

넓은 입력전압 범위를 갖는 DC-DC 컨버터

장상호, 윤광호, 노영재, 강철하, 전한석, 김은수[†]
 전주대학교

DC-DC Converter with Wide Input Voltage Ranges

Sang Ho Jang, Young Jae No, Cheol ha Kang, Han Seok Jeon, Eun Soo Kim[†]
 JeonJu University

1. 서론

일반적으로 일사량에 따라 전압변동 폭이 큰 태양광모듈 발전전압에서 일정한 출력전압을 얻기 위해서 적용되고 있는 그림 1의 2단 구성 DC DC 컨버터는 태양광모듈 전압변화에 따라 일정전압으로 승압시키기 위한 부스트 컨버터와 고정 시비율로 동작하는 LLC 공진컨버터로 입력에서 출력까지 2단으로 구성되어 있다.^{[1][2]} LLC 공진컨버터는 일정한 입력전압범위에서 영 전압 스위칭(Zero Voltage Switching)을 통한 높은 효율을 얻을 수 있지만, Boost 컨버터는 하드스위칭(Hard Switching)을 하기 때문에 전체 효율($\eta_{tot} = \eta_{boost} \cdot \eta_{resonant}$)을 저감시키는 원인이 된다. 뿐만 아니라, 모든 입력전압 및 부하조건에서 Boost 컨버터는 정격부하로 설계되어 동작되기 때문에 전체적인 단가상승 및 효율을 저감시킬 수 있다. 그림 2(a), (b)의 제안된 회로는 기존 2단 구성에서 효율을 개선하기 위해 Boost 컨버터를 적용하지 않고, LLC 공진컨버터와 두 개의 반파전류공진컨버터^[3]를 적용하여 1단으로 구성하였다. 제안된 회로는 듀티(Duty)와 스위칭주파수가 변동이 없는 고정 시비율로 동작되는 LLC 공진컨버터와 태양광모듈 발전전압 변화($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에 대응하여 일정출력전압(V_o)을 제어하기 위해 듀티 제어되는 반파전류공진컨버터(또는 그림 6의 Interleaved Flyback 컨버터)로 구성된 넓은 입력전압 제어범위를 갖는 DC DC 컨버터를 제안하였다. 적용된 반파전류공진컨버터는 가장 높은 입력전압에서는 동작하지 않고 LLC 공진컨버터만 동작되어 일정출력전압($V_o = V_{o1} = 400V_{DC}$)을 감당하며 입력전압이 낮아질 경우 낮아지는 전압만큼 반파전류공진컨버터가 동작하여 일정출력전압($V_o = V_{o1} + V_{o2} = 400V_{DC}$) 제어를 담당하게 됨으로 최대정격부하의 1/2정도의 과용량만 감당하면 된다. 따라서 단가저감 및 효율을 개선할 수 있으며 넓은 입력전압범위($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에서 동작 가능한 1단 구성의 DC DC 컨버터를 제안, 적용 실험하였다.

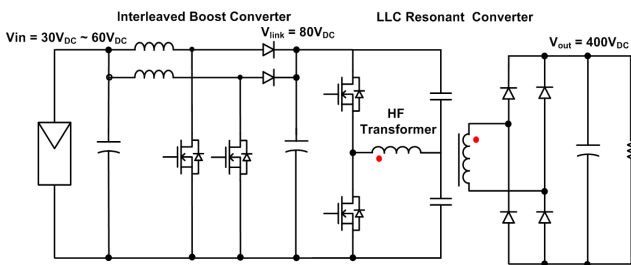
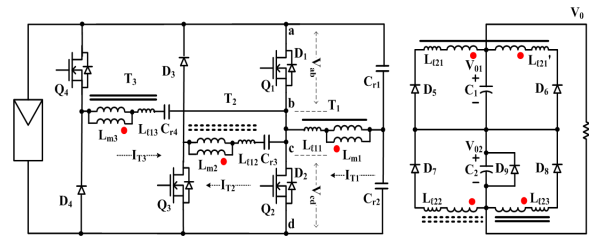
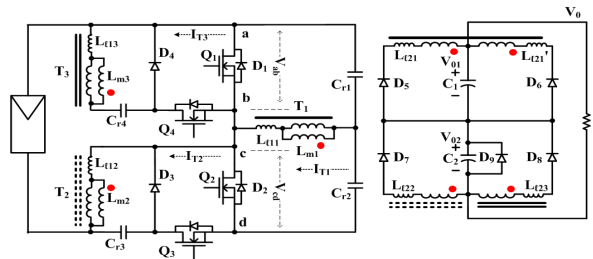


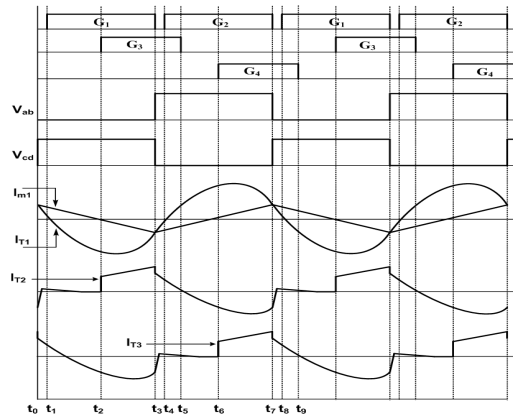
그림 1. 기존 2단 구성 DC-DC 컨버터



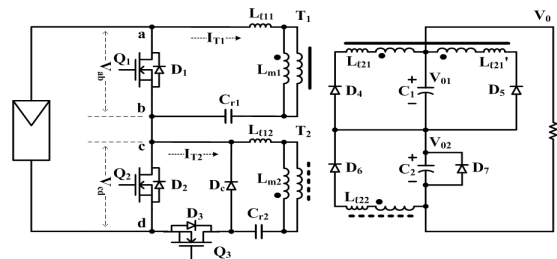
(a) 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터 1



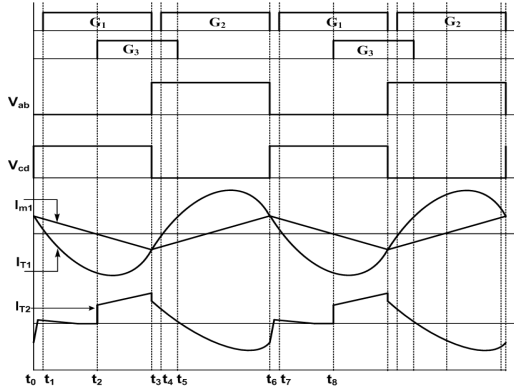
(b) 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터 2



(c) 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터 동작모드



(d) 제안된 1단 구성의 DC-DC 컨버터 3

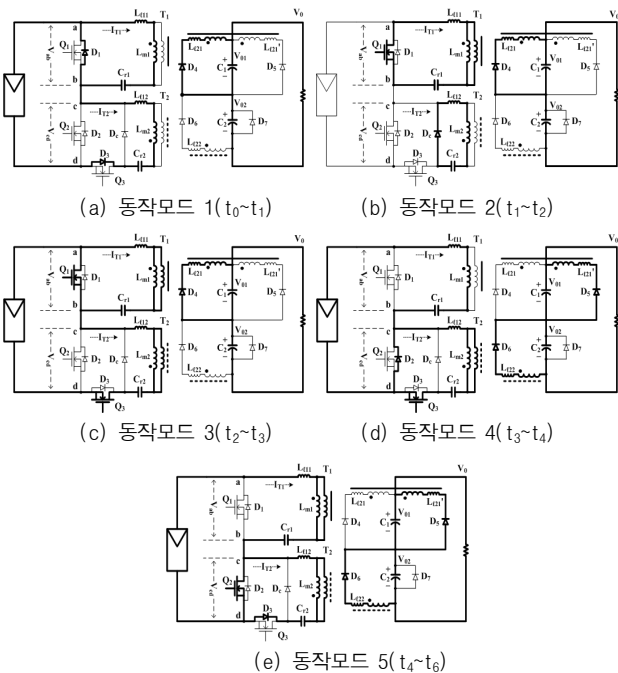


(e) 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터 동작모드
 그림 2. 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터 주회로도 및 동작모드

2. 본 론

2.1 제안된 LLC 공진 컨버터의 동작

본 논문에서는 제안된 그림 1(a), (b)에 제시된 회로를 구현 하기에 앞서 제안된 회로의 간략 구현을 위해 그림 2(d)에 나타낸 회로를 구성하여 적용 가능함을 보았다. 그림 1(d)의 제안된 회로에서 LLC 공진컨버터는 입력전압변화에 상관없이 주스위칭 소자 Q_1 , Q_2 는 50% 고정 듀티와 일정 스위칭 주파수에서 동작한다. 때문에 주스위칭 소자의 영 전압 스위칭(Zero Voltage Switching)은 단지 LLC 공진컨버터에 의해 일어나고, 반파전류공진컨버터는 입력전압변동($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에 대응하여 보조스위칭소자 Q_3 의 듀티를 제어하여 일정출력전압($V_o = V_{o1} + V_{o2} = 400V_{DC}$)을 제어할 수 있다. LLC 공진컨버터가 입력전압($30V_{DC} \sim 60V_{DC}$)에 따라 최대부하에서 1/2 부하까지 감당하기 때문에 반파전류공진 컨버터는 최대 정격부하의 1/2 부하만 감당하면 된다. 따라서 소자정격 및 전류 스트레스를 저감 할 수 있다. 제안된 회로의 동작 모드는 그림 3과 같다.



(e) 동작모드 5($t_4 \sim t_6$)
 그림 3. 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터의 동작모드

(a) 동작모드 1($t_0 \sim t_1$) : 주 스위칭소자 Q_2 가 턴 오프 되고,

변압기 T_1 , T_2 1차측 자화인덕턴스(L_{m1} , L_{m2})에 저장되었던 에너지는 주스위칭소자 Q_2 의 내부 커패시터를 입력전압만큼 충전시키는 동시에 주스위칭 소자 Q_1 의 내부 커패시터를 영 전압까지 방전 시키고, Q_1 의 내부다이오드를 통해 부전류가 흐르게 된다. 이때 주스위칭 소자 Q_1 이 턴 온하면 영 전압(ZVS)에서 턴 온 된다.

(b) 동작모드 2($t_1 \sim t_2$) : 주 스위칭소자 Q_1 이 턴 온 되어 LLC 공진컨버터는 공진커패시터(C_{r1})에 저장된 에너지가 방전하면서 등가누설인덕턴스와 공진에 의해 공진전류가 흐르고 동시에 2차측 다이오드 D_4 를 통해 출력커패시터(C_1)을 충전하며 부하로 흐르게 된다. 반파전류공진컨버터의 공진커패시터 (C_{r2})에 역 충전된 에너지는 클램프 다이오드(D_c)를 통해 방전하게 된다. 또한 보조 스위칭소자 Q_3 가 턴 오프 되어있고, 2차측 권선은 역극성전압에 따라 출력다이오드 D_6 에 역바이어스 전압이 인가되어 2차측으로 전달하지 못한다.

(c) 동작모드 3($t_2 \sim t_3$) : LLC 공진컨버터는 모드 2에서의 동작을 진행하며, 반파전류공진 컨버터의 보조스위치 Q_3 가 영 전류(Zero Current Switching)에서 턴 온하게 되면 반파전류공진 컨버터는 공진커패시터(C_{r2})를 충전하며 동시에 자화인덕턴스(L_{m2})에 에너지를 저장하면서 흐르게 된다. 2차측은 모드2에서처럼 역 바이어스 전압에 의해 부하로 전달하지 못한다.

(d) 동작모드 4($t_3 \sim t_4$) : 주 스위칭소자 Q_1 이 턴 오프 되고, 변압기 T_1 의 1차측 자화인덕턴스(L_{m1})에 저장되었던 에너지는 주스위칭소자 Q_1 의 내부 커패시터를 입력전압만큼 충전시키는 동시에 주스위칭 소자 Q_2 의 내부 커패시터를 영 전압까지 방전 시키고, Q_2 의 내부다이오드를 통해 부전류가 흐른다. 이때 주스위칭 소자 Q_2 가 턴 온하면 영 전압(ZVS)에서 턴 온 하게 된다. 반파전류공진컨버터는 주스위칭 소자 Q_1 이 턴 오프 될 때 2차측 권선의 극성이 바뀌어 자화인덕턴스(L_{m2})에 저장된 에너지는 출력다이오드 D_6 를 통해 출력커패시터(C_2)를 충전하고 부하로 흐르게 된다.

(e) 동작모드 5($t_4 \sim t_6$) : 주스위칭 소자 Q_2 가 턴 온 되어 LLC 공진컨버터는 공진커패시터(C_{r1})와 T_1 의 1차측 등가누설인덕턴스에 의해 공진이 일어나고, 반파전류공진컨버터는 보조스위치 Q_3 가 턴 온 되어있기 때문에 공진커패시터(C_{r2})와 T_2 의 등가누설인덕턴스에 의해 공진하면서 2차측 다이오드 D_5 , D_6 를 통해 출력커패시터(C_1, C_2)를 충전($V_o = V_{o1} + V_{o2}$)하며 부하에 전달된다.

3. 실험결과

본 논문에서는 낮은 입력전압 ($30V_{DC}$)에서 LLC 공진컨버터와 반파전류공진컨버터가 동시에 동작하고, 높은 입력전압 ($50V_{DC}$ 이상)에서 LLC 공진컨버터만 동작되도록 설계하였다. 최대정격출력용량 300W에 대해 각각 실험하였고, 실험에 적용된 변압기 파라미터는 표1, 제안된 컨버터의 주요 정격은 표2에 명시하였다. 그림 4는 입력전압 변화($30V_{DC} \sim 50V_{DC}$) 및 부하변화에 따른 실험 파형이다.

표 1. 측정된 변압기 파라미터

	변압기 T_1		변압기 T_2	
1차측누설인덕턴스	L_{l11}	2.745uH	L_{l12}	0.224uH
1차측으로 반영된 2차측누설인덕턴스	$N^2 L_{l21}$	0.632uH	$N^2 L_{l22}$	0.2115uH
자화인덕턴스	L_{m1}	8.095uH	L_{m2}	7.917uH
등가누설인덕턴스	L_{eq1}	3.331uH	L_{eq2}	430.5nH
$N(N_1/N_2)$		0.065(6/92)		0.065(6/92)
적용코아	코아: EER 3542			

표 2. 제안된 컨버터 주요 정격

입력 전압(V_{in})	$30V_{DC} \sim 50V_{DC}$
출력전압 및 전류	$400V / 0.75A$
출력 용량(P_o)	300W
스위칭 주파수(f_s)	105kHz
공진 주파수(f_r)	100kHz
공진 커패시터(C_{r1}/C_{r2})	770nF / 6.6uF
스위칭 소자(Q_1, Q_2, Q_3)	IRFB3077PbF×3 (75V, 2.8mΩ, 210A)
출력전류 다이오드(D_4, D_5) 출력전류 다이오드(D_6)	C2D10120×2(1200V, 10A) IRGB20B60PD1(600V, 40A)
제어 IC	L6599

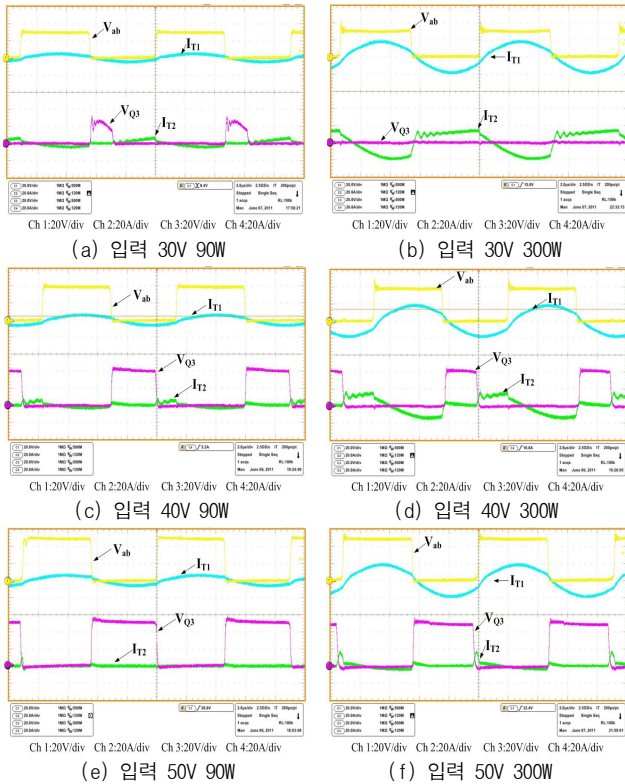


그림 4. 입력전압 변화($30V_{DC} \sim 50V_{DC}$)에 따른 측정된 파형
(Ch1 : 20V/div., Ch2 : 20A/div., Ch3 : 20V/div., Ch4 : 20A/div.)

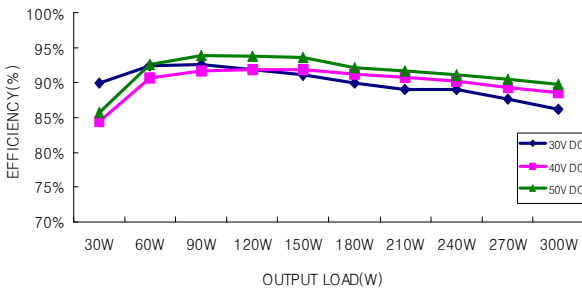


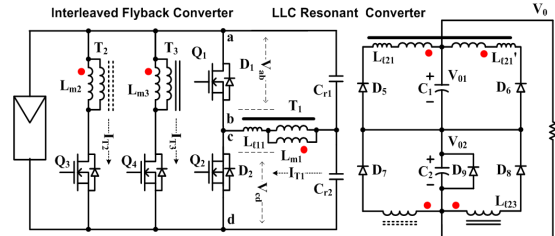
그림 5. 입력전압 변화 및 부하변화에 따른 효율

4. 결론

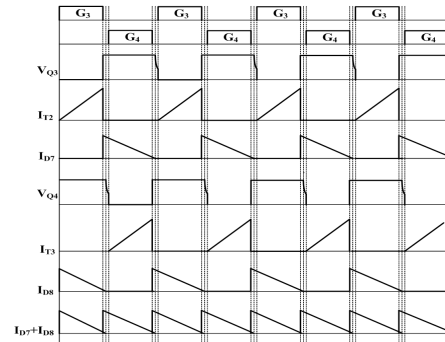
본 논문에서는 LLC 공진컨버터와 반파전류공진컨버터를 적용하여 1단으로 구성된 넓은 입력전압범위($30V_{DC} \sim 50V_{DC}$)에서 동작할 수 있는 DC DC 컨버터를 제안하였다. 실험에 적용된 컨버터는 입력전압조건($30V_{DC} \sim 50V_{DC}$) 및 모든 부하조건(0.75A, 300W)에서 일정 출력전압($400V_{DC}$)을 제어하였다. 그림 5는 제

안된 컨버터의 입력전압 변화 및 부하변화에 따른 효율특성 그래프이다. 입력전압 변화 및 부하변화에 따른 전체 평균 효율은 90.32% 이고, 최대효율은 입력전압 $50V_{DC}$, 90W 부하조건에서 93.86%로 측정되었고, 최저효율은 입력전압 $40V_{DC}$, 30W 부하조건에서 84.35%로 측정되었다. 향후 주회로 변경 및 설계 최적화를 통해 효율을 개선하고자 한다.

5. 응용회로



(a) 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터



(b) 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터 동작모드
그림 6. 제안된 1단 구성 DC-DC 컨버터

그림 6의 제안된 1단 구성 DC DC 컨버터는 Interleaved Flyback 컨버터(DCM, CCM, QRC 모든 제어적용가능)와 LLC 공진컨버터로 구성되어있다. 앞서 제안한 그림 2(a),(b),(d)에서 처럼 주스위칭소자(Q_1, Q_2)는 50% 듀티로 고정된 주파수에서 동작하며, Interleaved Flyback 컨버터 스위칭(Q_3, Q_4)의 듀티를 제어함으로써 일정 출력전압을 얻을 수 있다. 입력전압이 높은 경우 LLC 공진컨버터에 의해 일정출력전압을 얻을 수 있고, 입력전압이 낮아진 경우 교호로 동작되는 플라이백 컨버터에 의해 일정출력전압을 제어할 수 있다. 또한 LLC 공진컨버터가 입력전압에 따라 최대부하에서 1/2부하까지 감당하기 때문에 Interleaved 플라이백 컨버터는 최대정격부하의 1/2 부하만 감당하면 되므로 소자정격 및 전류스트레스를 저감할 수 있다.

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

참고문헌

- [1] Christian P. Dick, Heinz van der Broeck, etc. "Design and Implementation of a Modular Interactive System as Teaching Project" PESC '06. 37th IEEE pp 1 7, 2006. 6
- [2] 유호원, 정용민, 임승범, 이준영, 홍순찬 "1kW급 태양광 발전용 고정 시비율 방식의 DC DC 컨버터" 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집, pp. 46 48, 2008. 6.
- [3] 우스이 히로시 "다출력형 DC DC 컨버터" 출원번호 10 2006 0003952, SanKen Electric Co.,Ltd. 2006. 01
- [4] 김은수, "넓은 입력전압 범위를 갖는 DC DC 컨버터", 전주대학교, 본 발표 논문은 특허출원 중입니다.