

태양전지의 계통연계를 위한 소프트스위칭 전류원 인버터

최영도, 박상호, 김희중*, 한병문
명지대학교

Soft-switching Current Source Inverter for Interconnection of Solar Cell with Power System

Young-Do Choy, Sang-Ho Park, Hee-Joong Kim*, Byung-Moon Han
Myongji University

Abstract - This paper proposes a soft-switching current-source inverter with a switched-capacitor module. The system operation was analyzed by a theoretical approach with equivalent circuits and verified by a computer simulation and experiment. The proposed system could be effectively applied for the power converter of photovoltaic power generation interconnected with the power system.

1. 서 론

최근 대체 에너지개발과 관련하여 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 대체 에너지 중에서도 공해가 없으며 공급의 안정도 및 건설장소의 어려움이 가장 좋은 태양에너지를 이용하는 태양광 발전 시스템이 각광받고 있는 실정이다. 태양광을 이용하는 태양전지의 출력 특성은 직류이므로 계통과 연계하기 위해서는 인버터를 사용해서 직류를 교류로 변환하는 전력변환기가 필수이다[1,2]. 인버터는 전압형과 전류형으로 크게 분류하며, 전류형 인버터는 직류전류를 일정하게 하기 위해서 큰 직류리액터를 필요로 하는 단점이 있으나, 전류형 인버터를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템은 다음과 같은 장점이 있다.

- (1) 부하단락, 인버터 사고시의 단락에 대한 돌입전류의 걱정이 없다.
- (2) 태양전지의 출력특성은 전형적인 전압수하특성이고, 단락시에 단락전류는 최적전류값의 1.1~1.3배 정도에 지나지 않는다. 태양전지 자체가 전류제한기의 기능을 갖고, 전류형 인버터에서는 이것을 활용할 수 있기 때문에 안정성 면에서도 상당히 유리하다.
- (3) 전압형에서는 단락방지를 위해서 게이트 신호간에 데드타임이 필요하지만, 전류형에서는 필요가 없다.
- (4) 계통과 연계하기 위해서 인버터의 출력전압을 계통 전압 보다 높게 하지 않아도 된다.

이와 같은 장점을 살려 최근 전류원인버터에 소프트스위칭회로를 부착하여 스위칭손실을 절감하는 연구가 몇몇 연구자에 의해 수행된적이 있다[3]. 본 논문은 이점에 착안하여 소프트스위칭회로를 부착하여 소자의 스위칭시 발생하는 손실을 줄이고 소자의 스트레스를 경감시키는 전류원 PWM 인버터를 제안한다. 제안하는 계통연계형 전류원 인버터는 인버터의 스위칭손실이 낮아 전류원 방식의 리액터 손실이 큰 단점을 보완 가능할 것으로 보이며 전압원 방식과 효율면에서 경쟁력이 있을 것으로 기대된다.

2. 본 론

2.1 소프트스위칭 전류원 인버터

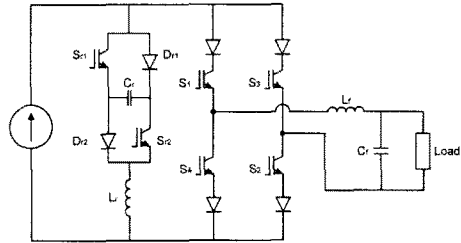


그림 1 소프트 스위칭 전류원 인버터
Fig. 1 Soft-switching current source inverter

소프트 스위칭 전류원 인버터는 그림 1에 나타난 바와 같이 입력전원을 전류원으로 동작시키기 위한 직류리액터 L_s 와 소프트 스위칭을 하기 위한 커뮤테이션회로, 그리고 풀브릿지 인버터로 구성된 구조를 가지고 있다. 인버터는 풀브릿지 형태의 스위치 ($S_1 \sim S_4$)로 구성되어 있고 각각의 스위치에는 역전류를 방지하기 위해서 직렬로 다이오드가 부착되어 있다. 커뮤테이션 회로에는 공진 리액터 L_r 과 공진 캐패시터 C_r , 그리고 스위치 S_{r1} , S_{r2} 와 다이오드 D_{r1} , D_{r2} 로 구성되어 있다.

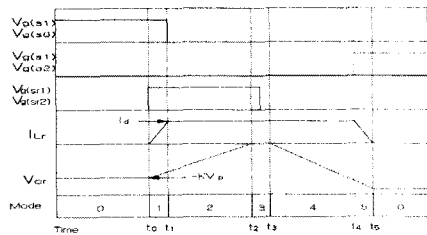


그림 2. 커뮤테이션 동작파형
Fig. 2 Operating waveforms of the commutation circuit

그림 2는 스위치 타이밍 순서도와 공진 인덕터 전류 (I_{Lr}), 공진 캐패시터 전압 (V_{Cr})의 동작파형을 나타낸다.

▷ Mode 0 - 초기상태

초기상태에서 전류는 인버터 회로의 스위치 S_1 과 S_2 을 통해서 흐르고 공진 캐패시터 C_r 은 $-KV_p$ 로 충전

되어있다. V_p 는 전원에서의 선간 피크전압이다.

▷ Mode 1- 전류 이동 모드 ($t_0 < t < t_1$)

커뮤테이션 회로 스위치 S_{r1} , S_{r2} 가 영전류상태에서 턴 온되고 전류 I_{Lr} 는 점차 증가하여 I_d 까지 증가되며, 이때 인버터 회로 스위치 S_2 는 영전류상태가 되고 그 순간 S_2 를 턴오프시킨다.

▷ Mode 2 - 공진캐패시터 방전 모드($t_1 < t < t_2$)

이 모드에서는 I_d 는 에너지저장 리액터와 커뮤테이션 회로의 S_{r1}, C_r, S_{r2} 로 흐르게 되며 C_r 이 방전 될때까지 이루어진다.

▷ Mode 3 - 프리윙링 모드($t_2 < t < t_3$)

전류는 S_{r1} , D_{r1} 과 S_{r2} , D_{r2} 을 통해 흐르며 공진 캐패시터의 전압은 0이 된다.

▷ Mode 4 - 공진 캐패시터 충전 모드($t_3 < t < t_4$)

커뮤테이션 회로의 스위치 S_{r1} 과 S_{r2} 는 ZVS상태에서 턴오프되고 전류는 D_{r1} , C_r 과 D_{r2} 로 흐르게 되며 그 결과 C_r 이 충전된다.

▷ Mode 5 - 전류 이동 모드($t_4 < t < t_5$)

공진캐패시터가 $-KV_p$ 로 충전되었을 때 인버터 회로 스위치 S_3 과 S_4 는 ZCS상태에서 턴온하게 된다. 이후에는 커뮤테이션회로는 차단되며 전류원인버터만이 동작하게 된다.

2.2 스위칭 패턴

반도체 스위칭 소자의 온, 오프를 제어하는 스위칭 패턴은 인버터 출력전압의 고조파를 결정할 뿐만 아니라 직류리액터에 흐르는 전류의 고조파 성분에도 직접적인 영향을 미친다. 일반적으로 스위칭 주파수가 높으면 고조파 성분을 줄일 수 있다. 교류반주기 동안 하나의 스위칭 소자에 공급되는 PWM의 펄스의 수는 소자의 스위칭 속도 뿐만 아니라 커뮤테이션 회로의 공진주파수에 따라 임의로 결정된다.

출력전류를 형성하는 정현파를 만들기 위해서 전류원 인버터 PWM은 신호파로서 기준파와 스위칭 소자 $S_1 \sim S_4$ 를 스위칭하는 PWM 패턴을 결정하기 위한 캐리어 신호로서 고주파수 톱니파형을 비교한다. S_1 과 S_3 에 공급되는 펄스는 반주기 온 상태를 유지시키도록 구형파 제어를 하고 S_4 에 공급되는 펄스는 정현파를 전파시킨 기준파와 톱니파를 비교하는 제어를 수행하는데 여기서 반주기 동안은 기준파가 톱니파보다 클 때 펄스가 생성이 되고 나머지 반주기 동안은 톱니파가 기준파보다 클 때 펄스가 생성이 되도록 제어한다.

2.3 시뮬레이션

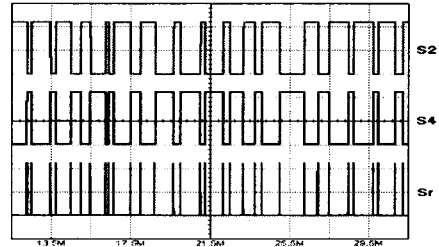
톱니파 PWM 제어기법을 적용한 소프트스위칭 전류원인버터의 동작을 검증하기 위해 Is-Spice에 의한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션모형의 전력회로는 그림 1에 보인 것과 동일하게 구성하였다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 표1과 같다.

표1. 시뮬레이션 파라미터

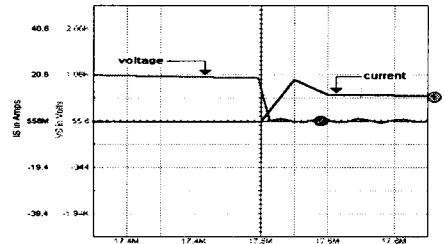
Table 1. Parameter of simulation

	회로정수
필터 (C_f)	50 μ F
공진리액터 (L_r)	10 μ H
공진캐패시터 (C_r)	0.05 μ H
직류리액터 (L_{dk})	100 mH

그림 3은 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 기준파와 캐리어파에 의해서 생성된 PWM 펄스와 공진 스위치에 공급되는 게이트 펄스를 나타낸 것이다. 스위치 S_1 과 S_3 에 공급되는 게이트 펄스는 반주기 동안 온 상태를 유지하도록 구형파 제어를 수행한다. 그림 3(b)는 인버터 스위치 턴온시의 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다. 영전류 상태에서 턴온이 되는 것을 볼 수가 있다. 그림 3(c)는 소프트 스위칭 전류원 인버터의 출력 전압과 전류파형을 나타낸 것이다.



(a) 게이트 펄스



(b) 스위치 온시 전압, 전류

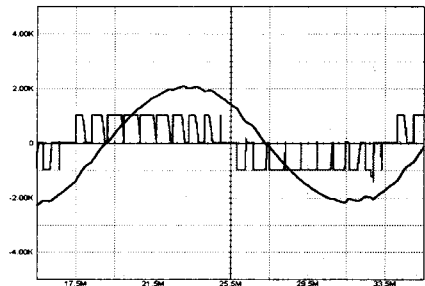


그림 3. 시뮬레이션 결과

Fig. 3 Simulation results

2.4 실험결과

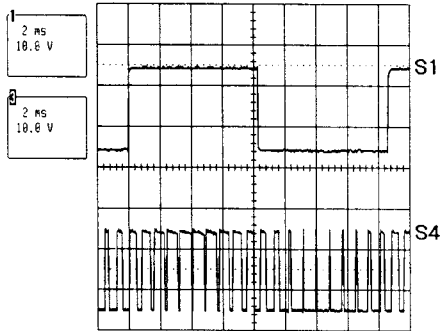
본 논문에서 제안한 소프트스위칭 전류원 인버터의 동작과 특성을 파악하기 위해 축소모형을 제작하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 회로정수는 표 2에 나타내었다.

표2. 실험 회로정수

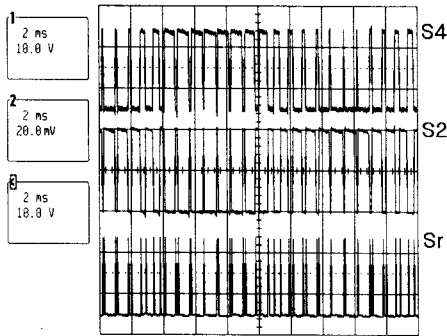
Table 2. Parameter of experimet

	회로정수
필터 (C_f)	50 μ F
공진리액터 (L_r)	10 μ H
공진캐패시터 (C_r)	0.1 μ H
직류리액터 (L_{dk})	250 mH

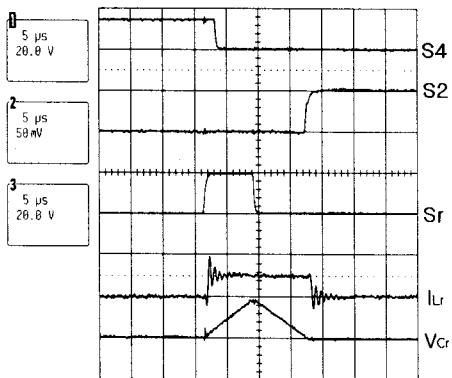
그림 4는 실험결과를 나타내고 있다. 그림 4(a)는 본 실험에서 사용된 주 스위치의 펄스형태를 나타낸다. 스위치 S1과 S3에는 반주기 구형파 형태의 펄스가 공급되며, 스위치 S2와 S4에는 PWM 펄스가 공급됨을 볼 수 있다. 그림 4(b)는 스위치 S2와 S4, 공진펄스 Sr을 나타내고 있다. 그림 4(c)는 그림 2에서 보여준 커뮤테이션 동작과형과 일치함을 볼 수 있다. 그림 4(d)는 전류원 인버터의 주스위치가 턴온시 전압과 전류파형을 나타내고 있다. 턴온시 시뮬레이션과 동일한 형태의 영 전류 스위칭을 하고 있음을 볼 수 있다. 그림 4(d)는 전류원 인버터의 출력전압과 전류를 나타낸다.



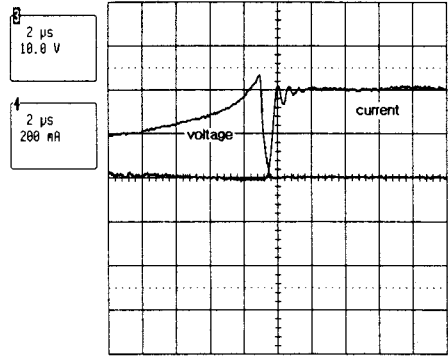
(a) 주스위치 펄스



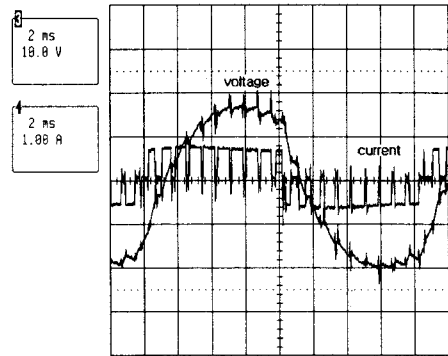
(b) 주스위치와 공진펄스



(c) 커뮤테이션 동작과형



(d) 스위치 온시 전압, 전류



(e) 출력전압, 전류

그림 4. 실험 결과
Fig. 4 Experiment results

3. 결 론

본 논문에서는 캐패시터 스위칭방식 소프트스위칭 전류원인버터를 제안하고 그 특성을 이론적인 접근과 ISPIC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션으로 분석하였다. 제안하는 시스템은 기존의 하드스위칭 전력변환기에 비해 스위칭손실이 적어 전력계통과 연계된 태양광발전 에 효과적으로 활용 가능할 것으로 보인다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y.Konoshi, E.Hiraki, Y.Matsumoto, Y.L.Feng and M.Nakaoka, "Current-Fed Three-Phase Converter and Voltage-Fed Three-Phase Converter using Optimum PWM Pattern and Their Performance Evaluation", Conf. Rec. of IEEE EPE-Annual Meeting, pp. 2893-2900, 1997
- [2] Gerry Moschopoulos and Geza Joos, "A Novel Soft-Switched PWM Current Source Rectifier/Inverter", Conf. Rec. of IEEE PESC-Annual Meeting, pp. 573-579, 1997
- [3] K.Hirachi, K.Maysumoto, "Harmonic Current Reduction Control Scheme Single-phase Current Source-Fed PWM Inverter and Its PV System Application", Proc. PEMC'98, No.7, pp. 59-64, 1998