

AC 220/440V 범용 입력전압 범위를 갖는 3-레그 인버터 타입의 위상천이 풀브리지 컨버터에 관한 연구

윤덕현¹, 이우석², 이준영³, 이일운[†]
 명지대학교

Study on 3-Leg Inverter Type Phase-Shifted Full-Bridge Converter with AC 220/440V Universal Input Voltage Range

Duk-Hyeon Yun¹, Woo-Seok Lee², Jun-Young Lee³, Il-Oun Lee[†]
 Myongji University

ABSTRACT

기존 위상천이 풀브리지 컨버터는 입력전압 범위가 넓은 경우, 제어변수인 듀티의 변동이 크게 되어 큰 순환전류가 존재하고, 2차측 정류단 전압스트레스가 커지는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 위상천이 방식을 적용한 3-레그 인버터 타입의 절연형 컨버터를 제안한다. 제안 회로는 턴 비의 변화로 입력전압에 상관없이 항상 최대 듀티로 동작하며, 1차측 전류 및 2차측 정류단 전압스트레스를 감소시킬 수 있다. 제안 회로의 타당성을 검증하기 위해, 입력 311V_{DC}/622V_{DC}, 출력 50V 6kW급 사양의 프로토타입 컨버터를 설계·제작하였고, 그 실험 결과를 발표한다.

1. 서론

용접전원장치는 AC 220V/440V 계통전압을 입력으로 받아 용접에 필요한 저전압, 대전류 (출력전압 42~50[V], 출력 전류 300~600[A]) 를 발생시키는 전력변환장치이다. 이러한 용접전원장치는 3-레그 브리지 다이오드, 정류콘덴서, 절연형 DC/DC 컨버터로 구성되어 있으며, 절연형 DC/DC 컨버터로는 저전압 대전류에 적합한 그림 1(a)와 같은 위상천이 풀브리지 컨버터가 주로 채택되어 제품화가 되고 있다.^[1] 이렇게 제작된 용접전원장치는 AC 220/440V 계통전압 혼용이 아닌 단일 입력전압으로 개발되어왔다. 그 이유는 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이, 기존 위상천이 풀브리지 컨버터는 입력전압의 범위가 넓은 경우, 듀티 변동이 크게 되어 큰 순환전류가 존재하고, 2차측 정류단 전압스트레스가 커지는 단점이 있기 때문이다. 이에 본 논문에서는 AC 220/440V 혼용 운전이 가능한 3-레그 인버터 타입의 구조를 갖는 위상천이 풀브리지 컨버터를 제안한다. 제안 회로는 입력전압에 따른 턴 비의 변화로 인해 항상 최대 듀티로 동작하며, 1차측 전류 및 2차측 정류단 스트레스 감소시켜 항상 고효율로 동작할 수 있는 장점이 있다.

2. 제안 회로

제안 회로는 그림 2와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이, 기존의 위상천이 풀브리지 컨버터의 회로와 2차측 구조는 동일하다. 반면에 1차측에서는 스위칭 레그가 추가되었고, 입력전압 622V_{DC} 동작에서 추가된 레그의 전류 경로를 차단할 스위치

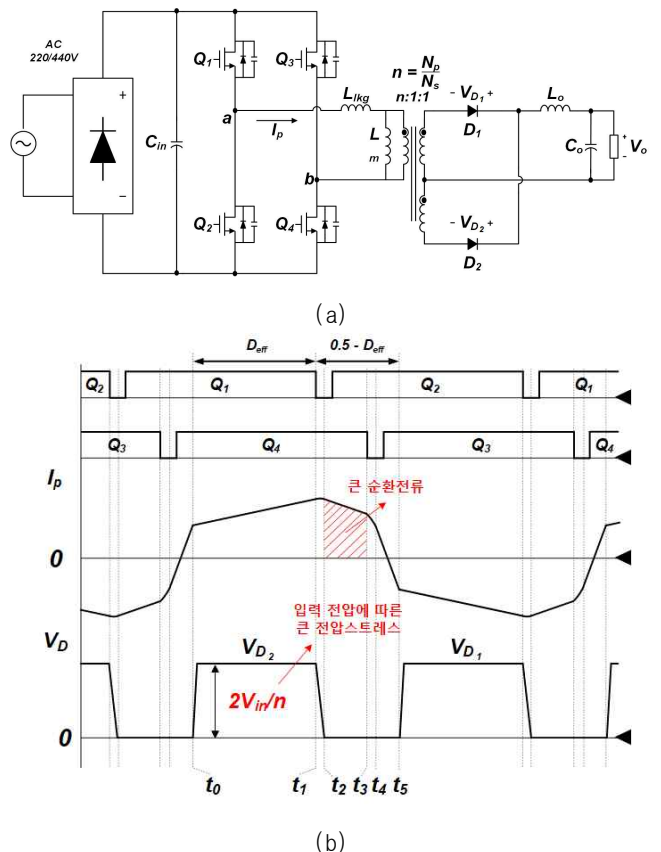


그림 1. 기존 위상천이 풀브리지 컨버터의 특징 (a) 회로 구조 (b) 주요 파형

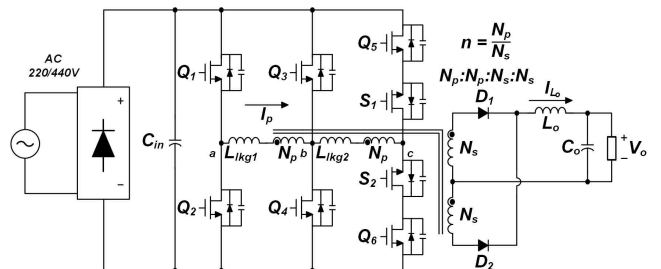


그림 2. 제안 회로

표 1 기존 회로와 제안 회로의 특징 비교

		기존 회로	제안 회로
이득식	311V _{DC}	$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2D_{eff}}{n}$	기존과 동일
	622V _{DC}		$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2D_{eff}}{2n}$
1차측 전류 스트레스 (rms)	311V _{DC}	$\frac{1}{n} \sqrt{2D_{eff}^2 I_o^2 + (1-2D_{eff})^2 I_{o,pk}^2}$	기존과 동일
	622V _{DC}		$\frac{1}{2n} \sqrt{2D_{eff}^2 I_o^2 + (1-2D_{eff})^2 I_{o,pk}^2}$
2차측 정류단 전압 스트레스	311V _{DC}	$\frac{2V_{in}}{n}$	기존과 동일
	622V _{DC}		$\frac{2V_{in}}{2n}$

S₁, S₂를 각각 Q₅와 Q₆에 직렬로 배치한다. 또한 1-레그와 2-레그 사이에 존재하는 권선 N_p와 같은 권선수로 2-레그와 3-레그 사이에 권선을 추가한다. 이러한 구조를 통해, 턴 비를 변화시킬 수 있으며, 입력전압에 상관없이 항상 듀티를 최대로 사용한다. 또한 1차측 전류스트레스 및 2차측 정류단 전압스트레스를 감소시킬 수 있다.

2.1 제안 회로의 동작원리

그림 3은 정상상태에서 입력전압 311/622V_{DC}동작일 때, 제안 회로의 주요 파형을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안 회로의 입력전압 311V_{DC}동작은 1-레그 스위치인 Q₁, Q₂와 2-레그 스위치인 Q₃, Q₄로 위상천이 풀브리지 컨버터 동작을 한다. 입력전압 622V_{DC}동작도 1-레그 스위치인 Q₁, Q₂와 3-레그 스위치인 Q₅, Q₆로 위상천이 풀브리지 컨버터 동작을 하며, 두 동작 모두 기존 회로와 동작원리는 같다.

2.2 기존 회로와 제안 회로의 특징 비교

기존 회로와 제안 회로의 이득식, 1차측 전류 및 2차측 정류단 전압스트레스는 표 1과 같으며 분석의 편의를 위해 이상적인 조건에서 수식을 도출하였다.

제안 회로의 입력전압 311V_{DC}동작은 3-레그를 제외한 1-레그와 2-레그로 이루어진다. 따라서 기존 위상천이 풀브리지 컨버터와 동작파형이 같고 턴 비가 N_p/N_s인 ab단 변압기로 전력 전달을 하게 되어 이득식이 기존과 동일하다. 따라서 1차측 전류스트레스와 2차측 정류단 전압스트레스는 기존 회로의 입력전압 311V_{DC}동작과 동일하다. 반면에 제안 회로의 입력전압 622V_{DC}동작은 2-레그를 제외한 1-레그와 3-레그로 이루어진다. 이로 인하여, 2-레그와 3-레그 사이에 추가된 권선수 N_p를 이용할 수 있고 턴 비가 2N_p/N_s로 기존보다 2배 높아진다. 그 결과, 기존 회로의 입력전압 622V_{DC}동작보다 유효 듀티가 2배 증가하게 되고 순환전류를 감소시킬 수 있다. 기존보다 2배 높은 턴 비로 인해 1차측으로 반영되는 부하 전류를 1/2배 감소시켜 1차측 전류스트레스가 작아진다. 또한, 2차측 정류단 전압스트레스가 기존보다 1/2배 감소하여 기존의 스너버 회로를 제거하거나 기존보다 작은 포워드 전압 강하 특성을 가지는 다이오드를 사용할 수 있다. 이러한 장점으로 제안 회로는 입력전압에 상관없이 듀티를 최대로 사용하며 순환전류를 감소시킬 수 있고, 입력전압 622V_{DC}동작에서 1차측 전류 및 2차측 정류단 전압스트레스 감소로 인해 기존 회로의 입력전압 622V_{DC}동작보다 고효율을 달성하며 동작을 할 수 있다.

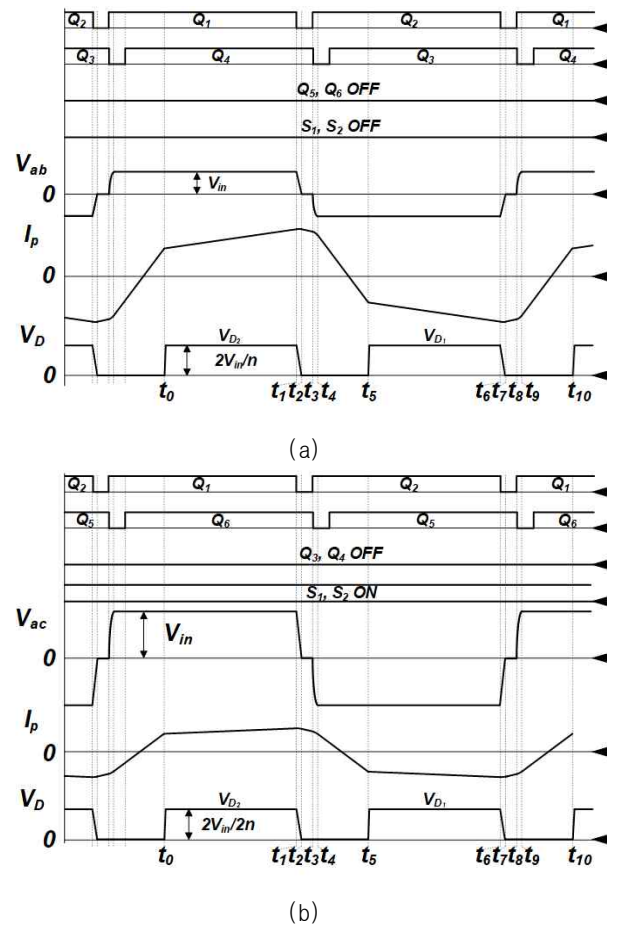
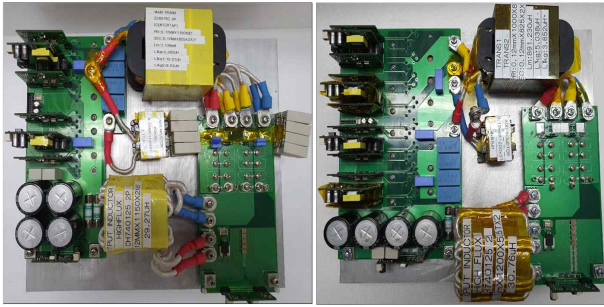


그림 3. 제안 회로의 주요 파형 (a) 입력전압 311V_{DC} 주요 파형 (a) 입력전압 622V_{DC} 주요 파형

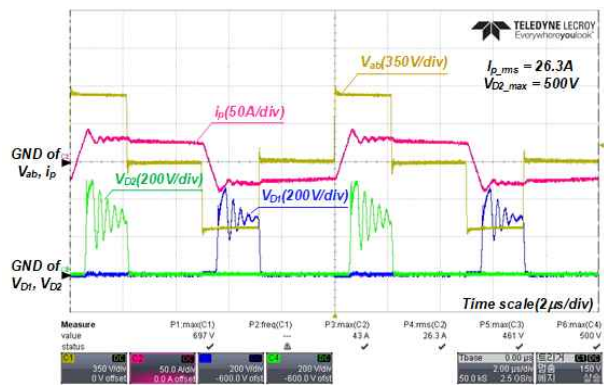
표 2 기존 회로와 제안 회로의 설계 사양

	기존 회로	제안 회로
입력전압 범위	311/622V _{DC}	
출력전압	50V	
출력 전력	6kW	
스위칭 주파수	100kHz	
스위치	SCT50N120(1200V/65A/59mΩ)	
다이오드	DFE240X600NA(600V/120A/35ns)	
변압기	EE8075C 2P	
턴 수	8 : 2 : 2	8 : 8 : 2 : 2
출력 인덕터	CH740125 2P (30uH)	

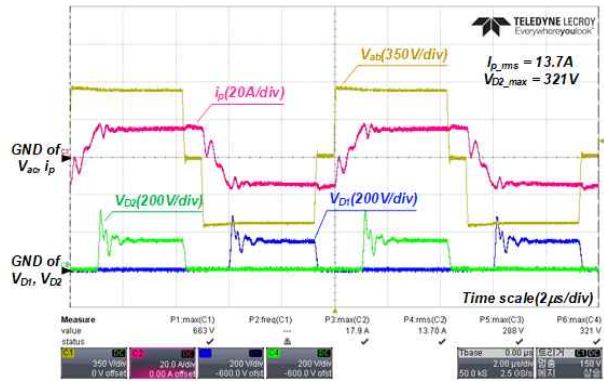


(a) (b)

그림 4. 제작된 프로토타입 컨버터들의 하드웨어 사진 (a) 기존 회로, (b) 제안 회로



(a)



(b)

그림 5. 입력전압 622V_{DC}, 풀 부하 조건에서 프로토타입 컨버터들의 주요 파형 (a) 기존 회로 (b) 제안 회로

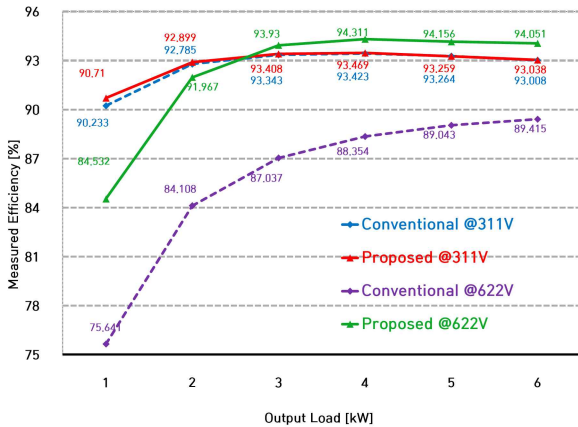


그림 6. 프로토타입 컨버터들의 부하별 측정 효율

3. 실험 결과

제안 회로의 타당성을 검증하기 위해 표 2와 같이 기존 회로와 동일 사양으로 제안 회로를 설계하였으며, 그림 4는 제작된 하드웨어 사진을 보여준다. 그림 5는 입력 622V_{DC}, 풀 부하 조건에서 프로토타입 컨버터들의 실험파형을 보여준다. 기존 위상천이 폴브리지 컨버터는 가장 낮은 입력전압에서 최대의 시비율을 갖도록 설계되어 높은 입력전압에서 최소의 시비율을 가지게 된다. 이에 순환전류가 커져 1차측에 26.3Arms의 전류스트레스를 갖고, 2차측 정류기의 전압스트레스는 500V로 높은 것을 확인할 수 있다. 하지만, 제안 회로는 높은 입력전압에서 최대의 시비율로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 턴 비가 2배 증가하여 1차측 전류스트레스가 13.7Arms로 기존대비 약 1/2배 감소한 것을 확인할 수 있다. 2차측 정류단 전압스트레스도 1/2배 감소하여 그림 4의 하드웨어 사진에서 확인할 수 있듯이 제안 회로는 2차측에 스너버 회로가 없는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 프로토타입 컨버터들의 부하별 측정 효율을 나타낸다. 그림에서 보는 것처럼 제안 회로는 스너버 손실이 존재하지 않아 입력전압 311V_{DC} 조건에서는 기존대비 동등 이상의 효율 성능을 보여준다. 입력전압 622V_{DC} 조건에서 스너버 손실 감소, 순환전류 감소에 따라 기존보다 전 구간 효율이 5% 이상의 개선 효과를 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 용접전원장치를 위한 AC 220V/440V 혼용 운전이 가능한 3-레그 인버터 타입의 위상천이 폴브리지 컨버터를 제안하였다. 입력 311/622V_{DC} 출력 50V 6kW 조건으로 설계 및 실험을 진행하여 그 타당성을 입증하였다. 제안 회로는 추가된 레그로 인해 1차측 스위치가 입력전압에 상관없이 항상 듀티를 최대로 사용하며 순환전류가 작게 된다. 또한 1차측 전류 및 2차측 정류단 전압스트레스의 감소로 인해 입력전압 622V_{DC} 조건에서 기존보다 전 구간 효율 5% 이상 개선 시킬 수 있었다. 이러한 장점으로 제안 회로는 계통입력전압에 국한되지 않고, 입력전압 범위가 넓은 어플리케이션에 적합하다고 할 수 있다.

본 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (NRF-2020R1D1A1B07048209)

참고 문헌

- [1] 권순걸, 문상필 "새로운 폴-브리지 소프트 스위칭 PWM 인버터를 이용한 용접기용 DC-DC 컨버터의 개발." 조명·전기설비학회논문지 22.6 2008, page(s): 26-33.
- [2] 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," Fifth Annual Proceedings on Applied Power Electronics Conference and Exposition, Los Angeles, CA, USA, 1990, pp. 275-284