

하나의 변압기를 이용한 넓은 입력전압 대응 DC-DC 컨버터

서함, 노영재, 강철하, 김은수†, 전용석
전주대학교

Wide Input Voltage Variable Range DC DC Converter Using an Integrated Magnetic

Han Xu, Y.J Noh, Cheolha Kang, E.S Kim†, Y.S Jeon
JeonJu University

1. 서론

일반적으로 일사량에 따라 전압변동 폭이 큰 태양광모듈 발전전압($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에서 일정 출력전압($400V_{DC}$)을 얻기 위해서 그림 1의 DC DC 컨버터는 LLC 공진컨버터와 플라이백 컨버터로 구성되어 있고 저전압 대전류 입력단에서 LLC 공진컨버터와 플라이백 컨버터는 병렬 연결되고 출력단은 직렬 연결되어 승압되는 절연되는 승압 DC DC 컨버터이다. 입력전압 ($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$) 범위 내에서 입력전압변화에 상관없이 주스위칭 소자 Q_2, Q_3 는 50% 고정 듀티와 일정 스위칭주파수(fs)에서 동작되고, 영전압스위칭 동작특성을 얻을 수 있고, 저전압 대전류 입력단에서 LLC 공진컨버터와 병렬 연결된 플라이백 컨버터는 입력전압변동($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에 대응하여 스위칭소자 Q_1 의 듀티를 제어하여 일정출력전압($V_{out}=V_{o1}+V_{o2}+V_{o3}=400V_{DC}$)을 제어할 수 있다. LLC 공진컨버터가 입력전압($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에 따라 최대부하에서 1/2 부하까지 감당하기 때문에 플라이백 컨버터는 최대 정격부하의 1/2 부하만 감당하면 된다. 따라서 소자정격 및 전류 스트레스를 저감 할 수 있다.^[2]

최근에 들어서는 전력변환 장치의 효율뿐만 아니라 사이즈, 무게 등을 줄일 수 있고 파워밀도를 높일 수 있는 설계방법이 많이 요구되고 있다. 특히 스위칭 주파수와 고효율 전력변환으로 더 이상 소형화가 어려운 전원장치의 전력밀도를 높일 수 있는 대안의 하나로 변압기와 인덕터등과 같은 자성체 소자를 적절한 권선방법과 자성기술을 이용하여 소형화시키는 복합변압기(IM Integrated Magnetic)기술이 알려져 있다.^[1,3]

본 논문에서는 위에서 언급한 그림 1의 플라이백과 LLC공진컨버터로 구성된 넓은 입력전압범위($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에서 동작 가능한 1단 구성의 DC DC 컨버터를 복합변압기 기술을 이용해 플라이백과 LLC공진 변압기를 하나의 변압기로 제작하여 실험하였다.

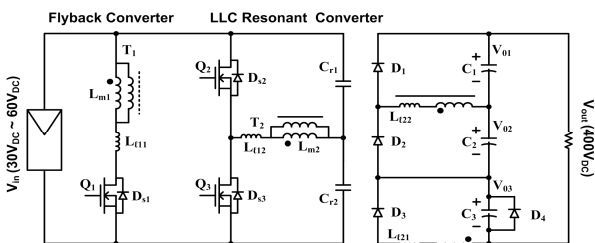


그림 1. DC DC 컨버터 주회로도

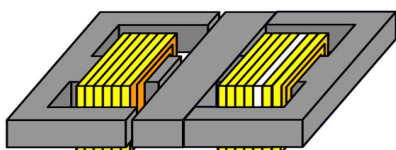


그림 2. 적용된 하나의 변압기 구조

2. 본론

2.1 하나의 변압기를 적용한 DC-DC 컨버터

플라이백 컨버터와 LLC 공진컨버터로 구성된 그림 1의 주회로 구성시 각각의 변압기를 적용할 경우 전체적인 부피가 커지고 집적화와 원가저감에 한계성을 갖게 된다. 하지만 그림 2와 같이 플라이백 변압기와 LLC 공진변압기를 하나의 변압기로 적용할 경우 회로의 집적화는 물론 사용하는 코어의 개수가 줄어들어 원가저감도 가능하다. 플라이백 변압기와 LLC 공진변압기가 적용된 하나의 변압기는 그림2의 코어형상과 같이 일반적인 EI 코어에 E자형 코어를 하나 더 추가해서 EIE 형태로 구성하였으며, 플라이백과 LLC 공진컨버터가 동작시 I자형 코어의 자속 포화를 방지하기위해 I자형 코어의 단면적을 2배로 가져야 한다.

플라이백 변압기와 LLC 공진변압기 권선은 각 E 코어 중간 자로에 감겨져 있다. 플라이백단변압기의 경우 누설인덕턴스를 저감하기 위해서 1차측 권선과 2차측 권선을 상호교차(Interleaved Winding method)하여 권선하였고 반대로 LLC단 변압기의 경우 공진에 필요한 누설인덕턴스 값을 얻기 위해 권선분리형으로 권선이 감겨져있다.

하나로 통합된 변압기 적용 넓은 입력 전압 대응 DC DC 컨버터는 입력전압이 $60V_{DC}$ 이상 인가될 경우에 공진주파수점에서 최저 스위칭주파수로 세팅되어있던 LLC 공진컨버터의 스위칭주파수가 증가되어 공진컨버터 전압이득을 감소시킬 수 있으므로 이득제어범위 안에서 일정출력전압을 제어 할 수 있으며 입력전압이 $60V_{DC}$ 보다 낮아지는 경우($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$) 일정한 출력전압($400V_{DC}$)을 얻기 위해 LLC 공진컨버터와 플라이백 컨버터가 동기 되어 동작한다. 낮아진 전압만큼 출력전압을 보상하기위해 플라이백 컨버터 스위칭소자 Q_1 의 듀티 제어를 통해 LLC 공진컨버터단과 플라이백 컨버터단의 정류된전압에 의해 일정 출력전압($V_{out}=V_{o1}+V_{o2}+V_{o3}= 400V_{DC}$)을 얻을 수 있다.^[4]

2.2 적용된 DC-DC 컨버터 구동회로

일반적으로 2개의 DC DC 컨버터를 적용할 경우 각각의 제어 IC를 사용하지만 본 논문에서는 공진컨버터 전용 IC L6599(ST사)만을 사용하여 각 컨버터 제어회로를 구성하여 실험하였다. 적용된 IC의 CF 단자전압은 매 주기마다 0.9V~3.9V로 변하는 삼각파형을 출력하고, 삼각파형의 전압이 0.9V와 3.9V점에서 HB(Half Bridge) 공진컨버터의 상단스위치(Q_2) 및 하단스위치(Q_3)를 구동하기 위한 Gate Signal인 HVG와 LVG 파형이 생성된다. 그림 1의 LLC 공진컨버터 같은 경우 IC의 CF 단자전압에 의해 주 스위칭소자 Q_2, Q_3 는 50%의 고정된 듀티로 동작하고, 플라이백 컨버터도 출력전압 ($V_{out}=V_{o1}+V_{o2}+V_{o3}$)과 제어기준전압(V_{ref})에 의해 보상된 V_{em} 전

압과 CF전압을 비교하여 LVG 전압과 동기화 하였다. 그림 1의 플라이백 컨버터 같은 경우 출력전압(V_{out})이 제어출력 기준 전압인 $400V_{DC}$ 보다 높거나 낮아지면 V_{err} 전압이 낮거나 높아져서 CF단자를 통해 전압 듀티가 변하니까 플라이백 컨버터 스위칭소자 Q_1 를 듀티제어를 통해 일정출력전압($V_{out}=400V_{DC}$)을 제어하도록 하였다.[2]

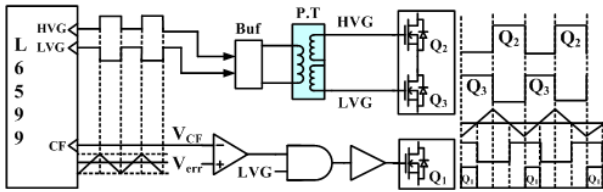


그림 3. 구동 회로

3. 실험결과

본 논문에서는 플라이백 변압기와 LLC 공진변압기를 하나의 코어로 통합된 변압기 적용 DC/DC 컨버터는 입력전압이 $60V_{DC}$ 보다 낮은 $30V_{DC} \sim 59V_{DC}$ 범위에서는 일정한 출력전압 ($400V_{DC}$)을 얻기 위해 LLC 공진컨버터와 플라이백 컨버터가 동기 되어 동작하고, 높은 입력전압 ($60V_{DC}$ 이상전압)에서는 LLC 공진컨버터만 동작되도록 최대정격출력용량 360W로 설계 제작하였다. 플라이백 컨버터와 LLC 공진컨버터의 파라미터는 표 1에 그리고 적용된 컨버터들의 주요 정격들은 표 2에 명시 하였다.

표 1. 측정된 변압기 파라미터

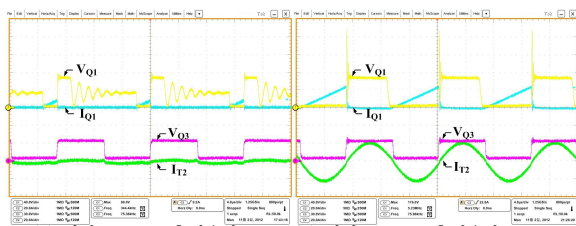
	플라이백컨버터 변압기	LLC 공진컨버터 변압기
1차측누설인덕턴스	L_{l11} 243.14nH	L_{l12} 2.606uH
1차측으로 반영된 2차측누설인덕턴스	$N^2 L_{l21}$ 26.9nH	$N^2 L_{l22}$ 204.78nH
자화인덕턴스	L_{m1} 7.355uH	L_{m2} 34.71uH
등가누설인덕턴스	$L_{e q1}$ 270nH	$L_{e q2}$ 281uH
N_1/N_2	0.182(6/34)	0.143(6/42)
적용코어	E13329D	

표 2. 적용된 컨버터 주요 정격

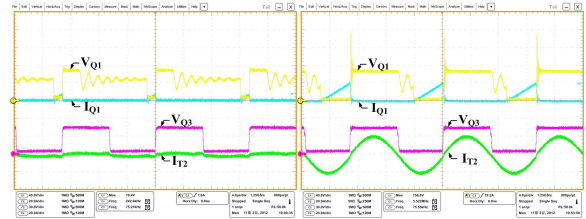
입력 전압(V_{in})	$30V_{DC} \sim 60V_{DC}$
출력전압/전류, 출력 용량(P_o)	$400V/0.9A, 360W$
스위칭주파수(f_s)/공진주파수(f_r)	$75.5kHz/76kHz$
공진 커패시터(C_1, C_2)	780nF
LLC 공진컨버터스위칭소자(Q_2, Q_3)	IRFB3077PbF(75V, 2.8m Ω , 210A)
Flyback 컨버터 스위칭소자(Q_1)	IRFB4127(200V, 20m Ω , 76A)
다이오드(D_1, D_2, D_3, D_4)	D10S60C(600V, 10A)
제어 IC	L6599

그림 4는 플라이백 컨버터와 LLC 공진컨버터를 하나의 변압기를 적용하여 입력전압 ($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$) 및 경부하와 정격부하(360W)에서의 실험파형이다.

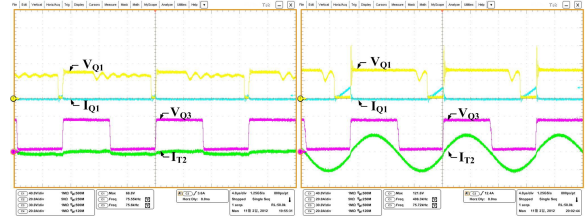
그림 5는 하나의 통합된 변압기 적용 제안된 컨버터의 측정된 효율특성이다.



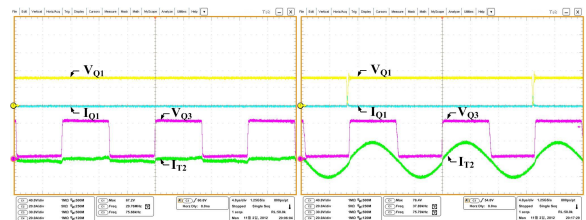
(a) 입력 30VDC, 출력용량 36W. (b) 입력 30VDC, 출력용량 360W



(c) 입력 40VDC, 출력용량 36W, (d) 입력 40VDC, 출력용량 360W



(e) 입력 50VDC, 출력용량 36W, (f) 입력 50VDC, 출력용량 360W



(g) 입력 60VDC, 출력용량 36W, (h) 입력 60VDC, 출력용량 360W

그림 4. 제안된 DC DC 컨버터 각부 파형 (Ch1:40V/div., Ch2:20A/div., Ch3:30V/div., Ch4:20A/div., 4us/div.)

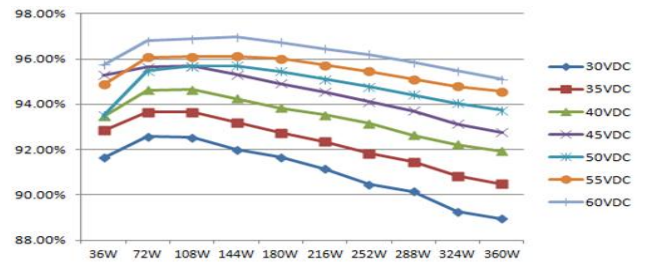


그림 5. 그림1 회로의 입력전압 변화 및 부하변화에 따른 효율

실험파형과 효율특성을 보면 알 수 있듯이 동작면에서도 안정된 동작특성을 보임을 알 수가 있고 효율 또한 전체 평균 효율이 93.97%로 측정됨을 확인할 수가 있었다.

이 논문은 한국연구재단(KRF 2008 313 D00369) 주관으로 수행된 과제임

참고문헌

- [1] D. K. Cheng, L. Wong, and Y. S. Lee "Design, modeling, and analysis of integrated magnetics for power converters" in Proc. IEEE PESC, pp. 320-325, 2000.
- [2] 장상호, 윤광호, 노영재, 강철하, 전한석, 김은수 "넓은 입력전압 범위를 갖는 DC DC 컨버터". 전력전자학술대회논문집, pp.433-435, 2011
- [3] 안태영, 봉상철, 김도식 "새로운 복합변압기를 적용한 영전압 풀브릿지 컨버터에 관한 연구". 전력전자학회 2008년 10월 논문집, 13권, 5호, pp. 396-402
- [4] 김은수 "넓은 입력전압 제어범위를 갖는 DC/DC 컨버터", 특허출원번호 '10 2011 0083016'