유한 그림 6 실험 회로의 스위치 전류, 전압 파형이며, (b)는 영전압 스위칭 동작 파형이다. 또한 정상상태에서 최대 전압이 입력전압인 48V로 제한 받는 것을 알 수 있다

.

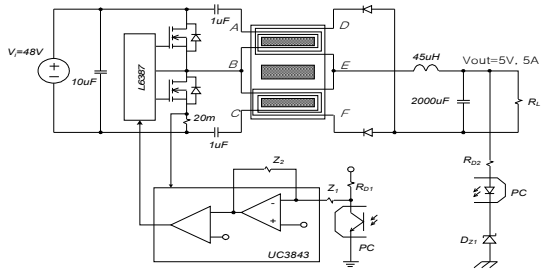
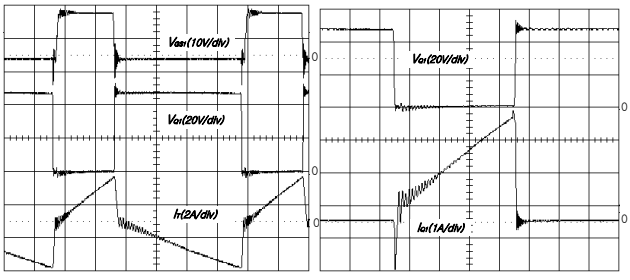


그림 6 인덕터를 공유하지 않은 실험 회로.
Fig. 6 Experimental circuit Employing separated inductor



(a) (b)

그림 7 실험 결과 파형
Fig. 7 Results waveform of experimental converter

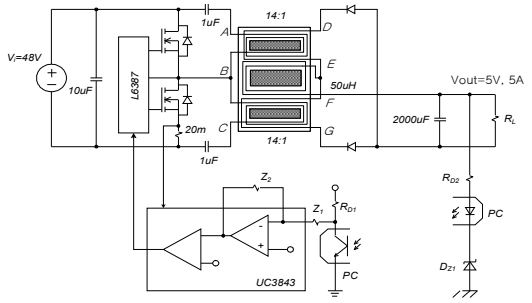
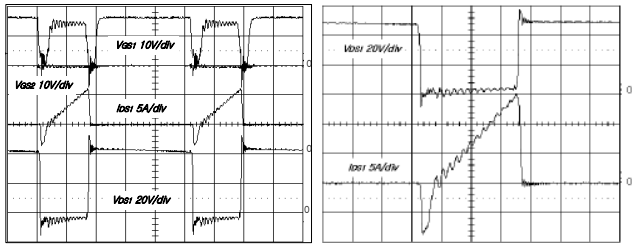


그림 8 인덕터 공유 형 실험회로
Fig. 8 Experimental circuit Employing transformer-coupled inductor



(a) (b)

그림 9 실험 결과 파형
Fig. 9 Results waveform of experimental converter

4. 결 론

본 논문에서 제안한 IM변압기를 적용한 하프브릿지 컨버터는 변압기의 구조에 따라 인덕터를 공유한 IM변압기와 두 개의 변압기만을 한 개의 변압기로 구성하는두 개의 구성이 가능하다. 두 방식 모두 실험결과로부터 변압기의 누설 인덕턴스를 이용한 소프트 스위칭이 가능하기 때문에 스위칭 손실이 저감되며, 동시에 전력변환 효율을 높일 수 있으며 스위칭 전압 스트레스가 입력전압으로 제한되어짐을 알 수 있었고, 두 개의 변압기와 출력 단에 위치한 필터용 인덕터를 한 개의 자성코어에 구성하면 전원장치에서 크기와 무게에 중요한 역할을 하는 부품인 인덕터가 점유하던 무게와 크기를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 산업 자원부·한국산업기술평가원 지정
청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

[1] Haruo Watanabe, Hirofumi Matsuo, "Design orient Analysis of a Novel Soft-Switching DC-DC Converter with 2V/20A DC Output", PESC Volume 2, pp. 17-21, 2001.

[2] Yi-Hsin Leu, Chern-Lin, "Analysis and Design of Two-Transformer Asymmetrical Half-Bridge Converter". IEEE Transactions on Power Electronics Volume 2, pp.23-27, 2002.

[3] 주정규, 안태영 "소프트 스위칭 방식의 PDP용 DC-DC 컨버터", 전력전자 하계학술대회, 제2 권 2호, pp. 45-48, 2003, 7 April