

태양광 시스템과 계통연계를 위한 전류원형 PWM 인버터에 관한 연구

김흥성, 강필순\*, 박성준\*\*, 김철우\*  
 LG 산업, 부산대학교\*, 동명대학\*\*

Interface Circuit for Photovoltaic System Using a Current-Source PWM Inverter

Hong-Sung Kim, Feel-Soon Kang\*, Sung-Jun Park\*\*, Cheul-U Kim\*  
 LG Industrial Systems, Pusan Nat'l Univ.\*, Tong-Myung College\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 buck-boost 형태에 기초한 전류원형 PWM 인버터를 제안하고, 이를 태양광과 계통 연계를 위한 인터페이스 회로로서의 타당성을 실험을 통해 검증하였다. 제안하는 회로는 다섯 개의 스위칭 소자를 가지게 되는데, 이 중 단 하나의 스위치만이 쇼펄 동작을 수행하게 되고, 나머지 스위치들은 출력단의 정·부 방향을 결정짓는데 이용된다. 그러므로 스위칭에 의한 손실을 상당히 저감시킬 수 있다. 또한 입력단의 인덕터 전류를 전류 불연속 모드로 동작 시켜 별도의 입력 전류의 검출이 없이도 출력단을 단위 역률화 할 수 있는 장점을 가진다. 제안하는 계통 연계형 인버터에 대한 동작을 이론적으로 자세하게 분석하고 150 [W]급 시작품의 실험 결과로 이의 타당성을 검증하였다.

단지  $Q_A$  스위치만 쇼펄 동작을 수행하고, 나머지 스위치들은 계통의 극성에 따라 출력의 방향만을 결정하는데 이용된다. 따라서 스위칭에 의한 손실은 상당히 감소시킬 수 있다. 그림 1(b)에는 제안하는 전류원형 PWM 인버터의 주요 동작 파형을 도시하였다. 각 스위치의 인가 신호와 인덕터에 흐르는 전류, 출력단의 전압과 전류의 파형을 나타낸다.

1. 서 론

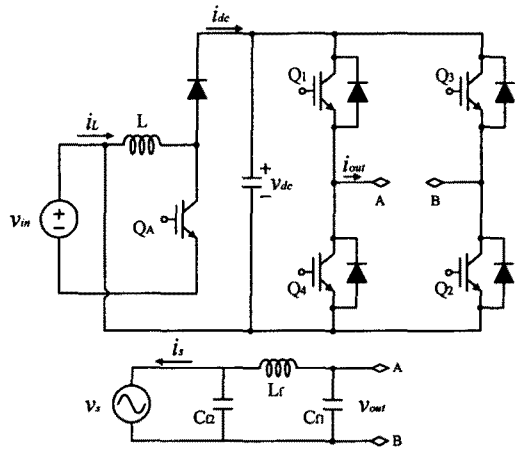
현재 전세계적으로 의존도가 가장 높은 화력과 원자력 발전은 자원의 고갈과 환경 및 안정성 등의 문제로 인해 대체 에너지에 대한 관심이 계속적으로 증가하고 있다. 그 중에서도 태양광 발전은 무한하고 청정에너지라는 관점에서 상당한 각광을 받으며, 현재에도 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 태양전지의 DC 출력을 AC 계통과 연계하기 위해서는 인터페이스 회로로 인버터가 이루어지는 태양광 발전 시스템이 필수적이다. 그래서 인버터의 저가화 및 고효율화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 인버터는 크게 전류원형과 전압원형 인버터로 구분된다. 특히 전류원형 인버터는 계통 연계시 인버터의 출력전압이 계통 전압보다 낮아도 된다는 장점을 가지며, 부하단락 및 인버터 사고시 단락에 대한 돌입전류가 없다는 장점을 가진다 [1]-[8].

본 논문에서는 새로운 전류원형 PWM 인버터를 제안하고, 이를 태양광과 계통 연계를 위한 인터페이스 회로로서의 타당성을 실험을 통해 검증하고자 한다. 제안하는 회로는 Buck-Boost 컨버터를 기본 토폴라지로서 하여 다섯 개의 스위칭 소자를 가지게 되는데, 이 중 단 하나의 스위치만이 쇼펄 동작을 수행하게 되고, 나머지 스위치들은 출력단의 정·부 방향을 결정짓는데 이용된다. 그러므로 스위칭에 의한 손실을 상당히 저감시킬 수 있는 장점을 가진다. 또한 입력단의 인덕터 전류를 전류 불연속 모드로 동작 시켜 별도의 입력 전류의 검출이 없이도 출력단을 단위 역률화 할 수 있는 장점을 가진다. 제안하는 계통 연계형 인버터에 대한 동작을 이론적 분석과 150 [W]급 시작품의 실험 결과로 타당성을 검증하였다.

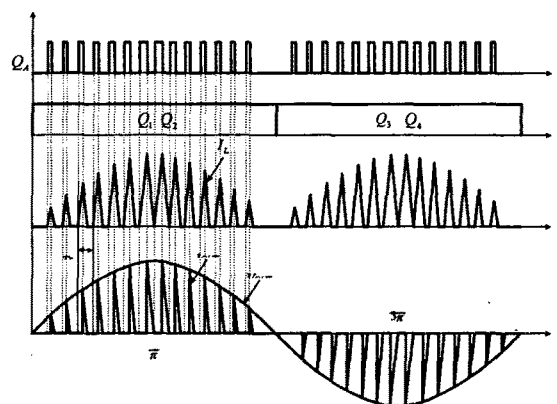
2. 제안하는 전류원형 PWM 인버터

2.1 회로의 구성 및 동작

그림 1(a)는 태양광 연계를 위한 인터페이스 회로로서 이용될 수 있는 제안하는 전류원형 PWM 인버터의 구조를 나타낸다. 제안하는 회로는 다섯 개의 스위치와 하나의 인덕터 그리고 출력단의 LC 필터를 포함한다.



(a)



(b)

그림 1. 제안하는 전류원형 PWM 인버터와 주요파형  
 (a) 회로의 구성 (b) 주요 파형

제안하는 인버터는 계통의 전압 극성에 따라 각각 세 부분으로 이루어지는 동작모드를 가진다. 그림 2는 그림 1(b)의 확대한 파형을 나타낸다. 각 모드별 동작의 설

명을 용이하게 하기 위해서 출력이 정(positive)인 경우만을 고려하고 모든 회로의 구성 인자들은 이상적이라고 가정한다. 또한 태양전지의 입력은 일정한 DC 전압으로 가정하고 부하는 순수 저항 성분으로 가정한다.

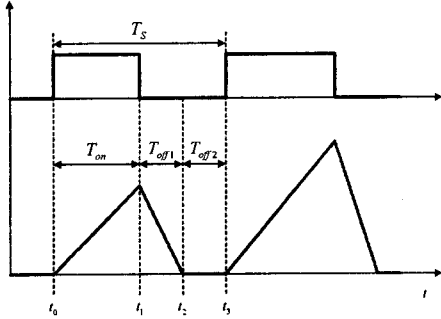


그림 2. Q<sub>A</sub> 신호에 따른 인덕터 전류 파형

모드 1 이전에는 인덕터를 통해서 흐르는 전류는 제로이고 정 극성의 출력을 생성하기 위해 스위치 Q<sub>1</sub>과 Q<sub>2</sub>가 턴-온 상태로 유지된다.

모드 1(t<sub>0</sub>-t<sub>1</sub>): t<sub>0</sub>에서 스위치 Q<sub>A</sub>가 턴-온 되고 다이오드 D<sub>A</sub>는 역 바이어스가 인가되어 턴-오프 된다. 따라서 인덕터 전류는 식 (1)의 기울기를 가지고 선형적으로 증가하기 시작한다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_{in}}{L} \quad (1)$$

스위치의 온 구간 T<sub>on</sub>동안 인덕터 전류는 식 (2)의 값을 가지게 된다.

$$I_{Lpeak} = \frac{v_{in} T_{on}}{L} \quad (2)$$

그러므로 이 구간 동안 인덕터에 저장되는 에너지는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} L I_{Lpeak}^2 \quad (3)$$

모드 2 (t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>): t<sub>1</sub>에서 스위치 Q<sub>A</sub>가 턴-오프 되면 인덕터가 소스로 동작하게 된다. 따라서 I<sub>Lpeak</sub> 전류가 출력으로 흐르게 된다. 이전의 모드 1 동안 인덕터에 저장된 모든 에너지가 부하로 전달된다. Q<sub>A</sub>가 턴-오프 되었을 때 인덕터 전류는 입력 소스를 통해서 흐르지 않으므로 출력단으로 전달되는 에너지는 식 (4)에 의해서 정의될 수 있다.

$$P = \frac{L I_{Lpeak}^2}{2 T_s} \quad (4)$$

손실이 없다고 가정하고 출력단의 부하저항 R<sub>o</sub>를 고려하면 출력 전력은 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R_o} = \frac{L I_{Lpeak}^2}{2 T_s} \quad (5)$$

모드 3 (t<sub>2</sub>-t<sub>3</sub>): 스위치 Q<sub>A</sub>가 턴-오프 된 상태로 유

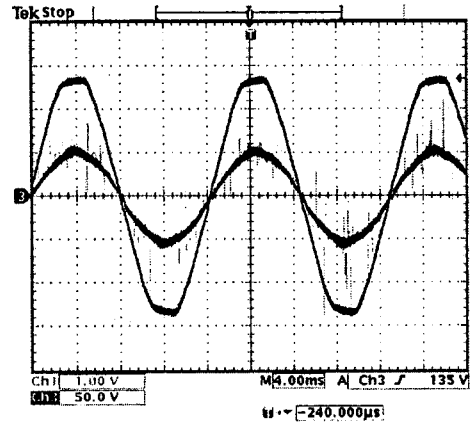
지되고, 입력단에서 출력으로 에너지의 전달도 없는 구간이다. 입력 인덕터에 흐르는 전류가 불연속으로 동작하기 때문에 연속적인 출력전류를 계통에 공급하기 위해서는 계통과 인터페이스 회로 사이에 LC 필터가 요구되어진다.

## 2.2 실험 결과

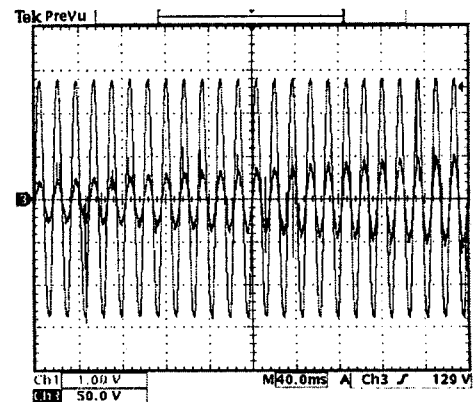
제안하는 전류원형 PWM 인버터가 계통 연계를 위한 인터페이스 회로로서의 타당성을 검증하기 위하여 150 [W]급의 시제품을 설계하였다. Q<sub>A</sub>의 스위칭 주파수는 10 [kHz]로 선정하였으며, 극성을 결정하는 스위치의 데드타임은 5 [μs]로 설정하였다. 전체 시스템의 제어는 마이크로프로세서 TMS320F241을 이용하였다. 회로의 주요 파라메타 값은 표 1에 나타낸다. 그림 3(a)는 계통 전압과 태양 전지로부터 인버터를 거쳐 인가되는 전류의 파형을 나타낸다. 전압과 전류의 파형으로부터 동위상과 높은 역률을 가짐을 확인할 수 있다.

표 1 회로 정수

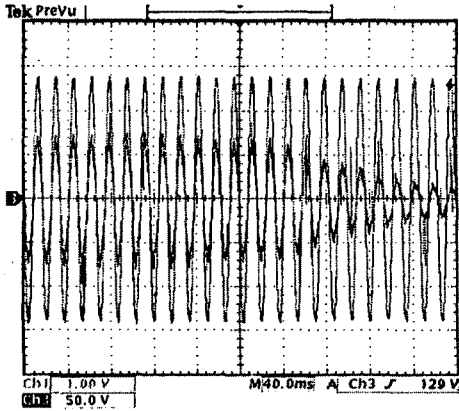
Symbol	Value or Type	Symbol	Value or Type
Q <sub>A</sub>	2SK2198	LF	3 [mH]
Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub>	IRF830	CF <sub>1</sub>	300 [nF]
D <sub>A</sub>	RF607	CF <sub>2</sub>	300 [nF]
C <sub>dc</sub>	10 [nF]	V <sub>in</sub>	DC 51 [V]
L	300 [μH]	V <sub>s</sub>	AC 100 [V]



(a)



(b)



(c)

그림 3. 실험 파형 (a) 계통전압과 출력 전류  
(b)(c) 입사각의 변화에 따른 계통 전압과 인가 전류

그림 3(b)는 입사각이 최소 출력점에서 최대 출력점으로 변화할 경우의 계통전압과 출력전류를 나타낸다. 인가되는 전류의 크기만 변하고 항상 동위상과 정현적인 출력전류의 형태를 보임을 확인할 수 있다. 반대로 그림 3(c)는 입사각이 최대 출력점에서 최소 출력점으로 변화할 경우의 특성을 나타낸다. 그림 3(b)의 경우와 동일하게 높은 역률을 보임을 확인할 수 있다. 제안하는 전류원형 PWM 인버터는 입력 인덕터의 전류가 불연속으로 동작하므로 별도의 전류 검출기 없이 정현적인 전류를 얻을 수 있는 장점을 가진다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전류원형 PWM 인버터를 제안하고, 이를 태양광과 계통 연계를 위한 인터페이스 회로로서의 타당성을 실험을 통해 검증하였다. 제안하는 회로는 buck-boost 토폴라지에 기초를 두고 다섯 개의 스위칭 소자를 가지게 되는데, 이 중 단 하나의 스위치만이 초핑 동작을 수행하게 되고, 나머지 스위치들은 출력단의 정, 부 방향을 결정짓는데 이용된다. 그러므로 스위칭에 의한 손실을 상당히 저감시킬 수 있다. 또한 입력단의 인덕터 전류를 전류 불연속 모드로 동작 시켜 별도의 입력 전류의 검출이 없이도 출력단을 단위 역률화 할 수 있는 장점을 가진다. 제안하는 계통 연계형 인버터에 대한 동작을 이론적으로 자세히 분석하고 150 [W]급 시제품의 실험 결과로 이의 타당성과 실용화 가능성을 검증하였다.

### [참 고 문 헌]

[1] Michihiko Nagao, and Koosuke Harada, "Power Flow of Photovoltaic System using Buck-Boost PWM Power Inverter", IEEE/PEDS, pp.144-149, 1997.  
 [2] Johanna M. A. Myrzlk, "Novel Inverter Topologies for Single-Phase Stand-Alone or Grid-Connected Photovoltaic Systems", IEEE/PEDS, pp.103-108, 2001.  
 [3] 이승환 외 6인, "PWM 초퍼와 전류원형 인버터를 이용한 계통 연계형 태양광발전시스템", 전력전자학회지, 제3권, 제4호, pp.323-329, 1998년 12월.  
 [4] 정영석 외 4인, "태양광·풍력 복합발전용 PCS시스템 제어 특성분석", 전력전자학회지, 제5권, 제1호, pp.19-25, 2000년 2월.  
 [5] B. K. Bose et al, "Microcomputer Control of a

Residential Photovoltaic Power Conditioning System", IEEE Trans. On Industry Application, IA-215, pp.1182-1191, 1985.  
 [6] H. Watanable et al, "A Novel Unity Interactive Photovoltaic Inverter", IEEE/IECON98, Vol. 2, pp. 721-725, 1998.  
 [7] S. Nonaka, "A Novel Three-Phase Sinusoidal PWM Voltage Source Inverter and its Application for Photovoltaic Power Generation System", IEEE/PCC97, pp. 755-761, 1997.  
 [8] G. Keller et al, "Module Orientated Photovoltaic Inverters A Comparison of Different Circuits", IEEE/WCPEC94, pp.929-932, 1994.  
 [9] Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, Inc., 1991.  
 [10] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: converters, applications, and design, John Wiley & Sons, Inc., 1995.  
 [11] B. K. Bose, Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications, IEEE Press, 1997.