

ESS 전원동기방식을 이용한 인버터 구동 공간 벡터 유도전동기 속도제어기 설계

나 승 권[°], 정 연 만^{*}

Induction Moter Speed Controller Design of Inverter Driving Using a Source Synchronous Type of ESS

Seung-Kwon Na[°], Yeon-Man Jeong^{*}

요 약

본 논문에서는 태양전지에 대한 특성 해석과 수학적 모델링을 통한 시뮬레이션을 하여 태양전지 특성사양과 비교하였고, 또한 전력변환시스템을 Boost컨버터와 전압형인버터로 구성하여 실험하였으며, Boost컨버터 제어에서 최대전력점 추적을 위해 일정 전압제어법을 사용하였다. 인버터의 제어에서는 SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation)의 스위칭 이론 및 각 섹터에 따른 방향과 안정된 변조를 위해서 동기신호와 제어신호를 위해 마이크로프로세서로 처리하였으며 SPWM 제어법을 사용하여 실험에 적용하였다. 그 결과 태양전지 수학적 모델링 한 시뮬레이션 결과와 태양전지 특성 사양과 비교 하였을 때 5%이하의 오차를 보였으며, Boost 컨버터의 승압률은 167%로 시뮬레이션 결과와 비슷하게 나타났고, 인버터도 시뮬레이션 결과와 비슷한 파형을 얻었으나 손실이 큰 것으로 나타났다. 일반적인 고정방식의 태양광 발전과 위치추적 장치를 설치한 위치추적 방식의 태양광 발전에 대한 비교에서는 태양광 위치추적 장치가 양호한 위치추적 결과가 나타났으며, 고정방식에 비해 위치추적 방식이 전체 발전량에서 5%의 차이로 우수함을 알 수 있었다.

Key Words : Buck-Boost Converter, Energe Storage System, P&O MPPT(Perturbation & Observation Maximum Power Point Tracking), Solar Tracking System

ABSTRACT

In this paper analyzed the characteristics of solar cells and performed a simulation with mathematical modeling for comparison to solar cell characteristics specifications. Also, the power conversion system with a boost converter and a voltage-source inverter was constitute and performed testing on each. In the case of boost converter control, constant voltage control was applied for MPPT(Maximum Power Point Tracking). In the case of inverter control, a microprocessor was used for processing the synchronizing signal and control signal in accordance with the switching theory of SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation) to ensure the proper direction in each sector and stable modulation and the SPWM control method was used and applied to the testing.

When the results of the solar cell mathematical modeling simulation was compared to the solar cell characteristics specifications, the error was 5% or less, and the boost converter's step-up ratio was 167%, which

[°] First and Corresponding Author : Korea polytechnic College Wonju Campus Department of Information and Electric Control Engineering, skna2@hanmail.net 정교수, 정회원

^{*} Gangneung-Wonju National University Department of Information and Telecommunication, ymjeong@gwnu.ac.kr, 정교수, 종신회원
논문번호 : 201905-096-C-RN, Received May 30, 2019; Revised August 22, 2019; Accepted August 22, 2019

approximated to the results from the simulation. but it had large losses. By comparing the conventional fixed solar power generation to solar tracking power generation with an installed tracker, it was found that the solar tracking device performed location tracking well and that the total power generated by the tracking method was 5% greater than the total by the fixed method.

I. 서 론

태양전지의 출력특성은 일사량, 온도와 부하에 의해 크게 변동하기 때문에 가능한 많은 에너지를 얻기 위해 태양전지의 출력을 항상 최대로 제어 한다. 가정용 부하는 교류부하이므로, 태양전지의 출력은 직류로 태양광 발전시스템에서 인버터가 필수적이며 단위 역률을 갖는 정현파 전류 및 전압을 계통에 공급해 주어야 한다.

본 연구에서는 계통연계형 태양광 발전시스템을 DC-DC 승압과 전압형 인버터로 구성하였다. 전력비교에 따른 시비율을 변화시켜 일사량과 온도변화에 관계없이 항상 최대 출력점을 트래킹 하도록 전원 부분의 DC-DC 승압 제어하였고, 전압형 인버터는 전원 측 위상 동기를 위해서 계통전압을 검출하여 계통전압과 인버터 출력을 동상 운전함으로써 고 역률과 저 고 조파 출력으로 부하와 계통에 전력이 공급되도록 제어하였다^[1,2].

PWM 변조기는 동기신호인 계통 전원 전압파형에 왜형 또는 노이즈 등의 외란 성분이 포함되어 있을 때에도 안정도 변조를 해야 하며, 제어를 위한 동기신호와 제어신호를 마이크로프로세서로 처리함에 있어 샘플링의 시점과 캐리어파와의 사이에는 시간 차이가 존재하게 되어 그에 따른 보상법을 필요로 하게 된다^[3,4].

전압형 인버터는 교류 전원 전류가 정현파로 되는 특징을 가지고 있으며 모션 전원과 동기화되는 장치로 고 역률의 운전으로 직류 정 전압을 출력하는 장치, 전력계통의 무효전력을 보상해 역률을 개선 시켜 전력계통의 경제적 운용을 이루게 하는 SVC (Static Var Compensator)의 분야 등에 응용 되어 왔으나, 본 연구에서는 교류 입력전류가 정현파로 되는 특징과 직류 측에 전력을 공급하는 특성을 이용하여 전원 동기 공간 벡터 방식을 이용하여 전동기의 속도를 제어 하였다. PWM방법에 의하여 직류 측 전원을 방전하여 출력전압을 조정하였고, 전원전류에 의해 직류측 축전지에 태양전지의 PV효과와 같이 충전되어 ESS (Energy Storage System)을 만들고, 위상각 제어로서 축전지를 충전하는 기능을 전압형 인버터 하나만으로

구현하였다.

II. 태양광 발전의 특징

광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로는 그림 1과 같다.

이상적인 경우의 광 투사시의 전압·전류 관계는 식 (1)과 같다^[5].

$$I = I_{ph} - I_o [\exp(\frac{qV}{nKT}) - 1] \tag{1}$$

실제로는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 가 가해지기 때문에 전류에 관한 식(2)와 같다.

$$I = I_{ph} - I_o [\exp(\frac{q(v + IR_s)}{nKT}) - 1] - \frac{V + IR_s}{2} \tag{2}$$

그림 2의 집광형 태양광 발전시스템은 집광형 태양광전지 모듈부, 추적시스템부, 전력변환부로 구성되며 부하는 램프를 이용하였다.

CPV Module은 Primary Fresnel Lens, Secondary Lens, III-V계 화합물반도체 태양전지로 구성하였으며 추적시스템부는 태양광 추적위치센서, 제어부 등으로 구성되어 있다. GPS를 통해 태양의 위치에 따라서 경사각과 방위각을 제어하도록 한다. 전력변환부는 CPV Module의 개방전압과 배터리 보호를 위하여 과충전과 과방전 방지 기능을 추가하였다.

태양 추적 장치(solar tracking system)는 태양전지 모듈로 입사되는 태양 광선의 방향을 태양 전지 모듈

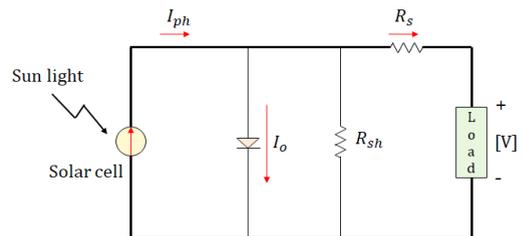


그림 1. 태양전지의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of solar cell

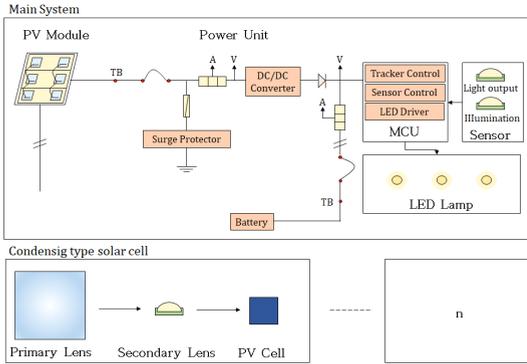


그림 2. 집광형 태양광 발전시스템의 시스템 구성도
Fig. 2. System block diagram of concentration photovoltaic system

집광면 법선 방향과 일치시키기 위해 태양전지 모듈에 부착하는 자동 제어 장치이다. 즉 태양 추적 장치는 계절과 시간에 따라 변화하는 태양의 위치를 따라 항상 태양전지 모듈이 태양을 향하도록 하여 태양광 선과 수직으로 놓여있지 않음으로 인 하여 발생하는 손실 즉 cosine 손실을 최소화 하여 태양에너지를 많이 이용할 수 있도록 하는 제어 장치이다⁶⁻⁸⁾. 태양광 위치추적 장치에서 마이크로프로세서에서의 흐름을 그림 3과 같고 초기 LCD와 ADC를 초기화시키고 5개의 센서로부터 Sensing된 값을 A/D 컨버전 하여 LCD에 각각의 값을 표시하고 각각의 값 중 센서에 따른 최대 또는 최소값을 계산하여 스텝모터의 좌·우 방향으로 회전 및 정지하여 프로그램 하였다.

정상상태에서는 상용 전원으로 DC-DC 컨버터를 이용하여 예비 전원을 충전하고 부하를 사용하도록

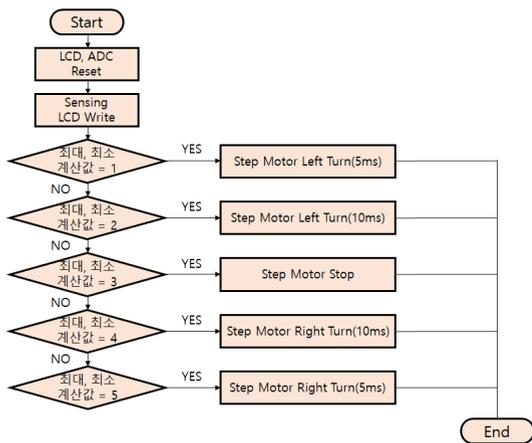


그림 3. 태양위치 추적기의 흐름도
Fig. 3. Flow chart solar position tracker

설계 하였으며 비상시에는 비상전원에 충전된 에너지를 사용하여 부하를 구동시키는 구조로 그림 4와 같이 설계 하였다. 회로구성은 회로부, 비상전원부 및 표시부로 구성하였으며 평상시 계통 전압을 입력 받아 출력을 발생함과 동시에 변압기를 거쳐 인버터를 통해서 에너지 저장장치에 에너지를 저장한다. 계통에 사고 또는 큰 부하 기동에 의한 전압강하 현상이 발생하면 SCR(Silicon Controlled Rectifier) 동작을 통해 계통 전원을 차단한 후 인버터를 통하여 출력측에 일정시간동안 전압을 충전 보상하도록 하였다.

승압형컨버터(step-up and boost converter) 는 입력전압보다 더 큰 출력전압을 제공하는 비 절연형 컨버터로 출력전류는 입력전류보다 작은 특성이 있다.

그림 5에 승압형 컨버터의 회로는 정상상태에서 턴 온과 턴 오프 두 가지 모드로 해석할 수 있다. 스위치의 턴 온 시 인덕터 전류는 증가하며 인덕터 L에는 에너지가 축적되고 모드 1이라 한다.

턴 오프 시 인덕터에 축적되었던 에너지는 다이오드를 통하여 출력측으로 전달되며 인덕터 전류는 감소하게 되며 모드 2라 한다⁹⁾. 그림 6은 모드 1과 2의 동작이다.

계통 연계형 인버터 회로로서 태양전지가 최대 출력점에서 동작할 때 승압초퍼의 출력전압인 직류전압은 인버터에 의해 교류전압으로 변환되며 부하 및 계통 측으로 전류를 공급한다. 계통 측으로 흐르는 전류는 리액터 양단의 전압에 의해서 결정된다¹⁰⁾.

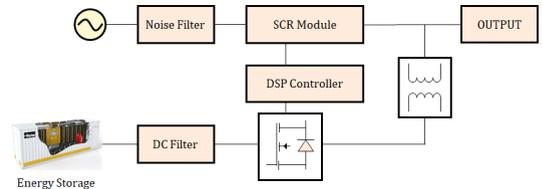


그림 4. 순간전압강하 보상장치 시스템 블록도
Fig. 4. DVR system block diagram

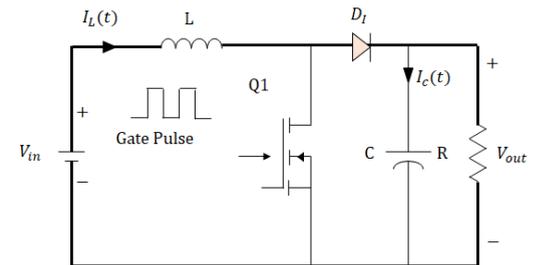


그림 5. 승압형 컨버터 회로
Fig. 5. Boost converter circuit

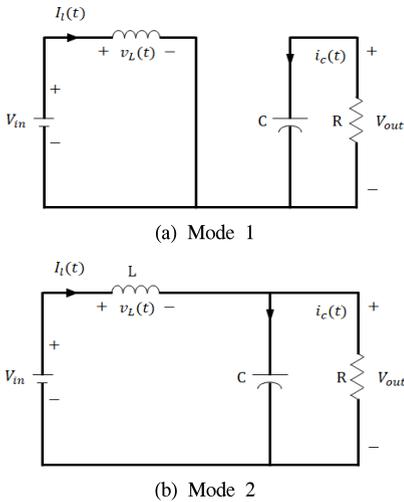


그림 6. 승압형 컨버터의 회로 동작
Fig. 6. Circuit operation of boost converter

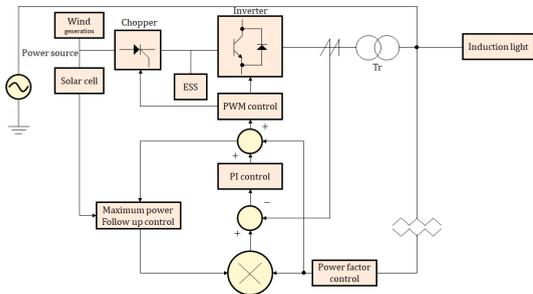


그림 7. 승압형 컨버터 회로
Fig. 7. Boost converter circuit

인버터가 계통선에 유효전력만을 공급하기 위해서는 리액터에 흐르는 전류가 계통전압과 동상이어야 하고 그 크기는 인버터 출력단 측 전압의 위상 제어를 통해 가능하게 된다^[11]. 전체 계통은 그림 7과 같다.

III. 시뮬레이션 및 실험 결과

계통전압과 출력전류를 고 역률로 유지하기 위해서 PWM신호를 발생 할 때까지 걸리는 시간 δ 를 계통전압 A/D 변환하여 필터와 위상 Shifter를 사용하여 보상하고 계통전압과 출력전류를 검출하여 위상차를 조절하여 고 역률을 유지하도록 하였고 병렬공진회로를 사용하여 직류 리액턴스의 크기를 감소시킬 수 있고 스위칭 주파수는 4[KHz]로 구동하였다. 승압형 초퍼를 이용하고 TMS320C31 마이크로프로세서를 이용하여 자동보정하며 세팅된 전압보다 낮아지는 경우에는 전류센서에 의해 주회로 부분이 차단되도록 하였다.

인버터 회로의 시뮬레이션 파형은 그림 8과 같고 승압초퍼 부분의 시뮬레이션은 그림 9와 같다 각각의 시뮬레이션은 Pspice와 PSIM을 이용하였다.

태양광 어레이에서 나온 전압을 Boost 컨버터를 이용하여 승압한 파형은 그림 10과 같다. 실제 실험에서는 35.5[V] 입력에 59.4[V]의 출력을 보였으며 167[%]의 승압률을 보이고 있다. 이는 시뮬레이션에서와 거의 동일한 승압률이 나타났고 실험에 사용한 L은 14.2[mH]이고, C는 440[μ F]을 사용하였다. 또한

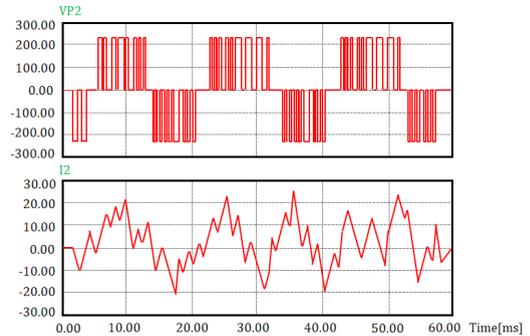


그림 8. 인버터 출력파형 전류 시뮬레이션
Fig. 8. Simulation waveform of Inverter output current

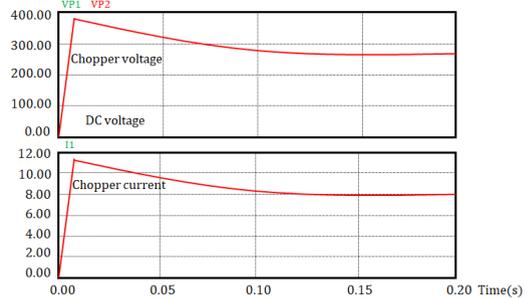


그림 9. 승압초퍼의 전압 전류 시뮬레이션
Fig. 9. Simulation of step up chopper voltage and current

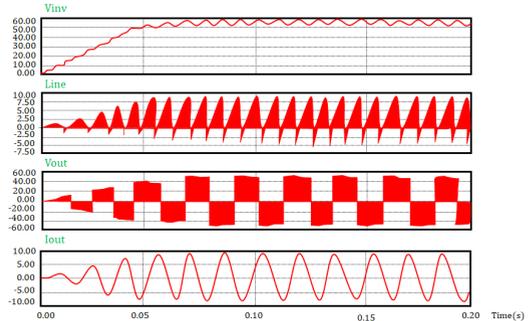


그림 10. 인버터 입출력 파형
Fig. 10. Input-output waveform of inverter

할 때 P&O MPPT 알고리즘에 의해 최대 출력점을 찾아가는 것을 볼 수 있다. 부하변동에 관계없이 정현적으로 동작하는 것을 알 수 있다.

그림 14는 1.2[kW] 태양전지를 새로운 인버터에 연결하여 계통에 직접 연결했을 때의 파형이며 부하 없이 계통에 연결했을 때에도 전압과 전류가 180°의 위상차를 가지고 동작하는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 직류 전압원인 태양전지를 사용하여 낮은 직류전압을 벅 부스트를 사용하여 단상 PWM 전압형 인버터를 구성하여 운전한 경우 불연속모드 PWM 인버터로 구동되는 태양광 발전 시스템에서 인버터의 스위칭 주파수를 줄이고 효율을 개선하기 위하여 인버터의 새로운 구동방식을 제안하여 계통 연계를 위한 인터페이스 회로로서의 타당성 실험을 통해 검증하였다.

인버터 부분에서 스위칭 손실을 상당히 저감시킬 수 있었고 입력단의 인덕터 전류를 전류 불연속 모드로 동작시켜 별도의 입력 전류의 검출이 없이도 출력단을 단위 역률화 할 수 있었다.

벅 부스트와 인버터 사이에 병렬 공진회로를 이용함으로써 직류 리액터의 크기를 감소시켰으며 입·출력분의 순시 전류를 검출하여 제어함으로써 직류 측 부하가 가변 되어도 전원전류가 안정화되는 것을 확인하였다.

본 연구는 마이크로프로세서에 의해 태양전지의 출력을 검출하여 제어 연산에 소요되는 시간을 줄이기 위해 보다 더 고속연산능력이 뛰어난 DSP의 사용으로 정밀한 제어를 함으로써 태양전지의 최대출력 제어를 더욱 정밀한 제어기법으로 최대출력점이 항상 유지될 수 있는 MPPT제어 방식이 적용함으로써 소형 발전으로 가정용이나 소규모 전력을 필요로 하는 장소에 사용할 수 있도록 설계하고 적용시키는 것이 향후 과제로 사료된다.

References

[1] Johanna M. A. Myrzlk, "Novel inverter topologies for single-phase stand-alone or grid connected photo-voltaic systems," *IEEE/PEDS*, pp. 103-108, 2011.

[2] M. Nagao and K. Harada, "Power flow of photovoltaic system using buck-boost PWM

power inverter," *IEEE/PEDS*, pp. 144-149, 2007.

[3] B. K. Bose, et al., "Microcomputer control of a residential photovoltaic power conditioning system," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-215, pp. 1182-1191, 2005.

[4] D. M. Bord and D. W. Novotny, "Current control of VSI PWM inverters," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-21, no. 4, pp. 769-775, 1984.

[5] J. T. Boys and A. W. Green, "Current forced single phase reversible rectifier," *IEE Proc. B*, vol. 136, no. 5, pp. 205-211, Sep. 1989.

[6] 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 Proc. B*, vol. 136, no. 4, pp. 168-174, Jul. 1989.

[7] C. Ilas, A. Bettini, L. Ferraris, G. Griva, and F. Profumo, "Comparison of different schemes without shaft sensors for field oriented control drives," in *Proc. IEEE IAS Annu. Meeting*, pp. 1579-1588, 2004.

[8] Yoan D. Landau, "Adaptive control, the model reference approach," Marcel Dekker, Inc., pp. 11-152, 1979.

[9] F.-Z. Peng and T. Fukao, "Robust speed identification for speed-sensorless vector control of induction motors," *IEEE Trans. Indus. Appl.*, vol. 30 pp. 1234-1240, Sep./Oct. 1994.

[10] L. H. Hwang and Y. J. Na, "Characteristic of VSI driven by source synchronous type for the utility interactive using a photovoltaic generation for the LED luminaire emergency exit sign operation," *J. Adv. Navig. Technol.*, vol. 22, no. 5, pp. 420-428, Oct. 2018.

[11] S. K. Na and Y. M. Jeong, "A study on the induction motor speed control of inverter driving using a source synchronous type of ESS," in *Proc. KICS Summer Conf. Commun.*, pp. 243-244, Gangwon Do, Korea, Jan. 2019.

나 승 권 (Seung-Kwon Na)



1999년 2월 : 세명대학교 전기
공학과(공학사)

2001년 2월 : 세명대학교 대학
원 전기전자공학과(공학석사)

2008년 2월 : 세명대학교 대학
원 전기전자공학과(공학박사)

1981년 7월~1988년 4월 : 삼육
의료원 부산(한방)병원

1988년 5월~1994년 8월 : 한국수자원공사

1994년 9월~현재 : 한국폴리텍대학교 원주캠퍼스 전
기제어학과 교수

<관심분야> 의공학, 신재생에너지 및 대체에너지분
야, 에너지변환, 전력전자응용분야

정 연 만 (Yeon-Man Jeong)



1983년 2월 : 숭실대학교 전자
공학과(공학사)

1985년 2월 : 숭실대학교 대학
원 전자공학과(공학석사)

1991년 8월 : 숭실대학교 대학
원 전자공학과(공학박사)

1993년 3월~현재 : 강릉원주대
학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 신재생에너지, 무선통신시스템, 통신신
호처리, 음성신호처리, 통신회로설계