

LED 비상 유도등 동작을 위한 태양광발전 계통연계 전원동기 방식의 전압형 인버터 구동 특성

Characteristic of VSI Driven by Source Synchronous Type for the Utility Interactive using a Photovoltaic Generation for the LED Luminaire Emergency Exit Sign Operation

황락훈 · 나용주
세명대학교 전기공학과

Lark-Hoon Hwang · Yong-Ju Na

Department of Electrical Engineering, Semyung University, Chungcheongbuk-do, 27136, Korea

[요 약]

본 논문은 태양광 발전시스템을 승압효과와 단상 펄스폭변조 전압형인버터를 사용하여 전원차단 경우나 전압변동 및 부하변동에 의한 출력전류 변화에도 일정한 출력전압을 유지하는 무정전 전원 공급장치(UPS)를 구성하였다. 본 시스템은 전압형인버터를 교류전원과 동기 시켜서 운전하고 정상상태에서는 전원으로부터 운전하고 정상상태에서는 전원으로부터 직류 측에 연결된 축전지를 태양전지를 이용한 광기전력효과와 함께 일정전압을 충전하며, 전원의 차단, 전원의 전압변동 및 부하전류의 변화에도 일정한 전압을 유지하도록 하였다. 에너지 저장장치 (ESS; energy storage system)를 상시 운영하여 공항의 기상 변화에 따른 파장별 LED 항공 유도신호 등을 효율적으로 운용하는 시스템을 구성 하였고, 전력절감효과를 얻을 수 있는 에너지절약 전원복합형 전력변환장치로 구성되어 있다. 출력은 PWM방식에 의하여 양호한 파형이 되도록 하고 전원차단과 부하의 상태의 변화 및 전원 전압 변동에도 일정한 전압으로 출력됨을 실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

[Abstract]

In this paper, represented uninterruptible power supply (UPS) equipment maintaining constant output voltage, the proposes a photovoltaic system constructed with a step up boosting chopper and single phase pulse width modulation (PWM) voltage source inverter. as power source disconnection, voltage variation and output current variation with load variation. This system is driven by being synchronized voltage fed inverter and AC source, and in the steady state of power source charge battery connected to DC side with solar cell using a Photovoltaic that it was so called constant voltage charge. It can be results of saving electric power, and through a normal operation of energy storage system (ESS), the system operated the LED a calling on signal changes at the airport in an efficient manner. In addition, better output waveform was generated because of PWM method, and it was proved to test by experiment maintained constant output voltage regardless of AC source disconnection, load variation, and voltage variation of AC power source.

Key words : Calling on signal changes, Energy Storage System, Uninterruptible power supply, Utility power system.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.5.420>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 27 September 2018; Revised 1 October 2018
Accepted (Publication) 22 October 2018 (30 October 2018)

*Corresponding Author; Lark-Hoon Hwang

Tel: +82-10-5487-5525

E-mail: lhhwang@semyung.ac.kr

1. 서론

대체 에너지원인 태양에너지를 이용한 태양광 발전방식은 기존에너지 자원을 대신할 수 있는 분야에서 각광을 받고 있으며, 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 최초의 새로운 에너지 자원은 태양열 변환방식이 전력용 반도체 소자의 개발과 함께 태양열에 의한 광 반도체 발전소자 및 반도체 전력변환장치에 의한 직접 발전방식이 주목되기 시작하였다[1]-[5].

대체 에너지 개발을 추진 중에서도 신 에너지원으로서 무공해이며 무한한 태양에너지를 이용한 태양광 발전시스템이 새로운 분야로 관심을 가지게 되었다. 태양전지의 출력은 직류이므로 계통과 연계하기 위해서는 직류를 교류로 변환할 전력변환기가 필요하게 되었다. 따라서 단위역률을 갖는 정현파 전류 및 전압을 공급해 주어야 하고, PWM 변조기는 동기신호인 계통 전압전압 파형에 의한 성분이 포함되어 있을 때에도 안정된 변조를 위하여 동기 신호와 제어신호를 마이크로프로세서로 처리함에 있어서 샘플링 시점과 캐리어파와의 사이에는 시간 차이가 존재하게 되어 그에 따른 보상법을 필요로 하게 된다. 출력이 부하의 수요에 비해 부족할 경우는 부족분을 전력계통으로부터 수전하고, 남은 출력이 있는 경우는 계통 측에 공급하므로 시스템과 전력계통은 상호 밀접한 관련이 있으며 태양광 발전시스템을 계통연계 하는 경우는 시스템 출력변동, 고주파발생 등으로 인한 계통전력 품질, 전압변동, 그 외에 단독운전에 대한 대책을 반드시 세워야 된다[6]-[9].

본 논문에서는 태양광 발전시스템을 이용하여 승압 초퍼와 펄스폭변조 전압형인버터를 전력변환기로 구성하였고, 안정된 변조를 위해서 동기신호와 제어신호를 윈 칩 마이크로프로세서에 의해서 처리하였다. 전력비교에 따라 시비율(TRC)을 변화시키지만 태양전지의 출력은 수하특성을 갖고 있어, 일사량과 온도변화에 관계없이 항상 최대 출력 점을 추적하도록 승압 초퍼를 제어하였다. 또한 펄스폭변조 전압형인버터는 태양전지가 연속 발전할 수 없는 단점을 보완하기 위해 일반 상용전원과 연계하고 에너지저장장치(ESS)를 상시 운영하여 공황의 기상 변화에 따른 파장별 LED 항공 유도등을 효율적으로 운용하는 시스템을 구성하였다[10]-[14].

II. 계통연계형 발전시스템

2-1 계통연계 승압초퍼 회로와 전압형인버터

계통 연계형인버터는 직류전원과 교류부하 사이의 전력을 균형 있게 유지하기 위하여 상용계통을 이용하는 데서 태양전지나 연료전지와 같은 대체 에너지원으로부터의 직류전력을 저장하기 위한 비싸고 비효율적인 축전지를 사용할 필요 없이 주야나 날씨가 흐리거나 비가와도 항상 부하에 전력을 공급할 수 있다. 또한 인버터 출력과 계통선 사이에 60 Hz 절연 변압기

를 설치하므로 직류 전원 측 내부사고 시 계통 측으로의 직류분의 유출을 방지하도록 전기적인 절연을 행할 수 있으며 변압기 자체가 계통 선으로 주입되는 고조파 전류를 허용치 이하로 낮추는데 직렬 임피던스 역할을 하므로 인버터와 계통선 전압의 인터페이스를 용이하게 해준다. 전류 제어기는 기본적으로 인버터의 전압방정식에 기초를 두어 샘플링 포인트 $n+1$ 의 기준전류와 측정전류를 일치시키도록 인버터의 입력전압을 제어하는 방법을 사용하여, $i(n)$ 의 추정치 $i_M(n)$ 은 식 (1)로 계산 된다.

$$i_M(n) = i(n+1) + \frac{T}{L_s} \left\{ v_M(n-1) - e(n-1) \right. \\ \left. - R_s i(n-1) - j\omega L_s i(n-1) \right\} \quad (1)$$

인버터와 모델과의 사이에 파라미터에 의한 오차가 존재하는 경우의 전류의 과도응답특성을 개선하기 위해 PI제어기를 이용하여 인버터 입력전압 $v_M(n)$ 을 식(2)와 같이 보정한다.

$$\Delta v(n) = K_p \Delta i(n-1) = K_p \{ i_r(n-1) - i(n-1) \} \quad (2)$$

그림 1은 독립형 전원시스템에서 태양전지로부터 인버터 측에 직류전력을 공급하는 승압 초퍼 회로와 동작파형이다. 초퍼가 ON일 때는 그림 1(a)에서 전류 i_1 이 홀러 L_d 에 에너지를 축적하고, 초퍼가 OFF 일 때는 L_d 에 축적되었던 에너지와 태양전지의 출력이 직렬 연결되어 인버터 입력 측에 그림 1(a)에서 전류 i_2 가 공급된다. 그림 1(a) 승압 초퍼 회로와 그림 1(b)는 초퍼 동작상태의 파형을 나타내었다.

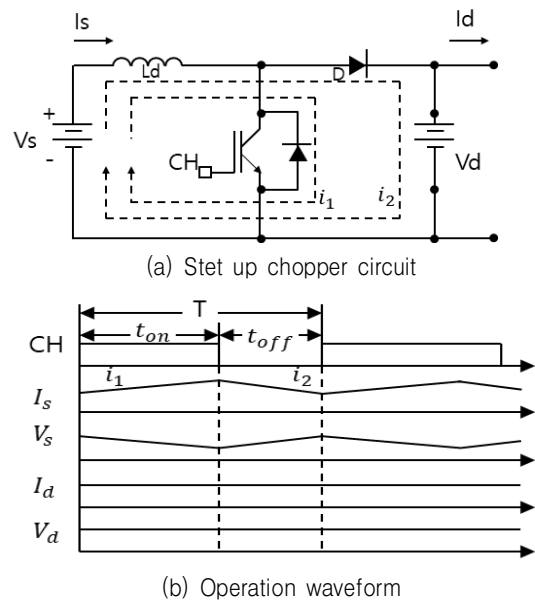


그림 1. 승압초퍼회로 (a)와 동작파형(b).
Fig. 1. Step up chopper circuit(a) and operation waveform(b).

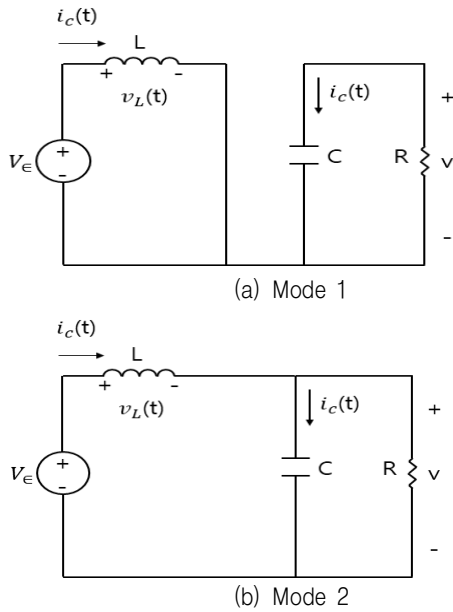


그림 2. 승압형 컨버터의 동작.
Fig. 2. Operation of boost converter.

그림 2와 같이 DC 전원을 이용하는 경우 대부분 전압을 승압 할 수 있는 부스트(Boost) 컨버터를 이용하며, 정 전류 구동 방식을 선택한다. 그림 2 (a),(b)는 승압(boost)컨버터의 동작이다. Mode 1은 스위치가 턴 온 되면서 인덕터에 에너지가 축적되는 과정으로 인덕터 전압과 커패시터의 전류는 식 (3)과 같다.

$$v_L = V_{in}, \quad i_C = -\frac{v_{out}}{R} \quad (3)$$

Mode 2는 스위치가 턴 오프 되면서 인덕터에 축적된 전류가 다이오드를 통해 출력 측에 전달되는 과정으로 인덕터 전압과 커패시터의 전류는 식 (4)와 같다.

$$v_L = V_{in} - v, \quad i_C = i_L - \frac{v_{out}}{R} \quad (4)$$

식 (4)을 근사화 하면 식 (5)와 같이 한 주기 동안 인덕터에 인가되는 전압은 식 (6)과 같다.

$$v_L = V_{in} - v_{out}, \quad i_C = I - \frac{v_{out}}{R} \quad (5)$$

$$\int_0^{T_s} v_L(t) dt = V_{in}DT_s + (V_{in} - V_{out})D'T_s \quad (6)$$

한 주기 동안 인덕터에 양단의 전압의 합은 0이므로 관계식 (7)을 얻을 수 있다.

$$V_{in}(D+D') - v_{out}D' = 0 \quad (7)$$

식 (7)을 $D+D' = 1$ 의 관계에서 입력전압과 출력전압의 변환비 인 식 (8)과 같으며 승압형 컨버터는 듀티비가 1에 가까워지면 인덕터 전류가 매우 커져 큰 전력 손실이 발생하게 된다.

$$M(D) = \frac{V_{in}}{v_{out}} = \frac{1}{D'} = \frac{1}{1-D} \quad (8)$$

PWM 전력변환기는 1대의 장치로 전압과 주파수를 동시에 변화시킬 수 있는 특징으로 전력변환기로 광범위하게 응용되고 있다. 직류에서 교류, 교류에서 직류 변환에 있어서 주파수와 전압의 가변을 동시에 다루어야 하지만 우선 전압을 변화시키는 원리를 설명한다. 부하에 가해진 전압의 유무에 대한 비율, 또는 정(+)또는 부(-)의 전압이 가해진 시간적인 비율에 비례하는 평균전압이 되므로 전력용 반도체 스위치에 의한 전압의 가변은 스위치들의 통전 기간에 따르게 된다. 승압형 컨버터는 통전비가 커질수록 인덕터 전류가 커져 효율이 감소하게 된다. 통전비에 대한 변환비의 그래프는 그림 3과 같이 되며 그림 4는 단상 전압형 인버터로서 태양전지와 풍력발전기 등의 하이브리드 계통연계 시킬 수 있는 시스템을 나타내고 있다.

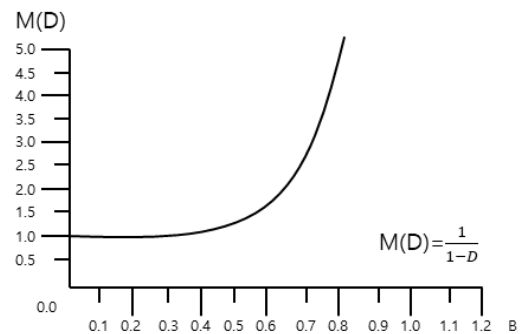


그림 3. 변환비 대 통전비 관계곡선.
Fig. 3. The relationship of conversion ratio vs duty ratio.

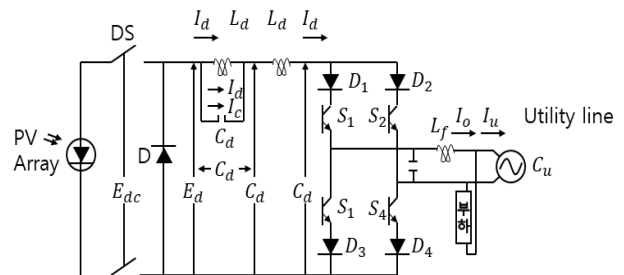


그림 4. 태양광과 단상 PWM 인버터.
Fig. 4. Solar cell and Single phase PWM inverter.

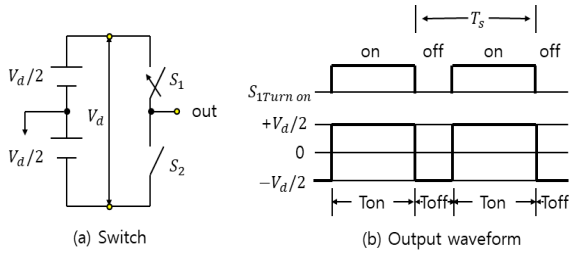


그림 5. 스위치의 상태에 따른 출력 파형.
 Fig. 5. Output waveform of switch state.

그림 5는 (a)와 (b)는 전력변환기의 1상의 회로 및 통전 상태에 따른 출력전압으로 (a)에서 스위치 S1과 S2는 서로 반대로 온, 오프 상태로 동작하도록 되어 있으며 (b)에서 S1이 통전할 때는 S2는 오프 상태로 되는 회로를 나타내고 있다. 그림 5의 (a)에서 스위치 주기에서 출력의 평균전압은 전원의 기준점(0 전위점)에 대하여 1주기 평균을 계산하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= \frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} v_{out} dt \\
 &= \frac{1}{T_S} \left(\int_0^{T_{off}} \frac{-V_d}{2} dt + \int_{T_{off}}^{T_S} \frac{V_d}{2} dt \right) \\
 &= \frac{V_d}{2T_S} (T_{on} - T_{off}) = V_d \left(-\frac{1}{2} + \frac{T_{on}}{T_S} \right) \quad (9)
 \end{aligned}$$

2-2 계통연계 승압 초퍼 회로와 전압형인버터의 시스템 등가회로 및 해석

계통연계 시 인버터 시스템의 등가회로는 그림 6과 같고, 식(10)을 만족한다.

$$E_i = E_L + E_u \quad (10)$$

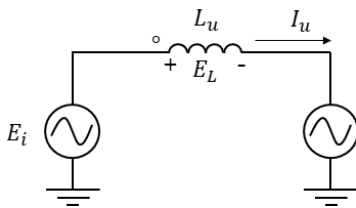
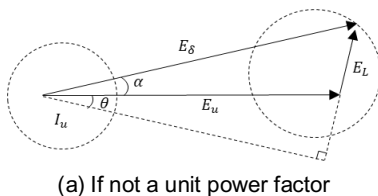
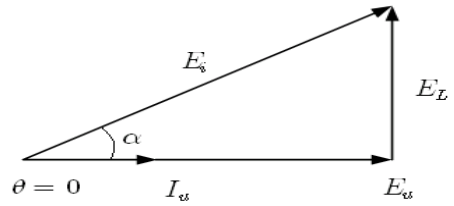


그림 6. 시스템 등가회로.
 Fig. 6. Equivalent circuit of system.



(a) If not a unit power factor



(b) In case of unit power factor

그림 7. 시스템의 페이저도.
 Fig. 7. Phasor diagram of systems.

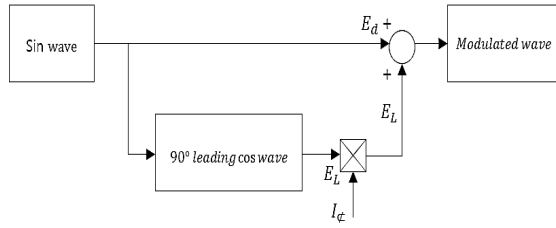


그림 8. 기준파 발생을 위한 제어 블록도.
 Fig. 8. Block diagram of controller reference wave generation.

그림 7(a)는 I_u 가 E_u 보다 임의의 위상각 θ 만큼 지상인 경우이며, 그림 7(b)는 단위역률을 만족하기 위한 페이저도 I_u 는 식(11)과 같다.

$$I_u = \frac{E_L}{j\omega L_u} = \frac{E_i}{j\omega L_u} \sin\alpha \quad (11)$$

그림 7(b)의 페이저도와 같이 단위역률을 만족 ($\theta = 0$)하기 위해서는 인버터 출력전압 E_i 의 위상이 계통전압 E_u 의 위상보다 항상 앞서도록 출력전압의 크기와 제어각 α 를 동시에 제어해야 할 필요가 있다. 시스템이 단위역률로 제어되고 있는 경우의 관계는 식(11)과 같고, 계통 측으로 흐르는 전류 I_u 는 리액턴스 전압 E_L 에 비례함을 알 수 있다.

고 역률을 유지하기 위한 변환기의 제어방법은 그림 8과 같으며, 계통전압 E_u 와 일치하는 \sin 파를 발생시키고, 이와 90° 의 위상차를 갖는 \cos 파를 발생시켜 제어에 필요한 값인 기준파로 설정하며, 설정된 기준전류 I_u 에 의하여 인버터 출력측 전압을 제어하여 그림 7(b)의 페이저도를 만족하면 고 역률 운전과 DC/AC 전력변환이 이루어지게 된다.

2-3 변조지연 원인 및 보상법 관계

마이크로프로세서에 의한 PWM 신호 발생 시 최초의 인터럽트 주기에서 A/D 변환을 시작한 후 다음주기에서 그 변환된 데이터에 의해 제어를 위한 연산 및 펄스폭 연산을 하며, 세 번째 주기에서 연산된 데이터에 의해 PWM 신호를 출력한다.

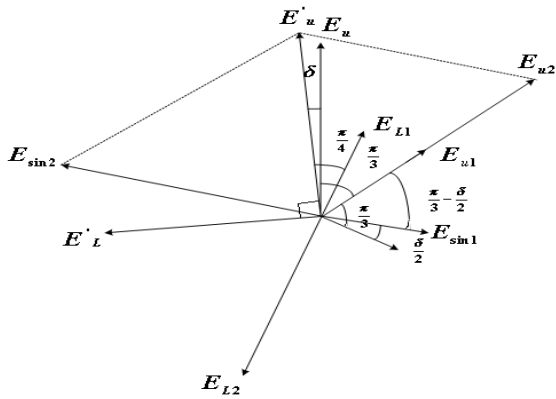


그림 9. 변조지연 보상을 위한 벡터도.
 Fig. 9. Vector diagram for modulation delay compensation.

실제 프로세서가 샘플링 시점에서 인식한 데이터와 그 데이터를 출력하는 데에는 δ 만큼의 시간 지연이 생기게 되며, 이로 인하여 인버터 출력 측과 계통 간에 순환전류가 발생하게 되므로 이것을 보상할 필요가 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 동기신호의 입력 단 측에 1차 RC 저역통과필터를 이용하여 A/D 변환되어 입력되는 계통 전압의 노이즈 성분을 제거하고, 위상 이동기를 이용하여 PWM 파형의 지연 시간을 보상할 수 있도록 하였다.

그림 9는 변조지연 보상을 위한 벡터도로서 계통전압의 동기신호인 E_u 는 저역통과필터 및 위상 Shifter를 거쳐 변조 지연각 δ 를 보상하여 전압의 크기는 같고, 위상은 δ 만큼 앞서서 기준 정현파 E_u' 를 만들며 기준파 E_u' 와 90° 의 위상차를 갖는 기준 리액턴스전압 E_L' 를 입출력 전달함수로 나타내면 그림 10과 같이 된다. 마이크로프로세서를 이용하여 구동할 수 있게 구성 하였다. 최대 출력점 추적제어를 하기 위해서 태양전지 전압과 전류를 검출하여 항상 최대전력이 되도록 제어하여 태양의 위치를 찾아가도록 제어하고, 승압초과는 태양전지의 전압을 승압하도록 제어하였다. 전압형인버터의 출력전압을 일정전압제어를 하도록 출력전압을 검출하여 입력전압과 부하변화에 관계없이 일정전압을 유지하도록 제어기를 구성하였다.

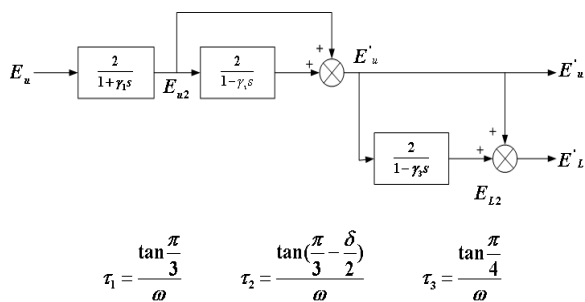


그림 10. 기준파 발생기의 블록선도.
 Fig. 10. Block diagram of reference wave generator.

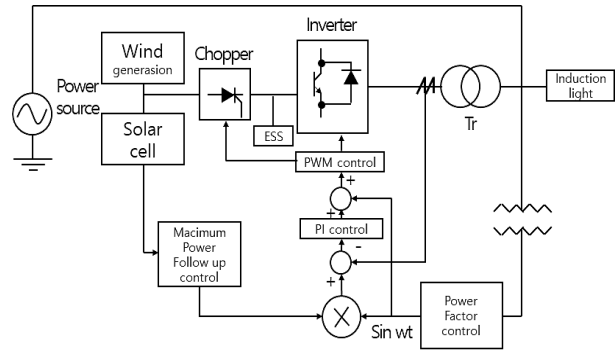


그림 11. 시스템 블록도.
 Fig. 11. System block diagram.

그림 11에서 한상의 회로의 S1에 해당하는 통전 시간을 AH로 하여 그림 12에 표시하였으며, V_{refA} 는 변조파이고 삼각파형은 캐리어파형을 나타낸 것이다. 그림 12는 PWM 변조는 변조파와 캐리어파형의 상호 크기에 따라 출력파형 AH가 변하게 되며 삼각형 MST와 삼각형 MPQ의 관계를 나타내면 식 (12)와 식 (13)과 같다.

$$\frac{|PQ|}{|ST|} = \frac{|PM|}{|SM|} \tag{12}$$

$$\frac{1 - V_{refA}}{2} = \frac{T_S - T_{on}}{T_S} \tag{13}$$

이 성립하고 이를 정리하면 식 (14)와 같다.

$$\frac{T_{on}}{T_S} = \frac{1 + V_{refA}}{2} \tag{14}$$

식 (13)에 식 (14)를 대입하면 한상의 전압은 식 (15)와 같이 되므로

$$V_{outA} = \frac{V_d}{2} V_{refA} \tag{15}$$

PWM 변조에서 출력전압은 V_{refA} 에 대하여 비례하는 전압이 된다. 정현파를 출력하려면 V_{refA} 가 정현파가 되면 식 (16)과 같이 되도록 하면

$$V_{refA} = r \sin(\theta) \tag{16}$$

정현파 변조가 되며 식 (16)에서 비례상수 r은 변조율이라고 한다. 변조의 1주기에서 하나의 통전은 식 (14)에 의하여 식 (17)과 같다.

$$T_{on} = T_S \left\{ \frac{1}{2} + r \sin(\theta) \right\} \tag{17}$$

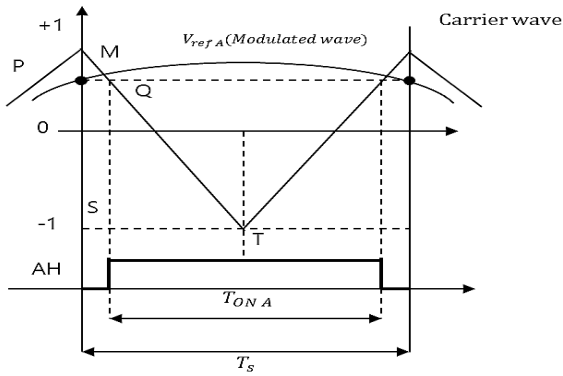


그림 12. 1상의 PWM 변조.
Fig. 12. PWM modulation of one phase

III. 시뮬레이션 결과 고찰

계통전압과 출력전류를 고역률로 유지하기 위해서 PWM 신호를 발생할 때까지 생기는 지연시간 δ 를 계통전압을 A/D 변환하여 filter와 위상 시프트를 사용하여 보상하고, 계통전압과 출력전류를 검출하여 위상차를 가감함으로써 고 역률을 유지 하도록 하였다. 병렬공진회로를 사용함으로써 직류 리액턴스의 크기를 감소시킬 수 있어 스위칭 주파수는 4 KHz로 구동하였다. 승압형 초퍼를 이용하고 MS7C196 마이크로프로세서 이용하여 자동보정하며 세트된 전압보다 낮아지는 경우에는 전류센서에 의해 주 회로 부분이 차단되도록 그림 13과 같이 설계하였다. 그림 14와 그림 15의 시뮬레이션 결과 실제 동작 될 수 있는 초퍼부분과 인버터 부분의 시뮬레이션 결과가 양호한 상태로 나타내었고, 그림 16은 계통전압과 전류의 파형을 나타내었고 그림 17은 PWM 출력전압 파형 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

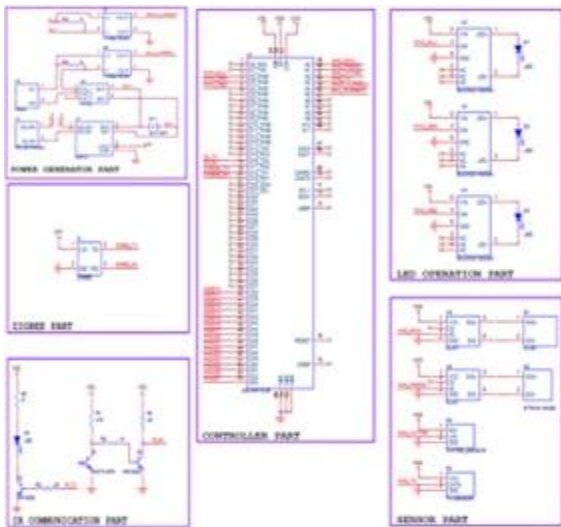


그림 13. 마이크로프로세서 제어 시스템.
Fig. 13. Control system of microprocess.

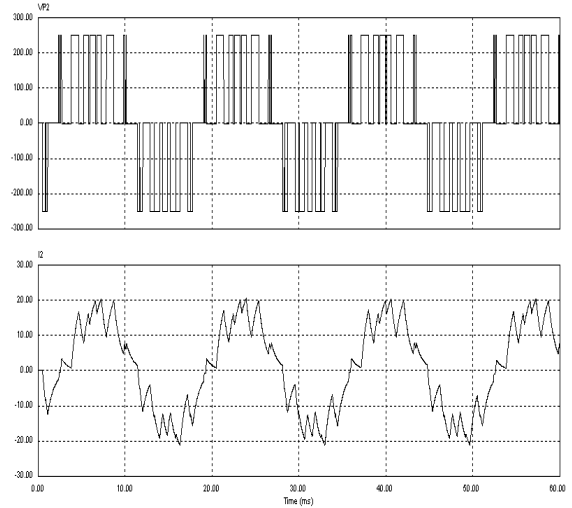


그림 14. 필터 및 위상 Shifter 의 입출력 파형.
Fig. 14. I/O simulation waveform of filter and phase shifter.

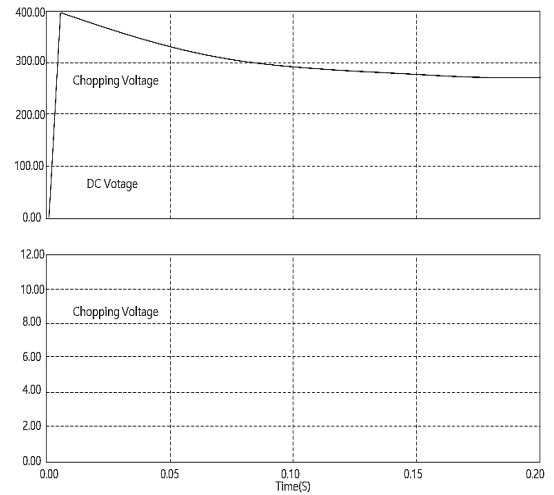
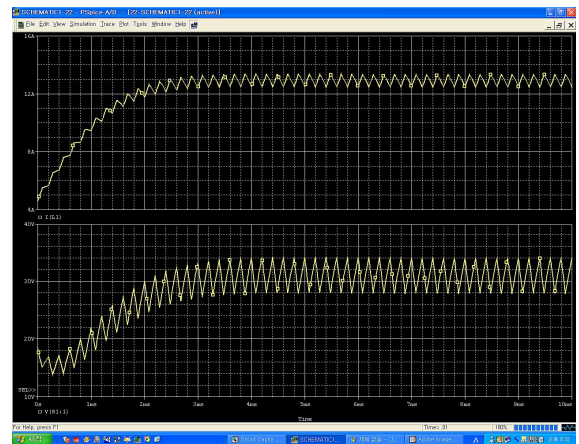
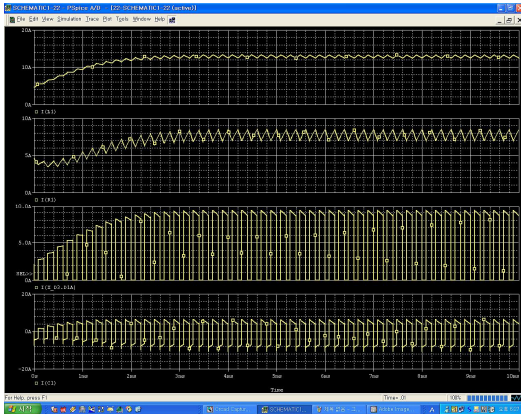


그림 15. 초퍼의 출력 전류 및 전압 파형.
Fig. 15. Output waveform of current & voltage of chopper.



(a) Voltage and Current waveforms



(b) Reference value, voltage, and current

그림 16. 계통 전압과 전류 파형.

Fig. 16. Utility line voltage and current waveform.

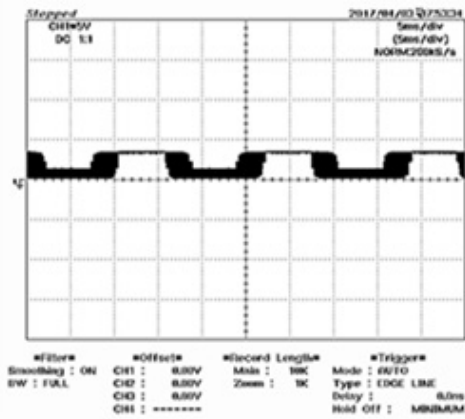


그림 17. PWM 출력전압 파형 시뮬레이션.

Fig. 17. Output voltage waveform simulation of PWM.

IV. 실험 결과 및 고찰

표 1. 회로 파라메타.

Table 1. Circuit parameter.

Parameters		Value
Utility Voltage		220 V
DC reactor		50 mH
Parallel resonance	Reactor	15 mH
	Capacitor	560 μ F
Filter	Reactor	5 mH
	Capacitor	2 μ F
Modulation ratio		0.85
Frequency	Carrier wave	4 KHz
	Modulation wave	60 Hz
Solar cell	Open voltage	110 V
	Short current	3 A

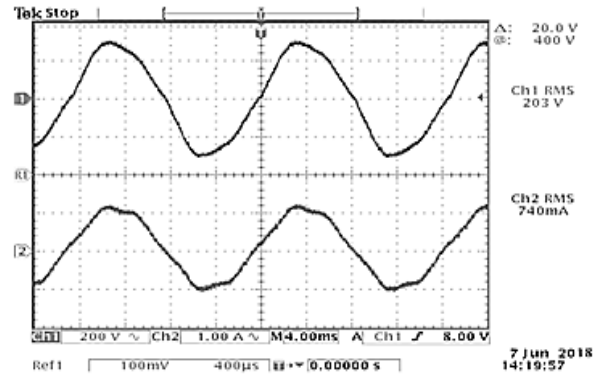


그림 18. 인버터의 출력전압과 전류(R-L부하시).

Fig. 18. Output voltage and current waveform of Inverter system(at R-L Load).

시스템에 사용된 회로정수를 표1에 나타내었고, 태양광 발전 시스템과 단상 PWM 전압형인버터로 구성하였다. 태양전지 모듈은 최대출력 전력 43 W, 개방전압 18 V, 단락전류 3 A이며, 12셀(cell)을 직, 병렬 연결한 태양전지 어레이를 사용하였다.

또한 R-L 부하를 걸고 동작시킨 경우 직류전압 100V일 때 변환된 교류 전력의 출력 상태를 그림 18에 나타내었다. 단상 PWM 인버터를 사용하여 최대한의 고조파를 줄일 수 있었고 양호한 정현파 파형이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 19은 표 1과 같은 조건에 의해 출력전압과 전류를 측정 한 결과를 나타내었다. 출력전류에 비교적 낮은 고조파 성분을 함유하여 양호한 파형을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 그림 20는 같은 조건하에서 R-L 부하 시 출력되고 있는 전압, 전류 그리고 출력전력 상태를 나타내고 있다. 고조파 함유량의 감소로 매우 양호한 전력품질을 을 나타냄을 확인 할 수 있었다.

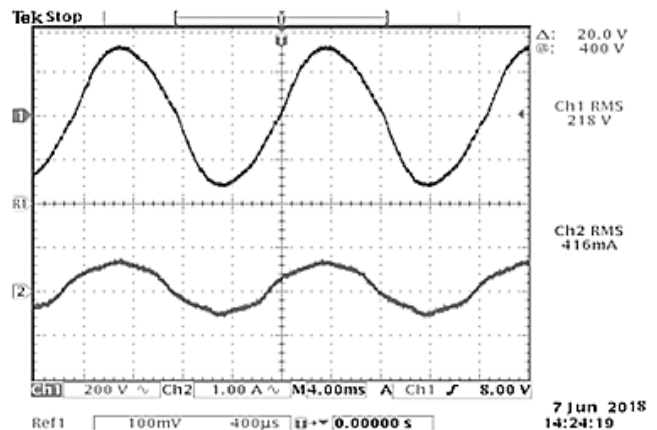


그림 19. 인버터 출력 전압, 전류 및 전력 파형.

Fig. 19. Output voltage, current and power waveform of Inverter system

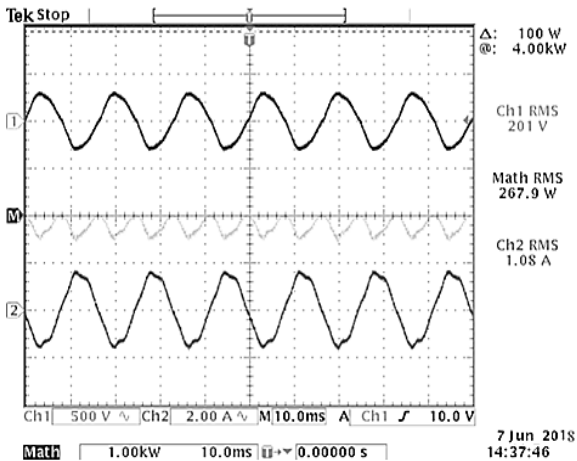


그림 20. 인버터 출력 전압, 전류 및 전력 파형.

Fig. 20. Output voltage, current and power waveform of Inverter system

V. 결론

본 연구에서 직류전압원인 태양전지를 사용하고 낮은 직류 전압을 승압효과를 사용하여 단상 PWM 전압형인버터를 구성하여 운전한 경우에 제안된 마이크로프로세서를 이용하여 시뮬레이션 및 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 승압효과를 연계한 PWM 전압형인버터의 동작으로 직류-교류 변환 발생 전압에 의한 부하적용을 하여 안정된 동작을 나타내었다. (15 W, 53 W 선풍기, 전등부하 180 W 적용)

(2) 태양전지의 실제전압과 전류를 측정하여 계산되어진 최적동작 전압을 직류 전압 기준 값으로 설정하여 승압되는 전압의 최대값이 태양전지가 항상 최대 출력 점 근방에서 동작되도록 하였다.

(3) 변조지연 보상기법을 이용하여 인버터 출력전압 고조파분을 제거함으로써 정현파에 가깝도록 제어할 수 있었다.

(4) 쇼퍼와 인버터 사이에 병렬 공진회로를 이용함으로써 직류리액터의 크기를 감소시킬 수 있었다.

본 연구는 마이크로프로세서에 의해 태양전지의 출력을 검출하여 샘플링된 과거전력과 현재전력을 비교하므로 항상 최대 출력점을 추적하는, 제어연산에 소요되는 시간을 줄이기 위해 고속연산능력이 뛰어난 DSP의 사용으로 정밀한 제어가 요구된다. 따라서 태양전지에 최대출력제어에 관한 보다 정밀한 제어기법과 최대출력이 항상 유지될 수 있는 MPPT 제어방식을 적용함으로써 소형 발전으로 가정용이나 소규모 전력을 필요로 한 장소에 사용할 수 있도록 설계하고 적용시키는 것이 향후 과제로 사료가 된다.

Acknowledgement

본 연구는 2017년도 하반기 세명대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] H. W. Chun and I. K. You, "Marker and technology trend in super capacitor," *Electronics and Telecommunications Trend*, Vol. 126, No. 5, pp. 122-131, 2014.
- [2] J. K. Lee, and J. R. Yoon, "Effects of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ anode electrode thickness on the cell balancing of hybrid super capacitor," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 15, No. 3, pp. 132-141, 2015.
- [3] D. Cericola, and R. Kötz, "Hybridization of rechargeable batteries and electrochemical capacitors," *Principles and Limits. Electrochimica Acta*, Vol. 72, 30 June 2012, pp. 1-17, 2012.
- [4] B. G Lee and J. R Yoon, "Synthesis of high-performance $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ and its application to the asymmetric hybrid capacitor," *Material of Electrochemistry*, Vol. 9, No. 6, pp.112-116, 2013.
- [5] X. Zou, K. Yu, Z. Zheng, X. Chen, Z. Zou, and D. Liao, "Dynamic current limitation circuit for white LED driver," in *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, Macao; China, pp. 898-901, 2008.
- [6] W. Y. Leung, T. Y. Man. and M. Chan, "A high-power-LED driver with power- efficient LED- current sensing circuit," in *IEEE 2008-34th European Solid-State Circuits Conference, Edinburgh, UK*, pp. 354~357, 2008.
- [7] H. J. Chiu, Y. K. Lo, J. T.Chen, S. J. Cheng, C. Y. Lin, and S. C. Mou, "A high-efficiency dimmable LED driver for low-power lighting applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 2, pp.735-743, 2010.
- [8] X. X. Wang, K. Murakami, O. Sugiyama, and S. Kaneko "Piezoelectric properties, densification behavior and microstructural evolution of low temperature sintered PZT ceramics with sintering aids," *Journal European Ceramic Society*, Vol. 21, No. 10, pp.1367-1373, 2011.
- [9] M. B. Lonnon, R. Shah, Scott Brown, K. Hess "LED Lighting and Super capacitors" 2013, KEMET Electronics Corporation, [Internet]. Available: <http://www.kemet.com/an1004> code:
- [10] J. Hu, Y. Fuda, M. Katsuno and T. Yoshida. "A study on the rectangular-bar-shaped multi layer piezoelectric transformer using length extensional vibration mode," *Japan Journal Apply Physics*, Vol. 38, No. 5B, pp. 3208-3212, 2009.
- [11] S. Kawashima, S. Tagami, H. Hakamata, A. Fukuoka and K. Isobe, "Development of color-LCD backlight inverters

utilizing piezoelectric transformer,” *NEC Research and Development*, Vol. 36, No. 1, pp. 187-199, 2005.

[12] N. Narendran, N. Maliyagoda, L. Deng, and R. Pysar
 “Characterizing LEDs for general illumination applications: mixed-color and phosphor-based white source,” *International Symposium on Optical Science and Technology, San Diego, CA, United States* Vol. 1, No. 2, pp. 4445- 4450, 2001.

[13] R. Itoh, and D. Eng, “Steady-state and transient characteristics

for a single way step-down PWM GTO voltage-source converter with sinusoidal supply current,” *IEE Proceedings*, Vol. 136, No. 4, pp. 168-174, July 1989

[14] S. Nonaka, K. Kesamaru, K. Yamasaki, “Interconnection system with sinusoidal output PWM current source Inverter between photovoltaic arrays and the utility line,” in *Proceeding of International Power Electronics Conference, IPEC-Tokyo, Tokyo: Japan*, pp.144-151, 2009.



황 락 훈 (Lark Hoon Hwang)

1981년 2월 :명지대학교 전기공 학과 (공학사)
 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
 1988년 3월 ~1991년 2월 충남전문대학 전기과 (현, 대덕대학 전기과) 조교수
 1991년 3월 ~현재 세명대학교 전기공학과 교수
 ※ 관심분야 : 전동기 제어, 대체 에너지 분야, 에너지 변환, 반도체 시뮬레이션, 전력전자 응용분야



나 용 주 (Yong Ju Na)

2013년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
 2015년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
 2015년 3월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : 의용공학 및 대체 에너지 분야, 전기기기, 전력전자 응용분야