

# 3[kW]급 태양광 인버터의 설계 및 구현

송 용 운, 오 성 철  
제넥스 엔지니어링(주), 한국기술교육대학교

## The Design and Implementation of 3[kW] Sollar Cell PWM Inverter

Y. U. Song , S. C. Oh  
GENEX Engineering , K.U.T

### ABSTRACT

석유를 포함한 자원고갈과 지구온난화와 같은 환경문제로 인하여 자연에너지를 이용한 소규모 태양광발전이 각광을 받고 있다. 본 논문에서는 web상에서 모니터링이 가능한 3[kW]급 태양광 발전 인버터의 설계 및 구현방법을 제시한다. 설계된 인버터는 독립형이며, Boost Converter를 이용하여 350[Vdc]를 400[Vdc]로 승압한 이후 SPWM 방식을 이용하여 교류 파형을 얻어낸다. LC 필터를 통과한 출력파형은 실효치 220[Vac], 주파수는 60[Hz]의 상용전원이고, THD는 5% 이하이다. 또한 350[Vdc]의 10% 레벨에서는 Boost Converter의 Duty를 자동 조정하여 출력단의 전압을 400[Vdc]로 유지할 수 있는 기능을 포함한다. 또한, 출력단의 전압과 전류를 센싱한 후, PC에서의 모니터링 시스템을 구축하였다. 이를 통해 인버터에 포함된 PC를 서버로 활용하여, LAN이 가능한 곳에서는 인버터의 상태와 발전량을 알 수 있다.

### 1. 서 론

본 논문에서는 태양 전지의 출력단의 직류 전압의 유동성에 최대한 유연하게 대처하기 위한 DC-DC Boost 컨버터의 게이트 시그널 제어법을 제안하였다. 또한 PWM 인버터의 제어 방법인 진폭변조지수의 튜닝을 수월하게 하기 위한 마이크로 프로세서 제어를 도입하였다. 이를 통해 태양 전지 출력단의 변화에 대처하여 Boost 컨버터의 통류율을 입력 전압 정격의 10[%] 범위에서 자동 조절되는 게이트 시그널을 생성하였으며, 최종 출력단인 교류 출력 전압의 조정이 가능하도록 진폭 변조 지수의 가변이 가능하도록 설계하였다. 부가 기능으로 최근 등장한 모니터링 시스템을 제안한다. 도입된 모니터링 시스템을 통해 태양광 시스템의 상태를 웹 상에서 한눈에 알아볼 수 있는 편의성이 제공된다.

### 2. 인버터의 구성 및 설계

#### 2.1 인버터 시스템의 구성

| 항 목     | 기준치               |
|---------|-------------------|
| 정격 전력   | 3 [kW]            |
| 입력 전압   | 350 [Vdc] ± 10[%] |
| 출력 전압   | 220 [Vac]         |
| THD     | 5 [%] 이하          |
| 모니터링 방식 | 웹을 이용한 모니터링       |

표 1. 설계된 인버터의 기준 사양

표 1에 인버터의 기준 사양을 나타내었다. 교류 출력단의 큰 기울기를 갖는 고조파 성분을 보상하기 위해 직류단 전압이 충

분히 클 필요가 있으므로 Boost 컨버터를 사용하여 승압하도록 설계하였다. 태양전지의 정격 출력은 350[Vdc]로 가정하였고, Boost 컨버터에서는 10[kHz]의 스위칭 주파수로 IGBT를 제어하며, 출력 직류 전압을 승압하여 400[Vdc]를 인버터부에 Link 한다. 일반적인 Boost 컨버터와는 달리 본 논문에서는 통류율이 자동으로 조절되는 컨버터를 제안하였다. 인버터부는 단상 풀브리지형 전압원 인버터이며, 정현파 PWM 방식으로 제어한다. 인버터의 출력단에는 60[Hz]의 주파수와 220[Vac]의 실효치를 갖는 상용 전원이 출력된다.

또한, 승압된 DC 출력단의 전압과 부하에 흐르는 전류를 센싱한 이후 RS-232 통신을 통하여 PC와의 인터페이스가 가능하도록 하였고 PC에서는 이 정보를 웹 사이트 형식으로 디스플레이 하여 현재의 인버터 상태와 발전량 정보를 한눈에 알아볼 수 있다. 이를 통해 인터넷이 가능한 곳이면 어디서든 모니터링이 가능한 시스템을 구현하였다. 그림 1에 구현된 인버터에 대한 블록 다이어그램을 도시하였다.

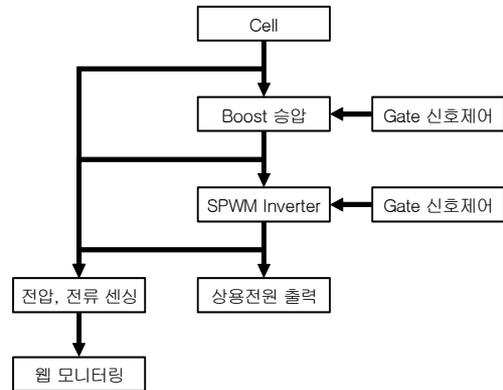


그림 1 인버터 블록도

#### 2.2 Boost Converter의 설계

##### 2.2.1 Duty 선정

Boost 컨버터의 통류율은 전압전달비를 통해 다음 식으로 다음 식으로 얻어낼 수 있다. [1]

$$D = \frac{V_o - V_i}{V_o} \quad (1)$$

태양전지 출력을 350[Vdc]로 가정하고 400[Vdc]로 승압하기 위한 통류율  $D=0.125$  이다. 그러나 태양전지의 출력 전압이 항상 350[Vdc]로 일정할 수 없기 때문에 본 논문에서는 시스템의 유동성을 넓히기 위하여 태양 전지 정격의  $\pm 10[\%]$ 의 출

력에 따른 통류율 0.2125 ~ 0.0375의 범위에서 태양전지 출력을 400[Vdc]로 유지하는 게이트 시그널을 제안하였다.

### 2.2.2 Parameter 선정

Boost Converter의 L값의 설계식은 다음과 같다.[2]

$$L = \frac{V_o D(1-D)^2 T}{2I_{omin}} \quad (2)$$

여기서  $I_{omin}$ 은 출력 전류의 최소값이며, 스위칭 주기  $T$ 는  $10^{-4}$ 이다. 이 식을 통해 계산된 L값은 약 1.91 [mH]이며, 연속 전류를 보장하기 위해 2 [mH]로 정하기로 한다.

C값의 설계는 다음 식에 의해 결정한다.

$$\begin{aligned} \Delta v_o &= \frac{1}{C} \cdot DT \cdot I_o \\ &= \frac{1}{C} \cdot DT \cdot (V_o/R) \quad (3) \end{aligned}$$

$\Delta v_o$ , 즉 출력 전압 리플을 최소화하기 위해 약 0.1 [%] 값으로 계산하면, C값은 약 234.5[uF]가 된다. 그러나, 스위칭 소자가 이상적일 수 없으므로 출력 전압 리플을 보상하기 위하여 캐패시터 값을 상승시킨 500 [uF]로 설정한다.

### 2.2.3 Gate signal의 생성

Boost 컨버터의 기본 통류율은 0.125이지만 시스템의 유동성을 높이기 위해 컨버터 시스템의 통류율을 0.0375에서 0.2125까지 태양전지 출력 전압에 따라 자동으로 가변되는 ATmega128 마이크로 프로세서를 이용한 게이트 시스템을 제안한다. 먼저 태양전지의 출력전압을 절연 앰프 IC인 BB사의 ISO124를 이용하여 센싱한다. 센싱된 전압값은 A/D 컨버터를 통해 마이크로 프로세서에 입력되고, 프로그램상에서 식 ( 3.3 )을 이용하여 계산된 후 출력 포트를 통해 게이트 펄스를 내보내준다. 이 신호는 포토커플러를 거쳐 절연된 후 IGBT의 게이트에 인가된다.

## 2.3 PWM Inverter의 설계

### 2.3.1 Gate signal의 생성

PWM 인버터의 스위칭 소자들에 가해지는 게이트 시그널의 생성 방식은 다음 그림과 같은 순서로 표현된다.

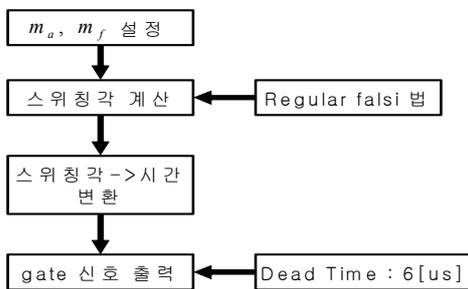


그림 2 PWM 게이트 시그널 생성

진폭 변조 지수와 주파수 변조 지수를 통해 Regular falsi 법을 이용해 다음 초월방정식과 같이 스위칭 각을 계산한다.[1]

$$\begin{aligned} m_a \sin \alpha_i &= (-1)^{i+1} \left( \frac{2m_f}{\pi} \alpha_i - 2i \right) \\ \beta_i &= \pi - \alpha_{k-(i+1)} \quad (4) \end{aligned}$$

계산된 스위칭 각들은 주기당 시간으로 변환되고 시간으로 변

환된 값은 마이크로 프로세서의 내장 타이머를 통해 출력 포트에 배정된다. 이 출력 시그널들은 포토커플러로 절연된 후 각 IGBT에 인가되어 PWM 인버터를 구동하게 된다.

## 2.4 LC필터의 설계

PWM 인버터의 출력단의 고조파를 제거하기 위하여 LC 필터를 설계하여 출력단을 이상적인 정현파에 가깝도록 만든다. 본 인버터에서는 돌입전류의 방지가 가능한 LCL 필터를 적용하였다. 필터 인덕터의 설계식은 다음 식과 같다.

$$L_f = \frac{1}{C_f} \left( \frac{1}{2\pi f_c} \right)^2 \quad (5)$$

차단 주파수  $f_c$ 는 대개 스위칭 주파수의 0.1로 선정하므로 1000[Hz]를 적용하여 계산한다. 계산을 통해 L값은 약 8[mH], C값은 약 3.16 [uF]를 얻어낼 수 있다.

## 2.5 IsSpice를 이용한 시뮬레이션

### 2.5.1 Boost Converter의 시뮬레이션

Boost 컨버터의 스위칭소자의 gate signal은 IsSpice의 pulse generator 기능을 통해 인가하였다.

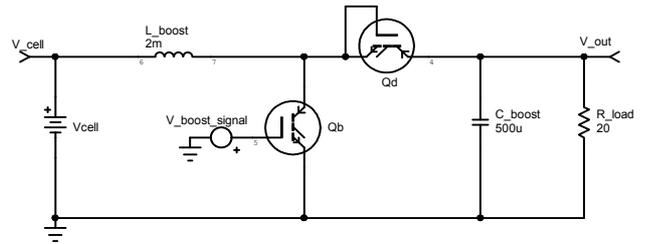


그림 3 Boost 컨버터의 주회로

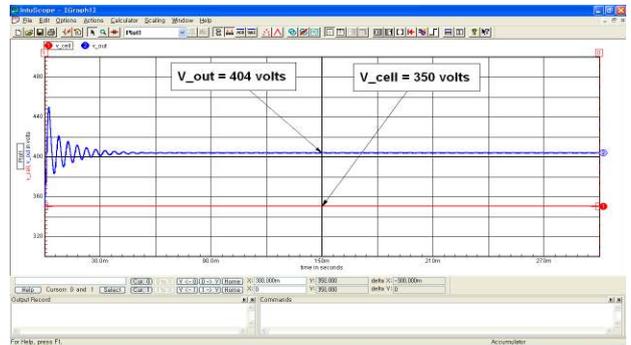


그림 4 입력과 출력의 비교

시뮬레이션 결과 약 30[ms]의 과도 상태를 지난 이후 약 403[Vdc]의 안정된 레벨로 수렴함을 볼 수 있다. 또한 출력 전압의 리플은 678[mV]로 나타나며 설계치 보다는 높은 결과를 나타내었다. 이는 IsSpice의 기능 중 하나로서, 스위칭 소자의 실제 특성도 반영하여 결과 파형을 도시한다.

### 2.5.2 PWM Inverter의 시뮬레이션

설계된 LC 필터의 소자값을 적용하여 최종적인 인버터의 시뮬레이션 결과를 도시한다. 결과 파형에서 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과 약 211[Vac]의 실효치를 도시한다.

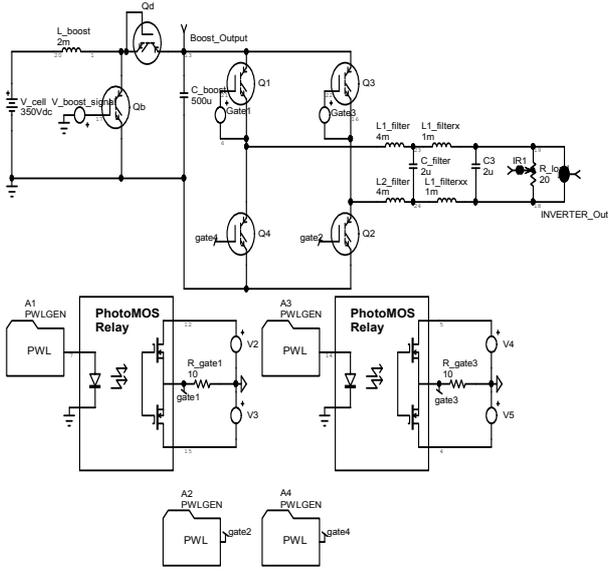


그림 5 LC필터를 포함한 태양광 인버터의 주회로

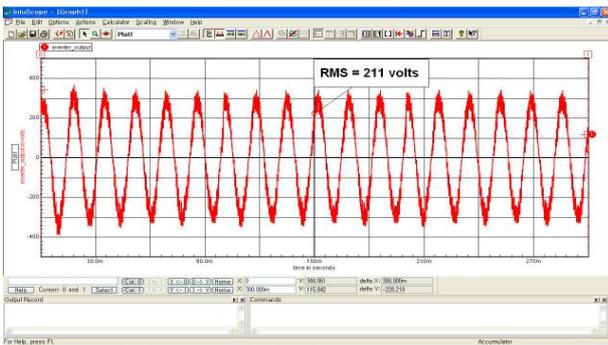


그림 6 LC 필터를 포함한 PWM 인버터의 출력 파형

### 2.5.3 Web Monitoring

태양전지의 출력전압을 절연 앰프를 이용하여 센싱하였고, CT를 이용하여 부하 전류를 센싱하였다. PC에서는 수신된 부하전류와 태양전지의 출력 전압값을 이용해 출력 전력을 계산하여, 일일 발전량과 누적 발전량을 화면으로 제시한다. 인버터가 동작하고 있는 경우에는 DC → DC/DC → DC/AC → Load의 순서로 화살표가 흘러가는 모습으로 표현되며, 인버터가 동작하지 않는 경우에는 AC → Load의 방향으로 화살표가 흘러가는 모습으로 표현된다.

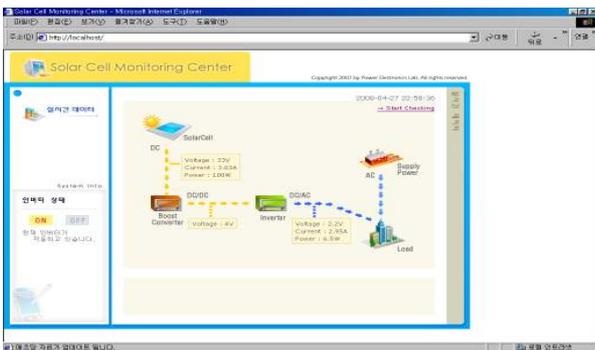


그림 7 Monitoring 화면

### 2.5.4 구현된 인버터

실제 구현된 인버터의 모습과 출력 파형을 나타낸다.

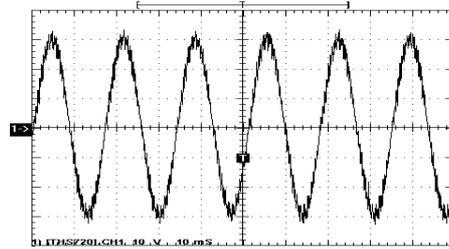


그림 8 LC 필터를 통과한 최종 출력 파형

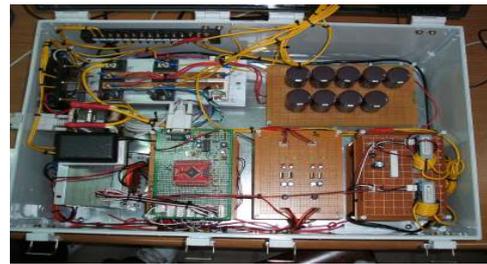


그림 9 실제 구현된 인버터

## 3. 결론

태양광 발전 시스템의 전력변환기인 인버터를 설계 및 구현하였다. 구현된 인버터에 도입된 방안들은 다음과 같다.

- 1) Boost 컨버터의 duty를 자동으로 조절하여 태양전지의 출력 전압의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 방안을 제시하였다.
- 2) 마이크로 프로세서를 통하여 아날로그 인버터에서는 불가능한 PWM인버터의 진폭 변조비수의 조정이 가능할 수 있도록 하였다.
- 3) 웹 모니터링 기법을 도입하여 사용자가 직접 현장에 가지 않고도 LAN을 통해 어디서든 현재 인버터의 상태와 발전량을 확인할 수 있다.

현재는 인버터의 상태와 발전량을 모니터링 하는 정도이지만 향후 연구방안으로는 인버터의 기동과 정지를 웹을 통해 결정할 수 있는 시스템의 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 참고 문헌

- [1] 노의철, 정규범, 최남섭, “전력전자공학”, 文運堂, 1997, pp.205-218, pp.314-386
- [2] 김희준, “스위칭 전원의 기본 설계”, 성안당, pp.36-45, 2002
- [3] 초희와 PWM 전압형 인버터를 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템에 관한 연구, 전력전자학회 논문지 제3권 제2호, pp.131-137, 1998. 6
- [4] 홍순찬, 전희중, 백형래, 원충연, “PSpice를 활용한 전력 전자 공학”, 인터비전, 2000
- [5] 한경희, 황락훈, 이승환, “전력전자공학”, 형설출판사, 2001
- [6] 3kW 무변압기 계통연계 태양광발전용 인버터 개발, 전력전자학회 논문지, pp.347-349, 2005.7
- [7] 인터넷 웹 기반 환경에서의 태양광용 인버터 원격제어시스템 개발에 관한 고찰, 전력전자학회 2001년 추계학술대회 논문집, pp.63-66, 2001. 12