

에너지회생스너버를 적용한 하이브리드 3레벨 DC/DC 컨버터

허예창, 주종성, H.E Malon, 강철하, 김은수[†]
 전주대학교

Hybrid Three-Level DC/DC Converter using An Energy Recovery Snubber

Y.C Heo, J.S Joo, H.E Malon, C.H Kang, E.S Kim[†]
 JeonJu University

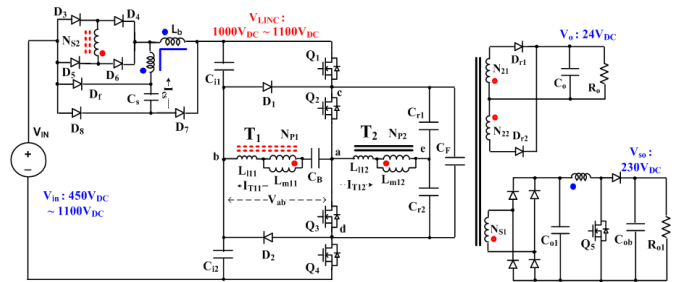
1. 서론

최근 태양광발전의 용량증대를 위해 태양광모듈전압을 고전압($\sim 1100V_{DC}$)으로 승압화 하고 있는 추세이다. 이에 따라 태양광발전 전력변환장치 설계 시 고전압 정격을 갖는 부품을 사용해야 하는 어려움이 있다. 그리고 이와 같은 문제는 태양광발전 전력변환시스템의 제어전원부에 적용되는 보조전원용 전력변환장치에도 발생한다. 보조전원용 전력변환장치에 풀-브리지 DC/DC 컨버터를 적용 검토할 수 있다. 하지만, 대용량 태양광모듈전압의 최대발전전압이 $1100V_{DC}$ 로 매우 높기 때문에 풀-브리지 DC/DC 컨버터 방식을 적용 할 경우 주 스위칭소자의 정격전압이 상승되고, 스위칭손실이 증가하기 때문에 주 스위칭소자에 입력전압의 1/2이 인가되는 3레벨 위상제어 DC/DC 컨버터가 적용될 수 있다.^[1] 또한 회로의 고 효율 및 집적화를 위해 높은 주파수에서 스위칭동작이 가능하고 주 스위칭소자 및 2차측 정류다이오드의 영전류스위칭(ZCS, Zero Current Switching)을 이룰 수 있는 3레벨 LLC 공진컨버터가 적용 검토될 수 있다.^[2] 하지만, 넓은 입력전압($450V_{DC} \sim 1100V_{DC}$) 범위의 동작조건에서는 출력전압 제어를 위해 자화인덕턴스를 줄여야 하지만 이로 인해 자화전류 증가 및 도통손실을 증가시켜 효율 개선에 한계를 가지게 된다.

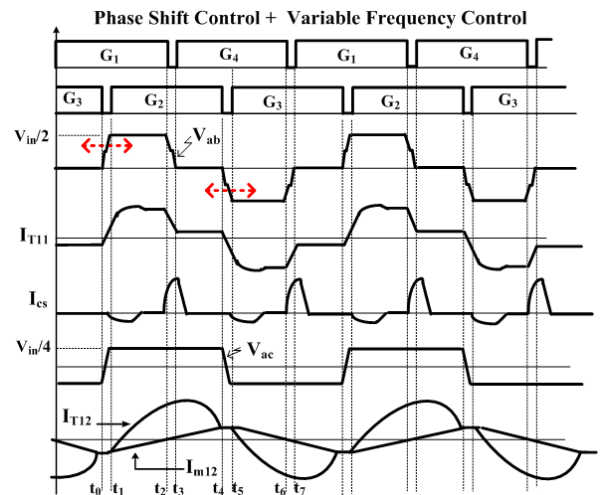
본 논문에서는 넓은 입력전압범위($450V_{DC} \sim 1100V_{DC}$)에 대응할 수 있고, 모든 입력전압조건 및 부하조건에서 영전압스위칭(ZVS, Zero Voltage Switching)을 확보 가능하며, 다출력($24V_{DC}/30A, 230V_{DC}/5A$) 제어를 구현 할 수 있는 에너지회생스너버 적용 하이브리드 승압 다출력 3레벨 DC/DC 컨버터를 제안하고, 2kW 시제품을 제작하여 실험 적용된 내용을 기술하고자 한다.^[3]

2. 에너지회생스너버 적용 하이브리드 승압 3레벨 DC/DC 컨버터

본 논문에서 기술한 하이브리드 승압 다출력 3레벨 DC/DC 컨버터는 기존 3레벨 DC/DC 컨버터와 달리 넓은 입력전압에 대응하기 위해 위상천이제어(Phase-shifted modulation)를 통해 3레벨 DC/DC 컨버터 주변압기(T_1) 출력정류부가 입력전압을 승압하는 주회로 방식을 적용하였다. 그림 1에 나타낸 하이브리드 3레벨 DC/DC 컨버터의 주변압기(T_1) 2차측과 입력승압부정류단($D_3 \sim D_6$)을 입력전원(V_{in})과 직렬형태로 연결하여 별도의 승압컨버터 없이 3레벨 DC/DC 컨버터 입력전압(V_{link})을 $1000V_{DC}$ 로 승압시켰다. 이 결과로 태양광 일사량에 따라 넓게 변화하는 대용량 태양광모듈전압($450V_{DC} \sim 1100V_{DC}$)에 대응할 수 있도록 3레벨 공진 DC/DC 컨버터가 감당해야할 전압범위($V_{link}: 1000V_{DC} \sim 1100V_{DC}$)를 좁혀 대응 가능하도록 하였다.^[3]



(a) 에너지회생스너버 적용 하이브리드 승압 3레벨 DC/DC 컨버터



(b) 하이브리드 승압 3레벨 DC-DC 컨버터 동작파형

그림 1 에너지 회생스너버 적용 하이브리드 3레벨 DC-DC 컨버터

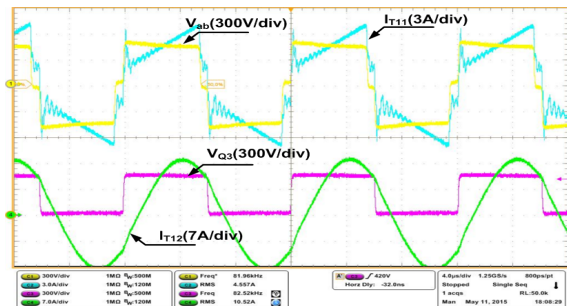
그리고 입력승압부정류단($D_3 \sim D_6$)에 인가되는 전압스트레스 및 역회복특성에 따른 노이즈저감을 위해 스너버커패시터(C_s), 스너버다이오드(D_7, D_8)로 구성된 에너지회생스너버를 적용하였으며,^[4] 에너지회생스너버의 동작특성에 따라 주변압기(T_1) 1차측 순환전류를 저감 할 수 있었다. 또한 적용된 주회로의 2차측 정류다이오드의 영전류스위칭(ZCS)과 1차측 주스위칭소자(Q_2, Q_3)의 영전압스위칭(ZVS)을 위해 LLC 공진회로부를 적용하였으며, LLC 공진회로부의 변압기(T_2)가 $24V_{DC}$ 단 출력전압을 제어 할 수 있도록 설계하였다. 또한 모든 부하범위에서 스위칭소자(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)가 영전압스위칭(ZVS) 동작을 할 수 있도록 변압기 T_2 와 공진커패시터(C_{r1}, C_{r2})로 구성된 공진회로부를 적용하였다. 적용 공진회로부는 위상천이제어와 관계없이 50% 듀티로 교번동작을 하는 Q_2, Q_3 의 스위칭주파수에 따라 공진회로부의 출력이득특성을 제어 할 수 있다.

3. 실험 결과

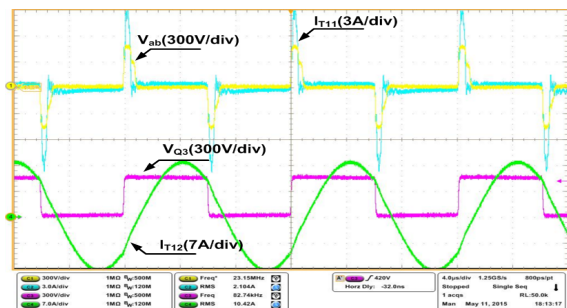
입력전압범위 450V_{DC}~1100V_{DC}에서 대응할 수 있는 제안된 하이브리드 승압 3레벨 DC/DC 컨버터의 시제를 제작하여 실험을 통해 적용가능성을 검증한 내용이다. 먼저 표 1은 적용 주회로 사양 및 측정된 변압기의 파라메타이다. 그림 2에서는 다출력 LLC 공진출력부에서 230V_{DC}단을 1kW 출력전력으로 고정시키고, 주제어부 24V_{DC}단의 부하를 700W로 두고, 각각의 입력전압(V_{in}) 450V_{DC}, 800V_{DC}, 1100V_{DC}에서 제안 적용된 컨버터가 넓은 입력전압범위에 대응하여 제어 가능함을 나타냈다. 또한 그림 3은 주제어부 24V_{DC}단의 출력부하를 700W로 두고, 230V_{DC}단에 계전기의 초기구동전력(200W→1kW→200W)에 대한 응답특성 파형을 보여준다. 그림 3의 파형을 보면 펄스형태를 띄는 것이 230V_{DC}단의 부하전류이다. 펄스 부분이 1kW의 용량의 전류를 나타내며 이로써 초기구동전력에도 대응이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 또한 넓은 입력전압 및 부하조건에서 89%이상의 효율특성을 나타내며, 입력전압 900V_{DC}에서 92.3%로 가장 큰 효율을 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

표 1 주요 정격 및 변압기 파라미터

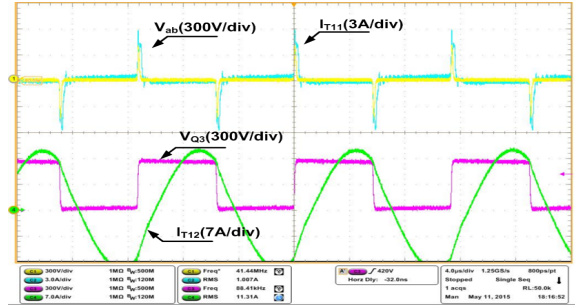
주요 정격	
입력전압(V _{in})	450V _{DC} ~1100V _{DC}
출력전압(V _o)/출력전류(I _{o,max})	24V _{DC} /30A, 230V _{DC} /5A
적용소자	
주 스위칭소자(Q)	IPW65R041CFD (650V,43.3A,R _{DS(on)} :41mΩ)
2차측승압정류다이오드(D ₃ ~D ₆)	C4D08120(1200V/8A)
파라미터	
렙 인덕터(L _{pl} ,L _{lp})	735uH/200uH(57T/28T)
스너버커패시터(C _{sl} ,C _{sp})	12nF
공진 커패시터(C _{r1} ,C _{r2})	33nF*2개
변압기 (T ₁)	
1차측자기인덕턴스	L _{p1} 572.5uH
2차측자기인덕턴스	L _{s2} 720.7uH
등가누설인덕턴스	L _{eq2} 3.41uH
턴-수비	n ₁ (N _{p1} /N _{s1}) 0.89(33T/37T)
변압기 (T ₂)	
1차측자기인덕턴스	L _p 183.9uH
2차측자기인덕턴스(24V _{DC})	L _s 1.767uH
등가누설인덕턴스(24V _{DC})	L _{eq2} 88.02uH
턴-수비(24V _{DC})	n ₁ (N _{p2} /N _{s2}) 12.5(23T/2T)
2차측자기인덕턴스(230V _{DC})	L _s 71.82uH
등가누설인덕턴스(230V _{DC})	L _{eq2} 67.41uH
턴-수비(230V _{DC})	n ₂ (N _p /N _{s1}) 1.643(23T/14T)



(a) 입력 450V_{DC}, 출력용량 24V_{DC}/700W, 230V_{DC}/1kW일 때



(b) 입력 800V_{DC}, 출력용량 24V_{DC}/700W, 230V_{DC}/1kW일 때



(c) 입력 1100V_{DC}, 출력용량 24V_{DC}/700W, 230V_{DC}/1kW일 때

그림 2. 1차측 a-b 단자전압(V_{ab}) 및 스위칭소자(Q₃) 양단전압과 변압기(T₁, T₂) 1차측전류(I_{T11}, I_{T12}) 실험파형 (Ch1:300V/div, Ch2:3A/div, Ch3:300V/div, Ch4:7A/div, 4us/div)

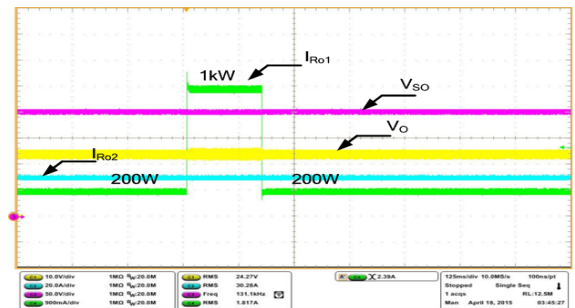


그림 3. 230V_{DC}출력단에 있어서 부하변동에 따른 실험파형(125ms/div.) (V_{in}=1100V_{DC}, P_o= 24V_{DC}/700W, 230V_{DC}/200W→1000W→200W, 125ms/div.) (ch1:10V/div, ch2:20A/div, ch3:50V/div, ch4:900mA/div.)

4. 결론

넓은 입력전압(450V_{DC}~1100V_{DC}) 범위에 대해 위상천이제어(Phase-Shifted Modulation) 시에 발생하는 2차측 정류다이오드(D₃~D₆)의 전압스트레스를 감소시킬 수 있는 에너지회생스너버 적용 하이브리드 승압 3레벨 DC/DC 컨버터를 제안하였고, 24V_{DC}출력단은 주파수제어(Frequency Modulation)에 의해 출력전압을 정밀제어하며, 230V_{DC}단은 별도로 승압컨버터를 추가하여 제어 가능하도록 하였다. 2kW급 시제를 제작 및 실험을 통하여 적용가능성에 대하여 검증하였다.

이 논문은 카코뉴에너지(주) 산학협력 연구과제 지원으로 수행되었음

참고 문헌

- [1] Duk-You Kim, Jae-Kuk Kim, Gun-Woo Moon., "A Three-Level Converter With Reduced Filter Size Using Two Transformer and Flying Capacitors" IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 1, pp.46-53, 2013
- [2] Il-Oun Lee, Gun-Woo Moon., "Analysis and Design of a Three-Level LLC Series Resonant Converter for High- and Wide-Input-Voltage Applications" IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 27, pp.2966-2979, 2012
- [3] 김은수 외, "2014년도 카코뉴에너지(주)/전주대 산학협력보고서", 2015. 8
- [4] Eun-Soo Kim, Young-Bok Byun, Yoon-Ho Kim, Young-Gun Hong, "A three level ZVZCS phase-shifted DC-DC converter using a tapped inductor and a snubber capacitor", IEEE APEC, vol.2 pp.980-985, 2001