

신재생에너지용 연계형 인버터의 고효율 승압에 관한 연구

(Study on High Efficiency Boosting-up Circuit for Renewable Energy Application)

정태욱 · 김주용 · 최세권 · 조준석 · 고희석
경남대학교 전기공학과

Tae-Uk Jung · Ju-Yong Kim · Se-Kwon Choi · Jun-Seok Cho · Hee-Seok Kho
Department of Electrical Engineering, Kyungnam University

Abstract

In this paper, such as battery power or solar energy and fuel cells generated from Renewable energy sources, high voltage to low voltage DC-DC Converter for converting the design of the study. System consists of low voltage (24 ~ 28 [VDC]) and Boosts the voltage (270 [VDC]) for a 3 [kW] DC-DC converter and control circuit is configured as, Power switch the ST Tomson's Automotive low voltage high current MOSFET switches STE250NS10S (temperature 250A) was applied to the two parallel. Also, Controller's processor used ATMEGA128, and Gate Drive applies and composed Photo Coupler TLP250. development

Input voltage (24V) and output voltage (270V) for Conversion in the H-bridge converter topology of the circuit output side power and voltage to control the implementation of the Phase shift angle control applied. And, 3kW of power to pass appropriate specification of the secondary side as interpreted by the high frequency transformer, and the experimental production and analysis of the experiment

1. 서 론

최근 유가 상승과 화석연료의 고갈로 인해 에너지의 가격 상승과 에너지 고갈로 인해 신재생 에너지원과 이를 효율적으로 활용하기 위한 전력변환시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 그 이유로서는 태양광, 연료전지 등의 신재생 에너지원의 이용과 군수용 또는 레저용으로 휴대용 배터리 전력을 상용 기기에 적용하기 위한 필요성의 증대를 들 수 있다. 이러한 신재생 에너지 시스템의 기술개발에 있어 가장 중요한 기술은 에너지 발생원에 대한 고효율 및 저가격화와 생성된 전기에너지를 상용 전압의 형태로 변환하기 위한 고효율 전력 변환회로가 필요하다.

본 논문에서는 배터리전원 또는 태양광과 연료전지 등의 신재생 전원에서 발생하는 저전압 에너지를 고전압으로 변환하기 위한 DC-DC Converter의 설계에 대해 연구하였다. 입력 DC 24~28V 전압을 출력전압 270V로 변환하기 위한 H-bridge converter의 회로 topology에 있어 출력측 전력 및 전압을 제어하기 위해 Phase shift angle control을 적용하여 구현하였으며, 3kW의 전력을 2차측에 효과적으로 전달하기 위한 적절한 사양의 고주파용 변압기를 실험적 해석에 의해 선정하고 제작하였다. 마지막으로 제작된 회로시스템의 연속동작시 열적 안정성을 테스트하기 Infrared Solution

사의 적외선 열화상카메라를 이용하여 출력측에 부하를 인가하면서 Power stack의 온도상승을 체크하고 분석하였으며, 실험을 통해 결과를 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1. DC-DC Converter의 회로구조

전체 회로 및 시스템 구성은 아래 그림 1과 같으며, 표1은 DC-DC 컨버터의 실험에 사용된 회로정수를 나타낸 것이다.

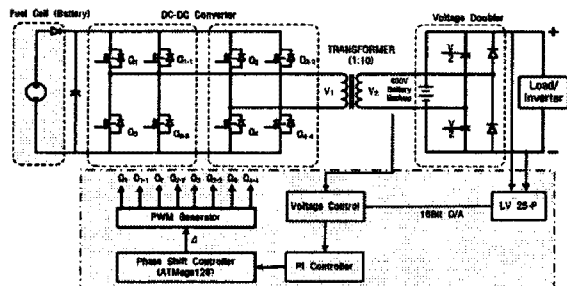


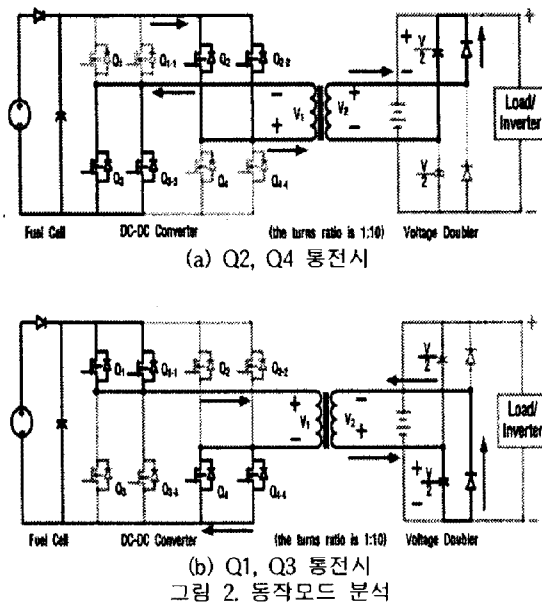
그림 1 승압형 DC-DC converter의 회로구성

변압기 좌측의 단상 Full bridge inverter는 배터리 전압을 이용해 변압기에 입력하기 위한 구형파 펄스 전압을 만들기 위한 회로이며, 변압기 우측의 정류회로는 변압기 2차측 출력단의 승압된 펄스전압을 정류하여 DC 출력전압을 만드는 회로로서 커패시터를 이용한 배전압(voltage doubler)회로의 특성을 가진다

표 1. 실험에 사용된 회로징수

주요성능 및 Spec	단위	정격
1. 입력 전압	V(DC)	24~28
2. 출력 전압	V(DC)	270
3. 정격 용량	kVA	3 이상
4. PWM 주파수	kHz	12 ~ 20
5. 최대 전류	A	150 이상
6. 변압기권수비		1:10

위 그림 1 회로의 동작모드는 그림 2의 (a)와 (b)와 같다. 그림 2의 (a)는 converter부의 스위치 Q2와 Q3가 통전될 때의 경우이며, (b)는 스위치 Q1과 Q4가 통전될 때의 동작을 보여주고 있다. 이러한 Full bridge converter의 교번 스위칭에 의해 변압기에 배터리 입력 전압의 +V와 -V를 최고치로 하는 AC 구형파 펄스전압이 변압기에 입력된다.



변압기에 입력된 AC 구형파 펄스전압은 변압기의 턴수비인 1:10로 승압되어 Half bridge 형태의 배전압 정류회로에 입력된다. 변압기 2차측의 출력전압의 극성에 따라 각각의 정류다이오드를 통해 커패시터를 충전하게 되어 V2의 직류전압이 형성된다.

그림 2의 저압인 1차측의 converter를 스위칭하기 위한 방법을 그림 3에 나타낸다. 그림 3에서 Converter의 각 스위치의 스위칭 폭은 항상 일정하게 도통하며 입력 에너지의 제어는 각 Arm간의 위상각 (phase shift angle)을 제어함으로써 조절할 수 있다. 그러므로 제어기의 PWM 발생부분의 프로그램이 용이한 장점이 있다. 1차측 입력 DC전압과 2차측의 출력 DC전압의 관계는 아래의 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$V_2 = 2 \cdot V_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{\Delta}{180^\circ} \quad (1)$$

여기서, V1은 입력 DC전압, V2는 출력 DC전압, N1과 N2는 변압기 1차측과 2차측의 권선 수, Δ는 phase shift angle을 나타낸다.

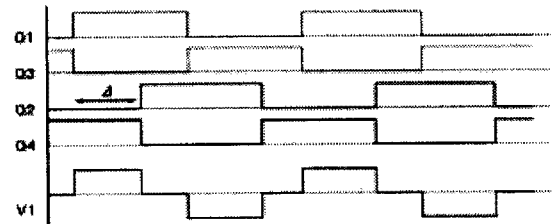


그림 3. Converter의 스위칭 제어 패턴

2차측 출력측은 배전압 정류부로서 요구 출력전압 대비 변압기의 권선비를 1/2로 저감시킬 수 있어 이 회로에 있어 가장 큰 손실원인 변압기의 누설자속에 의한 손실을 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 병렬로 결합된 보조배터리는 커패시터와 동일한 역할을 하여 커패시터의 용량도 다운됨으로써 경제적인 기술안이다.

3. 실험 결과

3.1 회로 시스템 구현 및 제작

구현된 전체 시스템은 그림 4와 같다. 저전압(24~28[VDC])을 승압(270[VDC])시키기 위한 3[kVA] 급 DC-DC 컨버터와 제어회로부로 구성되며, Power switch는 ST Tomson사의 자동차용 저전압 고전류용 MOSFET 스위치인 STE250NS10S(상온 250A)을 2개 병렬로 적용하였다.

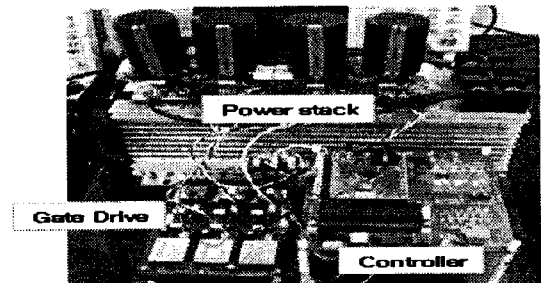
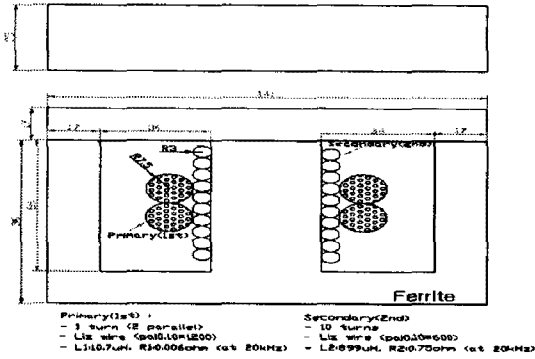


그림 4. 구현된 전체 시스템의 사진

또한, Controller의 프로세서는 ATMEGA128을 이용하였으며, Gate Drive는 Photo Coupler TLP250을 적용하여 구성하였다. 승압용 변압기는 페라이트 코어를 활용하여 제작하였으며, 1차와 2차의 권선비는 1:10으로 최종 설계하였으며, 그 치수 및 20kHz의 주파수 대역에서 측정된 저항과 인덕턴스 데이터와 제작된 변압기의 사진은 그림 5와 같다.



(a) 변압기의 치수



(b) 제작된 변압기의 사진
 그림 5. 승압용 변압기의 치수 및 사진

3.2 실험 결과 및 고찰

그림 6은 제작된 시작기의 특성을 측정 분석하기 위한 시스템의 구성을 보여주고 있다.

DC power supply는 Argantix사의 150V/100A 사양의 2대를 병렬로 연결하여 사용하였으며, 입력전압의 리플을 저감시키기 위해 12V/150AH의 배터리 2개를 직렬 연결하여 DC power supply에 병렬 연결하였다. 2차측 출력단의 부하는 대만 Chroma사의 63204 (10A/500V, 5.2kW)를 적용하여 정전압 부하모드로 270V를 셋팅하여 부하를 인가하였다.

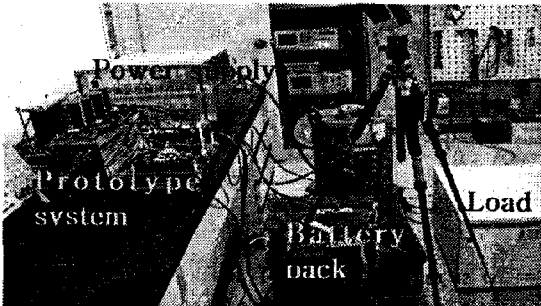
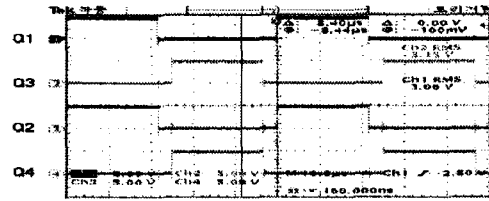
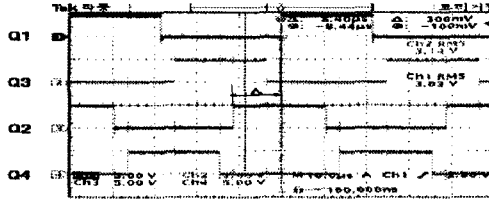


그림 6. 특성 분석을 위한 시스템의 구성도

그림 7은 1차측 DC-DC Converter의 Gate signal을 보여주고 있다. (a)는 phase shift angle이 영인 상태에서 2차측 출력전압은 영전압이 된다. 반면에 (b)는 phase shift angle이 90도인 상태를 보여주고 있다. 이 때는 전체 위상 중에서 50%의 구간동안 1차측의 에너지를 1차측으로 전달할 수 있다. 그림 8 1차측 Converter의 각 arm의 upper switch와 lower switch의 Gate signal을 보여주고 있다. PWM 주파수는 20[kHz]이며, arm short를 방지하기 위한 dead time은 3.4μs로 설정하였다.



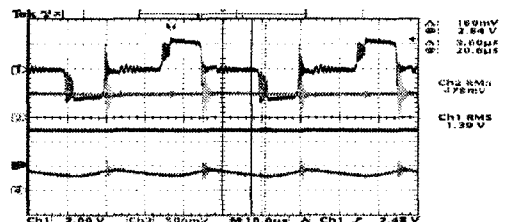
(a) phase shift angle : 0 deg.



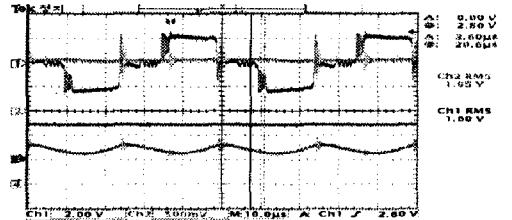
(b) phase shift angle : 90 deg.

그림 7. 1차측 Converter의 gate signal

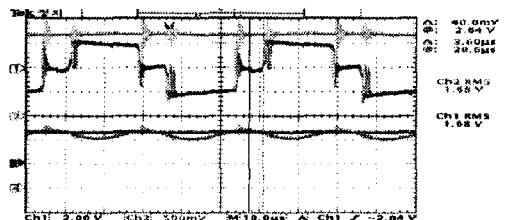
그림 8은 각각 출력이 1[kW], 2[kW], 3[kW] 일 때의 출력 전압 및 전류 파형 측정 결과를 나타낸다. Ch.1은 1차측 변압기 양단 전압 V_1 (20V/div), Ch.2는 1차측(저압측)인 입력측 전류 파형 I_1 (50A/div)을 보여주고 있으며, Ch.3과 Ch.4는 2차측 고압측의 전압 V_2 (200V/div) 및 전류 파형 I_2 (5A/div)을 보여주고 있다. 1차측 변압기 양단에서는 저전압 고전류의 스위칭에 의해 다소의 전압 링(ring)현상이 발생되지만, 저전압 스위칭의 일반적 현상이며 converter의 안정성에는 크게 문제가 되지 않는다.



(a) 출력 1kW일 때



(b) 출력 2kW일 때



(c) 출력 3kW일 때

그림 9. 1차측 및 2차측의 전압 및 전류 파형

위의 실험결과 2차측 출력 3kW 이하에서 2차측 전압 270 이상을 유지할 수 있도록 제작되었음을 확인하였다. 최대출력인 3kW일 때 2차측 출력전압을 270V로 유지하기 위한 Phase shift angle은 155° (controller의 phase shift value 표시치는 310)이다. 그림 9에서와 같이 출력에 대한 평균 효율은 80% 수준이며, 저전압 고전류 스위칭으로 인한 1차측 power stack에서의 손실이 다소 큼을 알 수 있다. 이 부분에 대해서는 향후 추가적인 시제품 제작에서 추가적인 개선이 필요하다.

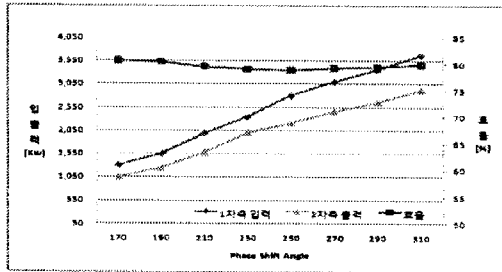


그림 9. 출력에 따른 입·출력 효율 비교

제작된 회로시스템의 연속동작시 열적 안정성을 테스트하기 위해 아래 그림 10과 같은 실험시스템을 구성하고 출력측에 부하를 인가하면서 Power stack의 온도상승을 체크하였다. Power stack의 온도상승을 측정하기 위해 Infrared Solution사의 적외선 열화상카메라를 적용하였다. 그림 10은 온도상승 측정 결과를 나타낸 것이다. 실험결과 1차측 DC-DC Converter에서 H-bridge에서 한 쪽 arm의 온도상승이 다른 arm보다 높게 나타나고 있는 문제가 발견되었다 또한, 출력 2kW까지는 온도상승이 문제가 되지 않으나, 3kW 정도에서는 장시간 사용시 파워스위치의 온도상승이 다소 문제가 될 수 있음을 알 수 있었다.

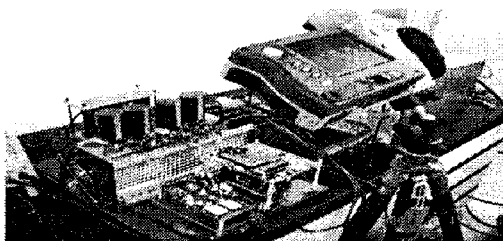


그림 10. Power stack의 열적 안정성을 체크하기 위한 실험 시스템 구성



그림 11. 온도상승 측정 결과 (출력 2kW)

4. 결 론

본 과제에서는 배터리전원 또는 태양광과 연료전지 등의 신재생 전원에서 발생하는 저전압 에너지를 고전압으로 변환하기 위한 DC-DC Converter의 설계에 대해 연구하였다.

- (1) 입력 24V 전압을 출력전압 270V로 변환하기 위한 H-bridge converter의 회로 topology에 있어 출력측 전력 및 전압을 제어하기 위해 Phase shift angle control을 적용하여 구현하였다.
- (2) 3kW의 전력을 2차측으로 전달하기 위해 적정한 사양의 고주파용 변압기를 실험적 해석에 의해 선정하고 제작하였다.
- (3) 저전압 고전류의 스위칭을 기반으로 하는 DC-DC Converter에서는 무엇보다도 중요하면서도 기술적인 관심이 필요한 부분은 저전압측인 변압기 1차측의 Power stack의 설계임을 알 수 있으며, Converter의 전류통전 라인의 저항분포, DC-Link 커패시터의 사양에 의해 상당히 입출력 특성에 큰 변화를 줄 수 있음을 확인하였다.
- (4) 제안된 컨버터 시스템의 장점으로서는 전류 스트레스 감소 및 높은 효율성, 신뢰성 및 단순화된 관리뿐만 아니라 저렴한 비용등을 들 수 있으며, 가정용 전력 생산을 위한 시스템으로 매우 유용하다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) R. C. Dugan and T. E. McDermott, "Distributed generation," IEEE Ind. Applicat. Mag., vol. 2, pp. 19--25, Mar./Apr. 2002.
- (2) H. B. Puttgen, P. R. MacGrego, and F. C. Lambert, "Distributed generation: semantic hype or the dawn of a new era," IEEE Power Energy Mag., vol. 1, pp. 22--29, Jan./Feb. 2003.
- (3) G. J. Miranda, "Be prepared! (power industry deregulation)," IEEE Ind. Applicat. Mag., vol. 9, pp. 12--20, Mar./Apr. 2003.
- (4) Fuel Cell Handbook, 6th ed., Nat. Energy Technol. Lab, U.S. Dept. Energy, Washington, DC, 2002.
- (5) R. Gopinath, K. Sangsun, J. H. Hahn, M. Webster, J. Burghardt, S. Campbell, D. Becker, P. Enjeti, M. Yeary, and J. Howze, "Development of a low cost fuel cell inverter system with DSP control," in Proc. IEEE 33rd Annu. Power Electronics Specialists Conf. (PESC'02), vol. 1, June 23--27, 2002, pp. 309--314.
- (6) H. Li, F. Z. Peng, and J. S. Lawler, "A natural ZVS medium-power bidirectional dc-dc converter with minimum number of devices," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 39, pp. 525--535, Mar./Apr. 2003.
- (7) A. M. Tuckey and J. N. Kruse, "A low-cost inverter for domestic fuel cell applications," in Proc. IEEE 33rd Annu. Power Electronics Specialists Conf. (PESC'02), vol. 1, June 23--27, 2002, pp. 339--346.
- (8) G. K. Anderson, C. Klumpner, S. B. Kjaer, and F. Blaabjerg, "A new green power inverter for fuel cells," in Proc. IEEE 33rd Annu. Power Electronics Specialists Conf. (PESC'02), vol. 2, June 23--27, 2002, pp. 727--733.