

220V, 440V 3상 계통전압 혼용이 가능한 용접 전원장치용 위상천이 폴브리지 컨버터

윤덕현¹, 이우석¹, 이준영¹, 이일운[†]

Phase-Shifted Full-Bridge Converter for Welding Power Supply Capable of Using 220 V, 440 V 3-Phase Grid Voltages

Duk-Hyeon Yun¹, Woo-Seok Lee¹, Jun-Young Lee¹, and Il-Oun Lee[†]

Abstract

A three-leg inverter-type isolated DC-DC Converter that can use 220 and 440 V grid input voltages is introduced. The secondary circuit structure of the proposed topology is center-tap, which is the same as the conventional phase-shifted full-bridge converter. However, the primary circuit structure is composed of a three-leg inverter structure and a transformer, in which two primary windings are connected in series. The proposed circuit structure has a wider input voltage range than the conventional phase-shifted full-bridge converter, and the circulating-current on the primary-side is reduced. In addition, the voltage stress at the secondary rectifier is greatly improved, and high efficiency can be achieved at a high input voltage by removing the snubber circuit added to the conventional converter. Prototype converters with input DC of 311 V, output of 622 V, and 50 V and 6 kW class specifications were designed and manufactured to verify the validity of the proposed topology; the experimental results are presented.

Key words: Phase-shifted full-bridge converter, DC/DC converter, Welding power supply, High efficiency

1. 서 론

최근 선박, 교량, 자동차, 건축 및 철골 분야 등 국내의 용접산업 규모는 세계의 최상위권에 진입해 있어 우리나라가 세계를 리드하는 기술 수준에 도달했다고 할 수 있다. 하지만 용접산업의 눈부신 발전에 비해 현재 국내의 용접기 생산기술은 선진사들과 비교하여 기술적인 격차가 크고 품질면에서 떨어져 있다. 기술적인 격차로는 용접기의 효율 향상, 휴대성 증대, 정밀한 출력 제어 등이 있으며, 이러한 기술개발이 시급하다. 그림 1은 기존 용접 전원장치의 구성도를 보여준다. 그림에서 보듯이, 기존 용접 전원장치는 용접기 특성상 저전압, 대전류의 출력을 요구하기 때문에 위상천이 폴브리지 컨버터

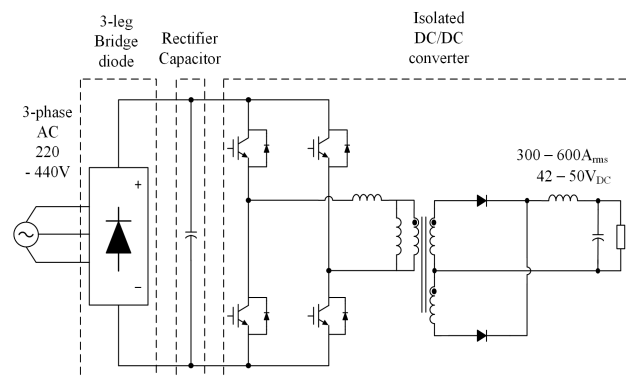


Fig. 1. Conventional welding power supply.

를 주로 채택한다. 하지만 기존 위상천이 폴브리지 컨버터는 입력전압 범위가 넓을수록, 듀티 변동이 크게 되어 1차측에 큰 순환전류가 존재하고, 2차측 정류단 전압 스트레스가 커져 전압정격이 높은 다이오드의 사용을 요구하는 단점이 있다. 따라서 지금까지 계통전압 혼용이 아닌 AC 220V 또는 AC 440V로 개발되어 왔다^{[1]-[3]}.

Paper number: TKPE-2021-26-5-9

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: leeiloun@mju.ac.kr, Dept. of Electrical Engineering, Myongji University, Korea
Tel: +82-31-330-6833 Fax: +82-031-330-6977

¹ Dept. of Electrical Engineering, Myongji University, Korea
Manuscript received Nov. 30, 2020; revised Dec. 22, 2020; accepted Dec. 29, 2020

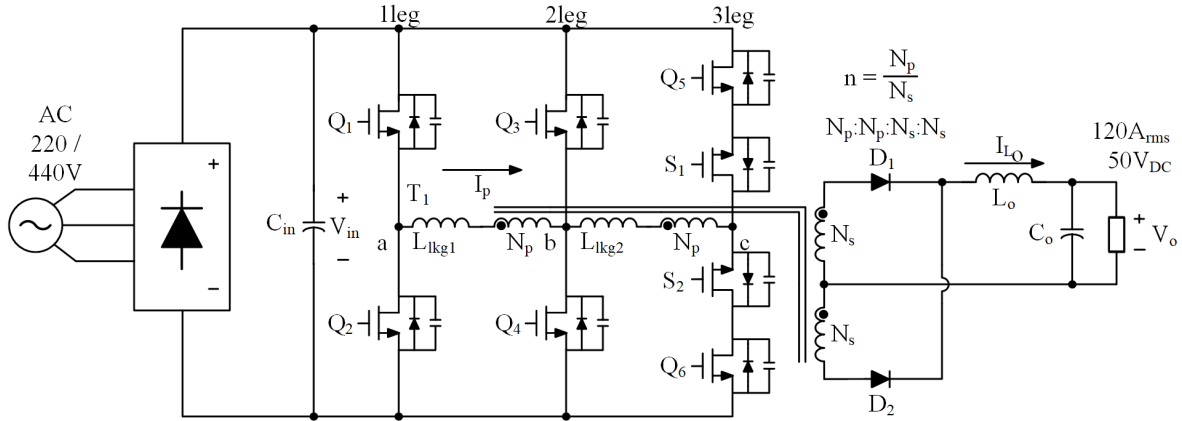


Fig. 2. Proposed phase-shifted full-bridge converter.

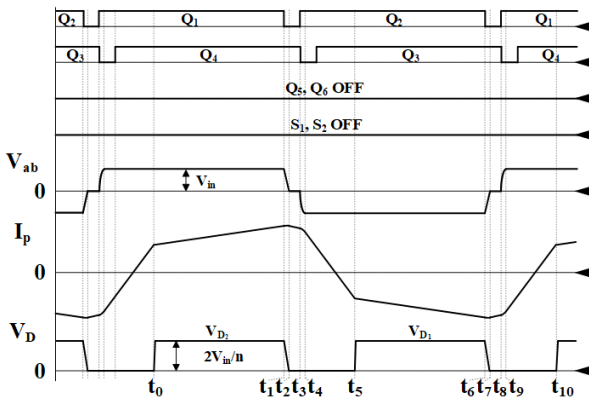


Fig. 3. Proposed converter key waveforms (V_{in} : 311 V).

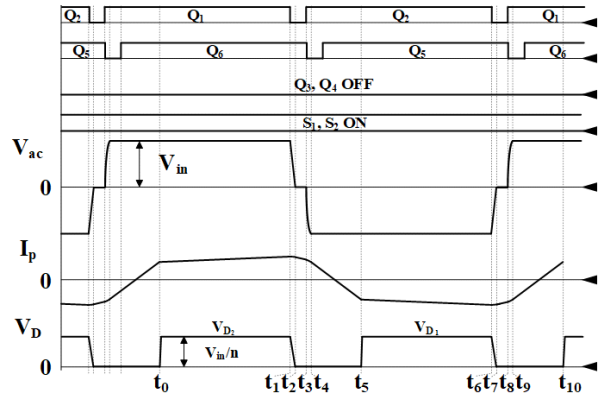


Fig. 4. Proposed converter key waveforms (V_{in} : 622 V).

본 논문에서는 AC 220, 440V 혼용운전이 가능한 3-leg 인버터 타입의 구조를 갖는 위상천이 폴브리지 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 입력전압에 따른 턴 비의 변화로 인해 항상 최대 듀티로 동작하며, 1차측 전류 및 2차측 정류단 전압 스트레스 감소시킨다. 따라서 정류단에 있는 스너버 회로를 제거할 수 있으며, 기존 컨버터보다 항상 고효율로 동작할 수 있는 장점이 있다.

2. 제안된 위상천이 폴브리지 컨버터

그림 2는 AC 220V, 440V 혼용운전이 가능한 용접 전원장치 어플리케이션을 위한 위상천이 폴브리지 컨버터를 보여준다. 제안된 토폴로지는 기존 위상천이 폴브리지 컨버터와 2차측 구조가 동일하다. 반면에 1차측 폴브리지 인버터 부에 leg가 하나 더 추가되었고, 입력전압 311V 조건에서 3leg에 전류 경로가 형성되지 않도록 스위치 S_1 , S_2 를 각각 Q_5 , Q_6 에 직렬로 배치한다. 또한 1leg와 2leg 사이에 있는 권선 N_p 와 같은 권선 수로 2leg와 3leg 사이에 권선을 배치한다. 이러한 구조로 인해 입력전압의 범위가 넓을 경우, 발생하는 기존 컨버터의 문제점들을 해결할 수 있으며 입력전압에 상관없이 항상 고효율 동작을 할 수 있다.

2.1 동작 원리

제안된 컨버터의 동작 원리는 기존 위상천이 폴브리지 컨버터와 같으나 입력전압에 따라 동작하는 스위치가 다르다. 그림 3, 4는 본 논문에서 제안된 컨버터의 입력전압별 주요 동작파형이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 제안된 컨버터의 입력전압 311V 조건 동작은 1leg와 2leg를 사용하며 기존 컨버터와 동작이 동일하다. 반면에 그림 4에서 볼 수 있듯이, 제안된 컨버터의 입력전압 622V 조건 동작은 1leg와 3leg로 동작하며 턴 비가 2배인 ac단의 변압기를 사용한다. 따라서 기존 컨버터보다 큰 시비율을 사용할 수 있다. 그 결과, 순환전류를 기존 컨버터보다 감소시킬 수 있으며, 2차측에서 1차측으로 반영되는 부하전류의 크기도 감소하여 1차측 전류 스트레스를 약 50% 감소시킬 수 있다. 또한 2차측 정류단 전압 스트레스도 50% 감소시킬 수 있으며, 기존 컨버터와 동일한 성능을 갖는 다이오드를 사용한다면 스너버 회로를 제거하여 고효율을 달성한다는 이점이 있다.

2.2 1차측 전류 스트레스 비교

그림 5는 기존 및 제안된 컨버터의 1차측 전류 스트레스를 비교하여 보여준다. 그림에서 보듯이, 기존 컨버터의 경우 턴 비가 고정이며 입력전압이 증가할수록, 유효

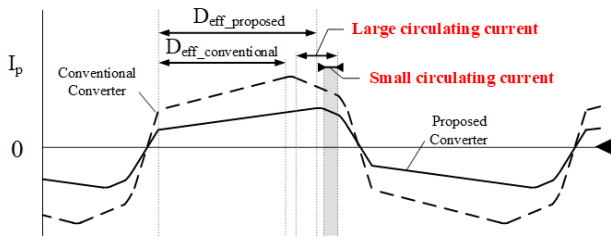


Fig. 5. Comparison of conventional & proposed converter primary side current stress (V_{in} : 622 V).

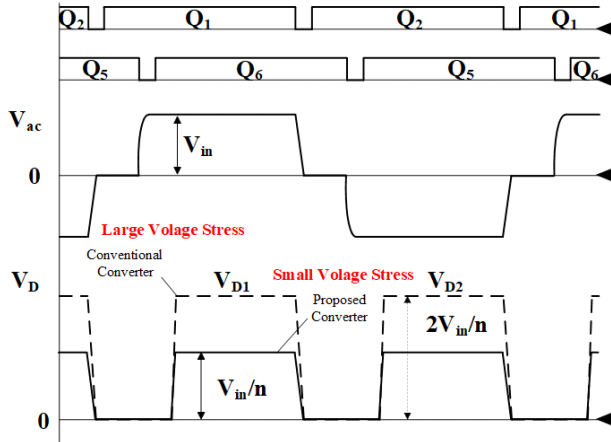


Fig. 6. Comparison of conventional & proposed converter secondary side rectifier voltage stress (V_{in} : 622 V).

시비율이 감소하여 순환전류가 커진다. 반면에 제안된 컨버터의 경우 높은 입력전압에서 턴 비가 2배가 되며 2차측에서 1차측으로 반영되는 부하전류의 크기를 감소시킬 수 있고, 순환전류도 감소시킬 수 있다. 그 결과, 1차측 전류 스트레스가 기존보다 약 50% 감소한다.

2.3 2차측 정류단 전압 스트레스 비교

그림 6은 기존 및 제안된 컨버터의 2차측 정류단 전압 스트레스 비교를 보여준다. 기존 컨버터의 경우 입력전압이 증가할수록 2차측 정류단의 전압 스트레스가 증가한다. 반면에 제안된 컨버터는 높은 입력전압에서 턴 비가 2배가 되며 2차측 정류단 전압 스트레스가 기존 대비 50% 감소한다. 그 결과, 제안된 컨버터는 스너버 회로를 제거하여 효율을 대폭 상승시킬 수 있다.

3. 실험 사양

제안된 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 기존 컨버터와 제안된 컨버터의 시제품을 표 1과 같이 제작하여 실험을 진행하였다. 아래는 시제품의 설계 사양이다.

- 1) Input voltage: $V_{in} = 311\text{--}622\text{V}$
- 2) Output voltage: $V_{out} = 50\text{V}$
- 3) Maximum power: $P_{max} = 6\text{kW}$

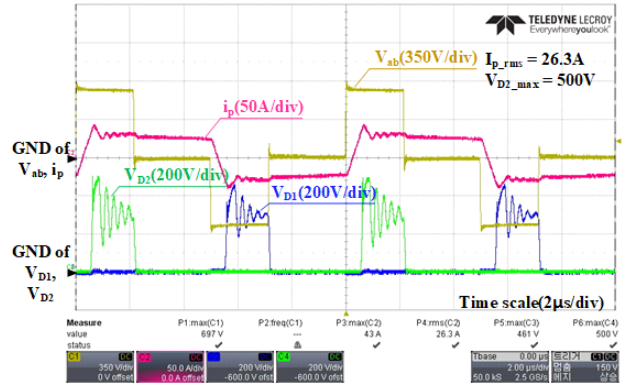


Fig. 7. The conventional converter key waveforms (V_{in} : 622 V, P_o : 6 kW).

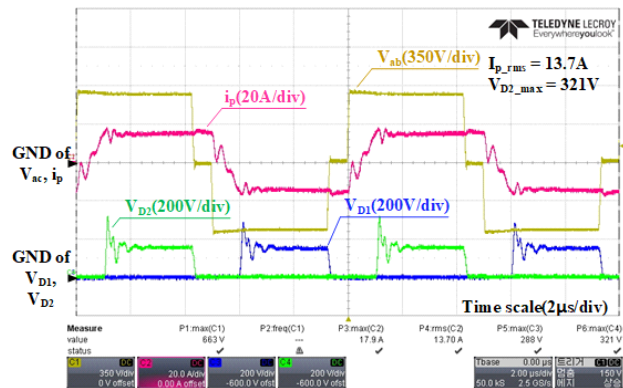


Fig. 8. The proposed converter key waveforms (V_{in} : 622 V, P_o : 6 kW).

TABLE I
CONVENTIONAL AND PROPOSED CONVERTERS SPECIFICATION

	Conventional	Proposed
Rectifier Capacitor	Electrolytic capacitor 220 μF , 1200 V	
Switch	SCT50N120 (1200 V, 65 A, 59 m Ω)	
Diode	DFE240X600NA (600 V, 120 A, 1.3 V)	
Output Inductor	L = 14.125 μH	
Transformer	8T:2T:2T	8T:8T:2T:2T
Output Capacitor	22201C106M4Z2A, 50 μF , 100 V	
Snubber	R = 1.25 k Ω , 80 W C = Film, 20 nF, 630 V D = S3L60	None

4. 실험 결과

그림 7, 8은 입력전압 622V, 출력 전력 6kW 조건에서 기존 및 제안된 컨버터의 주요 동작파형을 보여준다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, 기존 위상천이 폴브리지 컨버터는 입력전압이 증가할수록 유효시비율이 작아진다. 그 결과, 순환전류가 커지며 26.3Arms의 전류 스트레스가

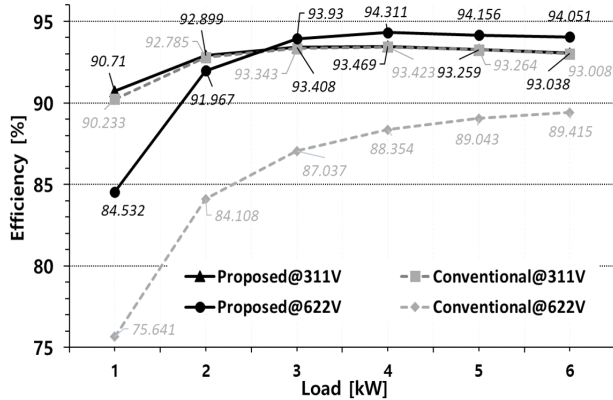


Fig. 9. Graph of conventional & proposed converter measured efficiency per load (V_{in} : 311, 622 V).

발생한다. 또한 2차측 정류단 전압 스트레스가 증가하여 최대 500V의 큰 전압 스트레스가 확인된다. 반면에 그림 8에서 보듯이, 제안된 컨버터는 높은 입력전압에서 최대의 시비율로 동작하며 순환전류가 작다. 또한 2차측에서 1차측으로 반영되는 부하 전류의 크기가 감소하여 13.7Arms의 낮은 1차측 전류 스트레스가 발생한다. 2차측 정류단 전압 스트레스도 기존 컨버터보다 크게 감소하여 321V의 낮은 전압 스트레스가 발생한다. 따라서 정류단 설계 시, 기존 컨버터와 동일한 성능을 갖는 다이오드를 사용하여 제안된 컨버터는 2차측 정류단에 스너버 회로를 추가하지 않았다. 그림 9는 시제품들의 부하별 측정 효율을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 제안된 컨버터는 입력전압 311V 조건 동작에서 스너버 회로가 존재하지 않아 기존 대비 동등 이상의 효율 성능을 보여준다. 반면에 입력전압 622V 조건 동작에서 제안된 컨버터는 1차측 전류 스트레스 및 2차측 전압 스트레스 감소로 인해 스위치 손실과 스너버 손실이 대폭 감소하였으며, 그 결과 기존 컨버터의 효율보다 전 구간 5% 이상의 개선되었다. 4kW에서 최대 94.311%의 높은 효율을 달성하였다.

5. 결론

본 논문에서는 AC 220V, 440V 혼용운전이 가능한 용접 전원장치 어플리케이션을 위한 위상천이 폴브리지 컨버터를 제안하였다. 입력 DC 311, 622V 출력 50V 6kW 조건으로 설계 및 실험을 진행하여 그 타당성을 입증하였다. 제안된 컨버터는 기존 1차측 폴브리지 인버터 부에 레그, 권선을 추가하여 DC 622V 동작에서 1차측 전류 스트레스 감소 및 2차측 전압 스트레스 감소로 기존보다 전 구간 효율 5% 이상 개선하였다. 이러한 장점으로 제안된 컨버터는 계통입력전압에 국한되지 않고, 입력전압 범위가 넓은 어플리케이션에 적합하다고 할 수 있다.

본 연구는 한국전력공사의 2021년 선정 기초연구개발과제 연구비에 의해 지원되었음. (과제번호: R21X001-11)

References

- [1] J. A. Sabate, V. Vlatkovic, R. B. Ridley, F. C. Lee, and B. H. Cho, "Design considerations for high-voltage high-power full-bridge zero-voltage-switched PWM converter," in *Fifth Annual Proceedings on Applied Power Electronics Conference and Exposition*, pp. 275-284, 1990.
- [2] S. W. Choi, J. M. Lee, and J. Y. Lee, "High-efficiency portable welding machine based on full-bridge converter with ISOP-connected single transformer and active snubber," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 63, No. 8, pp. 4868-4877, 2016.
- [3] W. Y. Ahn, W. K. Lee, and M. S. Han, "Characteristics of inverter type arc welding power source," *Journal of the Korean Power Electronics Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 38-46, 2014.