

## 승강압초파와 부분공진 인버터를 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템

고강훈, 이현우, 김영철\*, 정명웅\*\*, 홍두성\*\*\*  
경남대학교, 쌍용중공업\*, 한국에너지 기술연구소\*\*, 창원시청\*\*\*

### Utility interactive PV system using buck-boost chopper and partial resonant Inverter

K.H.Koh, H.W.Lee, Y.C.Kim\*, M.W.Jung\*\*, D.S.Hong\*\*\*  
Kyungnam Univ., Ssangyong Heavy industries\*, KIER\*\*, Changwon city Hall\*\*\*

#### Abstract

In a utility interactive photovoltaic system, a PWM inverter is used for the connection between the photovoltaic arrays and the utility. The DC current becomes pulsated when the conventional inverter system operates in the continuous current mode and DC current pulsation causes the distortion of the AC current waveform. This paper presents the reduced pulsation of DC input current by operating the inverter with buck-boost chopper in the discontinuous conduction mode. The DC current which contains harmonics component is analyzed by means of separating into two terms of a ripple component and a direct component. The constant DC current without pulsation is supplied from photovoltaic array to the inverter. The proposes inverter system provide a sinusoidal AC current for domestic loads and the utility line with unity power factor.

#### 1. 서 론

현재 전세계적으로 화석에너지 의존도와 환경오염, 공해문제를 줄이기 위한 Clean Energy사업이 점차 확대되고 있다. 미국은 72년 National Photovoltaic program, 91년 Photovoltaic program plan으로서 태양광발전이 추진되고 있으며, 일본은 74년 Sunshine project, 80년 신에너지 산업기술 종합 개발기구(NEDO)에서 2010년까지 전국으로 보급, 확대계획을 수립하였다. 유럽은 75년부터 시작, 89년 Non-Nuclear Energy program계획이 추진 중에 있다. 발전시스템의 형태는 80년대 독립형에서 90년대 연계형을 위주로 보급이 확대되고 있다. 태양전지에 있어서는 단결정 Si에서 다결정 Si, 일부 비정질 재료를 사용하고

있다. 국내에 있어서 연계형 인버터 시스템에 대한 연구는 90년대부터이며, 이전에는 독립형으로 도서지역이나, 산간벽지, 가로등 전원으로 시범 설치 시공 운영되고 있다. 연계형 관련 법규는 '99년 한국전기연구소에서 제정 작업 중에 있다. 태양광발전 인버터는 태양전지의 직류 입력 변동과는 무관하게 정격 출력을 낼 수 있어야 하며, 계통과 연계 협조와 성능 향상을 위하여 출력 고조파를 제거하여야 한다. 일반 가정에 설치시 장기간 연속 사용시 성능 변화가 없어야 한다는 조건이 있다. 기존의 단상 인버터 시스템을 이용한 태양광 발전 시스템에서는 교류순시전력의 변동에 기인하여 직류측 전압과 전류가 전원의 2배 주파수로 맥동하고 이로 인해 교류출력전력의 왜형이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 공진형 전력변환기를 이용하여 스트레스 손실 및 왜형을 감소시키고 있다. 공진형 전력 변환기는 스위칭 주파수를 고조파화 함으로서 스위칭 손실의 증가와 EMI가 발생하게 되므로, LC공진회로를 사용하게 된다. 또한 상용계통과 태양전지를 절연하기 위해 사용되는 상용 트랜스는 소형·정량화 요구에 적합하지 못한 시스템이다. 이 논문에서는 트랜스레스방식으로 DC부에 부분공진 기법을 적용한 승강압 초파를 PWM제어 인버터와 결합하여 이러한 문제점을 개선하고자 한다.

#### 2. 태양광 발전

##### 2.1 태양전지의 종류

###### 가. 단결정 규소 태양전지

- 1) 동종 접합 태양전지 : 보통의 규소 태양전지
- 2) 금속-반도체 이종 접합 태양전지 : 실용화 어려우나, MIS형, SIS형으로 할 경우 또는 비정질 규소를 사용할 경우 유망한 태양전지이다.

###### 나. 다결정 규소 태양전지

무수히 많은 단결정 알갱이로 이루어 졌으며, 결정립의 크기와 질이 태양전지의 성능을 결정한다.

다. 비정질 규소 태양전지

캐리어 이동도가 낮고 재결합 속도를 빠르게 하기 위해 광흡수층을 얇게 할 수 있다.

1) 계량된 비정질 규소 태양전지

- SiC전지 : 효율 大, 개방전압 높음
- MIS전지 : 개방전압 大, 효율&신뢰성 낮음(특수용)
- n-i-p전지 : 효율 大, 개방전압 小
- 적층전지 : 대규모발전용

라. 기타 태양전지

- 1) 단결정 GaAs 태양전지 : 광흡수율 크므로 효율이 높다. 비싼 Ga소재 사용으로 전지가 클 필요가 없고 고효율이 요구되는 집광형 시스템에 적합
- 2) 기타 화합물 박막 태양전지
  - CuInSe2, CdTe, Zn3P2

2.2 태양광 발전 시스템

가. 독립형 시스템

주택 및 무인 등대, 무인 중계소, 인공 위성 등과 기존의 전력 계통으로부터 전력을 공급받기 어려운 지역 특히 낙도나 산간 벽지 등에 전력을 공급하는데 필요한 시스템이다. 독립형 인버터의 경우 인버터 자체의 제어 및 구동에 필요한 전력을 태양 전지의 출력인 직류(DC)입력에서 취하여야 한다. 따라서 별개의 DC-DC변환기가 내장되는 형태이다.

나. 연계형 시스템

평상시는 태양광 발전시스템과 상용전원이 전기적으로 분리되어 있어 태양광 발전 전력이 부족한 경우에만 부하는 태양광 발전에서 분리되고 상업용 계통측으로 전환되는 시스템이다.

2.3 태양광 발전 시스템 제어

태양전지는 자체가 전류제한 기능을 보유하고 있다. 태양전지의 이러한 성질은 전류형 인버터의 특성과 잘 맞고 양자를 조합한 시스템이 연구되고 있다. 그러나 전류형 인버터는 큰 평활용 리액터를 필요로 하며, 스위치소자에 역저지 능력이 필요한 것 때문에 실용화에는 전압형 인버터가 주로 사용된다. 전압형 인버터에는 출력전압을 제어대상으로 하는 전압제어 방법과 출력전류를 제어대상으로 하는 전류제어방법이 있다. 전압제어는 확실한 정전검출이 전류제어보다 어렵고, 연계 리액터가 커지는 단점이 때문에 주로 전류제어방법을 택하고 있다.

2.4 시스템 구성

계통과 연계하는 태양광발전시스템은 직류측 전압을 일정하게 유지하고, 교류측 고조파제거를 위하여 전압형 전류제어 시스템을 사용하고 있다. 그림 1은 계통과 연계하기 위한 승강압 초퍼를 이용한 태양광

발전시스템을 나타내었다. 시스템구성은 태양전지, 승강압초퍼, 인버터, 인버터 출력전압을 정현파화하기 위한 저역통과필터  $L_f, C_f$ , 부하, 계통으로 되어 있다. 강압시 스위치  $Q_1, Q_2$ , 승압시  $Q_3, Q_4$ 가 시비를 일정으로 같은 주파수로 스위칭 한다. 스위치,  $Q_1, Q_2$ 가 온·오프되고  $Q_3, Q_4$ 가 오프되면 강압동작을, 스위치,  $Q_1, Q_2$ 가 온되고  $Q_3, Q_4$ 가 온·오프되면 승압동작을 함으로서 정전력을 공급한다. 인버터부는 스위치  $S_1 \sim S_4$ 로 이루어진 단상 브리지회로로 스위치  $S_1, S_2$ 는 입력신호  $v_i$ 의 정의 반주기 동안 PWM스위칭 동작을 하며 부의 반 주기는 휴지하는 기간으로 되어 있다. 스위치  $S_3, S_4$ 는 입력신호  $v_i$ 의 반주기 뒤진 정의 반주기동안 PWM스위칭 동작을 하며, 부의 반주기는 휴지하는 기간으로 되어 있다.

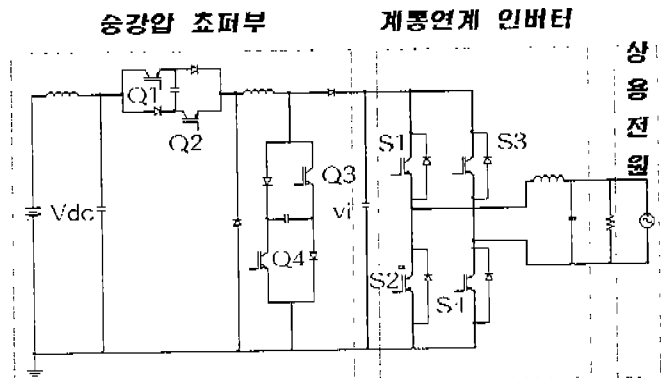


그림 1 승강압초퍼를 이용한 태양광발전시스템  
Fig. 1 photovoltaic system using buck-boost chopper

계통전압  $e_u$ 는

$$e_u = \sqrt{2} V_u \sin \omega t \quad (1)$$

출력전류  $i_0$ 는

$$i_0 = \sqrt{2} I_0 \sin \omega t \quad (2)$$

순시전력  $P_u$ 는

$$P_u = V_u I_0 (1 - \cos 2\omega t) \quad (3)$$

계통전압  $e_u$ 와 동상의 신호  $v_i$ 로 PWM 제어하면 계통전압과 동상의 전류  $i_0$ 가 얻어진다. 즉, 단위역률로 부하와 계통에 전력을 전송하는 것이 가능하다. 그러나 식(3)에서와 같이 순시출력전력에는 상용전원 주파수의 우수배 리플성분이 포함되어 있다. 이러한 교류순시전력의 변동에 기인하여 직류측 전압과 전류가 전원의 2배 주파수로 맥동하게 된다. 이러한 리플성분을 저감하기 위하여 인덕터에 흐르는 전류를 불연속으로 제어함으로써 입력역률 개선 및 회로손실을 최소화할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 및 실험

제안한 태양광 발전시스템에 대한 특성을 확인하기 위해 시뮬레이션 및 실험을 행하였다. 실험에 앞서 시뮬레이션을 통하여 시스템의 회로 특성을 살펴보기로 하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용한 파라메타 값이다.

태양전지입력전압 $V_{dc}$	DC320[V]
공진용 리액터 $L_d$	65[uH]
공진용 콘덴서 $C_d$	100[nF]
정현파 입력신호 $f_i$	60[Hz]
삼각파 캐리어 신호 $f_c$	1.08k[Hz]
출력측 필터 리액터 $L_f$	3.5[mH]
출력측 필터 콘덴서 $C_f$	15[uF]
저항부하 $R_d$	100[Ω]

표 1 시뮬레이션 조건  
Table 1 condition of Simulation

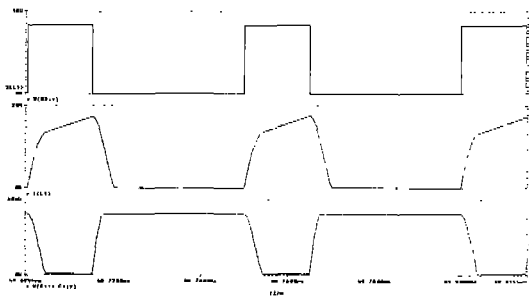


그림 2 제어신호와 동작파형

Fig 2. Waveforms of control signal and control circuit

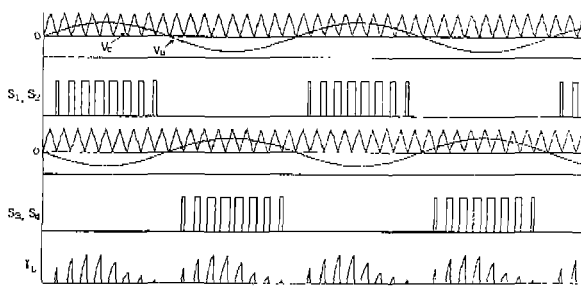


그림 3 인버터부의 제어신호와 전류파형

Fig. 3 Control signals and current waveform of Part of inverter

그림 2는 승강압 효퍼부 스위치에 걸리는 전압과 전류를 나타낸 것이다. ZCS와 ZVS동작하므로 고주파 동작시 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 그림 3은 인버터부의 스위칭소자에 정현파 입력전압과 삼각파 캐리어 신호에 의해 만들어진 PWM파형과 전류파형을

나타낸 것이다. 그림 4는 입력신호  $v_i$ 와 직류입력 전류  $I_d$ , 콘덴서  $C_d$  전압  $e_d$ , 인버터 출력전류  $I_o$ , 출력 전압  $v_o$ 의 파형이다. 직류전류  $I_d$ 는 식 (3)에서와 같이 입력신호의 2배의 주파수로 맥동하고 있으며, 맥동으로 인한 인버터 출력전류 또한 왜곡된 파형으로 나타났다. 인버터 출력전압, 출력전류는 입력신호와 동상의 출력파형으로 계통과 연계시 위상 지연이 나타나지 않았다. 인버터 입력전압  $e_d$ 는 일정한 직류 전압으로 인버터에 안정된 전원을 공급함을 알 수 있다. 출력전압, 전류파형은 입력신호와 동위상으로 90도를 1로 출력되고 있으며, 따라서 계통과 연계시 인버터 출력전력과 계통전력의 상지연이 생기지 않으며 역률 1을 유지하여 부하에 전력을 공급하고 있다. 그림 5는 실험을 통한 직류전압 파형을 나타낸다. 그림 (a)는 무부하시 직류전압이 전원전압 주파수의 2배의 주파수로 맥동하고 있으며, 맥동분은 약 3%임을 나타내고 있으나 그림(b)는 맥동분이 약 5%로 증가하여 나타나고 있다. 즉, 무부하시와 부하시의 전원 전압 영향이 달리 나타났으나, 계통과 연계시 제한하는 맥동을 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

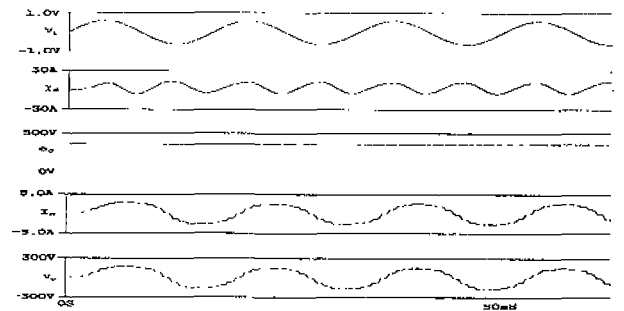
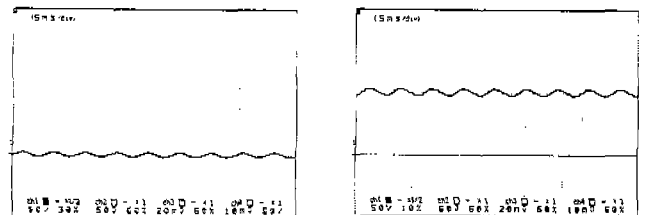


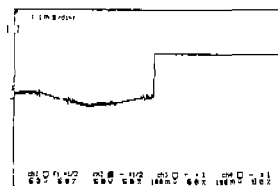
그림 4 입.출력 전압.전류파형

Fig. 4 Simulation Waveforms of voltage and current

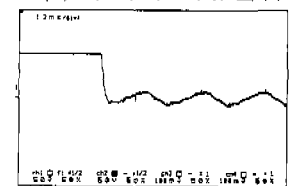


(a) 무부하시 직류전압

(b) 부하시 직류전압



(c)인버터 투입시



(d) 인버터 정지

그림 5 계통연계시 특성

Fig. 5 Characteristics of The Utility Interactive

#### 4. 결론

본 논문에서는 불연속모드 승강압 초퍼회로를 이용하여 계통과 연계할 수 있는 계통연계형 태양광발전 시스템을 제안하였다. 트랜스레스 방식으로 소형·경량화하며, DC초퍼부를 부분공진 스위칭 함으로서 스위칭 손실을 저감시키고, 교류출력전력계통 왜형의 원인을 제거하기 위하여 인버터 스위칭동작을 정현파 주파수에 대하여 정의 반주기 동안 PWM동작을 하도록 각각의 스위치에 신호를 입력하여 인버터 입력 전류가 불연속이 되도록 함으로서 맥동을 현저히 감소시킬 수 있었다. 또한, 정현파 부의 반주기는 휴지기간으로 됨으로서 스위치의 스위칭 손실을 기존의 한주기 스위칭 동작에 대하여 반으로 줄일 수 있다. 출력전압·전류 주파수를 계통측 전압·전류 주파수에 동기 시킴으로서 태양전지 발전전력을 부하에 무리없이 공급할 수 있다. 향후방향으로는 수입의존적인 태양전지를 국내 연계형 발전시스템에 적용할 수 있도록 정량화하며, 실용화를 위한 구체적인 방향을 제시 확정함으로서 보급·확대되도록 하여야 하며, 축전지를 사용한 연계 시스템에 대한 개발도 아울러 진행되어야 할 것이다.

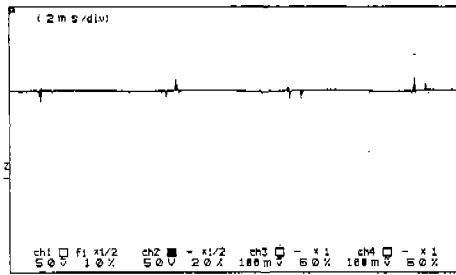


그림 6 인버터 입력전압  
Fig. 6 input voltage of inverter

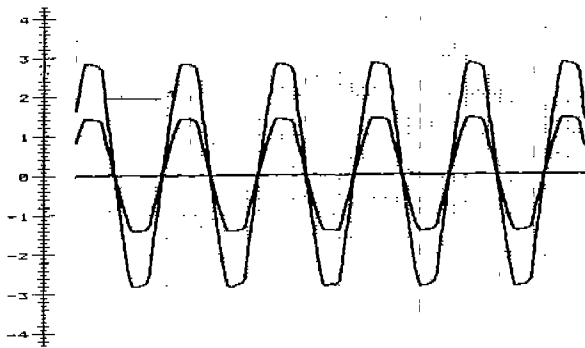


그림 7 인버터 출력전압,전류  
Fig. 7 output voltage and current of inverter

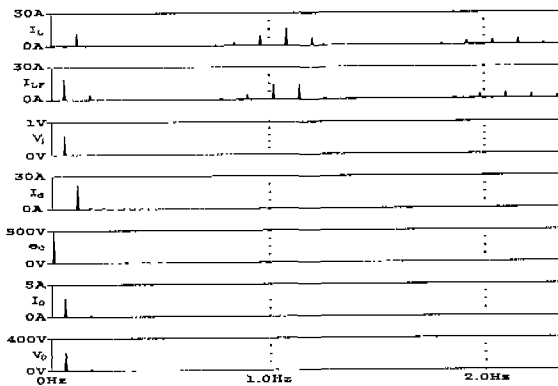


그림 8 전류,전압 주파수 스펙트럼  
Fig. 8 Frequency spectrum of output voltage

그림 5(c)는 계통연계를 하기 위하여 인버터를 투입했을 때 특성을 나타내고 있다. 인버터 투입시 시간 지연 없이 인버터 입력전압을 확립하였으며, 그림(d)는 계통과 연계를 차단했을 경우의 파형을 나타내고 있다. 그림 7은 동위상의 인버터 출력전압,전류 파형으로 계통전원의 파형에 추종되는 것으로 판단되며, 약간의 왜형이 나타나고 있다. 그림 8은 그림 4의 시뮬레이션에 대한 주파수 스펙트럼으로 출력전류  $I_o$ , 출력전압  $v_o$ 는 기본과 성분만이 나타나고, 전류  $I_d$ ,  $I_L$ 은 제2고조파가 포함됨을 알 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] Y.M.Jiang, F.C.Lee, "A New Control Scheme for Buck+Boost power Factor Correction circuit", '93IPEC, pp.189~193, 1993
- [2] 野中作太郎, 袈裟丸勝巳, 山崎清美, "單相PWM電流形インバータによる太陽光發電連系システム", 電學論B, 112卷 5号, pp.439~447, 1992
- [3] 長尾道彦, 井上勝傳, "昇降壓形 PWM 인버터의 기본特性", 電氣學會研資, SPC-90-101, pp50-60, 1991
- [4] 根葉保彦, "交流チョップパ를結合した單相PWM電流形電力變換器", 電學論D, 117卷, 6号, pp673~679, 1997
- [5] 長尾道彦 他 2人, "昇降壓PWM電力形인버터를用いた太陽光發電システム", 電學論D, 114卷, 9号, pp885~892, 1994
- [6] 野中作太郎, "系統連系太陽光發電システムに適した單相PWM電流形인버터" 電學論D, 114卷, 6号, pp631~637, 1994
- [7] 長尾道彦 他 2人, "不連續モード動作昇降壓形高力率AC-DCコンバータの動作解析" 電子情報通信會論文誌, C-II Vol. J75-C-II, No. 11, pp.686~695, 1992
- [8] 長尾道彦 他 2人, "昇降壓PWM電力形인버터를用いた太陽光發電システムの電力フロー特性", 平成6年電氣學會産業應用部門全國大會, pp219~224, 1994