

# 순차전압시스템을 고려한 독립형 태양광 발전 시스템에 관한 연구

## A Study on the Off-Grid Photovoltaic Generation System with Sequential Voltage System

김 구 용\*, 배 준 형\*, 김 중 해\*<sup>★</sup>

Gu-Yong Kim\*, Jun-Hyung Bae\*, Jong-Hae Kim\*<sup>★</sup>

### Abstract

This paper presents the off-grid PV-ESS system of sequential voltage control method applied to OR logic gate. The conventional off-grid PV-ESS system with the low-voltage series connection has problems due to capacity expansion. To solve these problems, this paper proposes a noble PV-ESS system with high efficiency and low cost by applying sequential voltage control technique of the high-voltage series connection of analog circuit type. The input voltage of DC to AC inverter can be converted from the low-voltage by the combinations of series connection of the conventional cascaded 24V solar cell unit modules to the high-voltage of 384V in battery. The output voltage of the battery was 384V as the each input voltage of three phase DC to AC inverter, and the each output voltage of three phase 10kW DC to AC inverter is designed to be AC380V@60Hz as the line to line rms voltage value. To prove the validity of the theoretical analysis by PSIM simulation, the operating characteristics of sequential voltage control system with OR logic gate were confirmed through experiment results.

### 요 약

본 논문에서는 OR논리게이트를 적용한 순차전압제어방식의 독립형 PV-ESS 시스템을 나타내고 있다. 저압연계방식으로 용량확대에 따른 문제점들을 가지고 있었던 기존 독립형 PV-ESS 시스템에 고압의 아날로그 방식의 순차전압제어 방식을 적용함으로써 고효율, 저가격이 가능한 독립형 PV-ESS 시스템을 제안한다. 본 논문은 기존 24V 태양광 단위 모듈의 직렬연결 확장형 고압 배터리의 출력전압 384V를 3상 DC to AC 인버터의 입력 전압으로 하여 인버터의 출력 전압과 출력 전력을 AC380V@60Hz와 10kW로 구성하였다. PSIM 시뮬레이션에 의한 이론 해석의 타당성을 입증하기 위해 실험을 통해 OR 논리 게이트를 적용한 순차전압제어시스템의 동작 특성을 확인하였다.

*Key words* : DC to AC Inverter, Off-grid PV-ESS, OR logic gate, Sequential voltage system, Solar cell unit

\*School of Electronic and Electrical Engineering, Daegu Catholic University

★ Corresponding author

E-mail : kjhassk@cu.ac.kr, Tel: +82-53-850-2781

※ Acknowledgment

This work was supported by research grants from Daegu Catholic university in 2019.

Manuscript received Mar. 6, 2020; revised March. 20, 2020; accepted March. 23, 2020.

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.

### 1. 서론

최근 전기관련 산업 및 다양한 제품군의 발달로 전력수요가 증가함에 따라 계통과 연계되지 않은 (Off-Grid)지역을 중심으로 ESS(Energy Storage System)를 활용한 Off-Grid 및 Hybrid Type의 RES (Renewable Energy System)에 대한 수요도 증가하고 있다.<sup>1)2)</sup> 기존 PV 시스템을 활용한 Off-Grid와 Hybrid 시스템은 주로 소규모의 부하를 많이 사용하므로 저압의 DC입력을 가지는 인버터를 주로 사용하며, 기존의 배터리 충전을 제어하는 MPPT 태양광

컨트롤러는 24V, 48V의 저압용 컨트롤러 밖에 상용화되어 있지 않다. 이처럼 저압 DC 시스템을 사용하는 기존 시스템은 높은 전압의 DC 시스템에 비하여 많은 전류가 이동하며, 허용전류량을 고려하여 전선의 굵기가 굵어지고 케이블이 차지하는 공간이 커지므로 비용의 증가를 초래하며, 시스템의 병렬개수에 따른 보호계전기의 개수를 고려하여야한다.

기존의 저압 DC 시스템과 연계되는 Off-Grid, Hybrid 시스템으로는 중대형용량의 시스템을 저렴한 가격에 구성하지 못하며 개발도상국을 포함한 계통이 연계되지 않은 지역의 니즈에 부합하지 못하므로 시장진입에 한계가 있다. 그러므로 비용적인 문제점을 해소하고 시스템의 신뢰성을 높이기 위하여 부하의 사양에 따라 사용되는 다양한 DC 입력력을 가지는 인버터와 호환이 되어야하며, DC 시스템과 인버터와의 미스매칭을 제거하여 신뢰성을 높이기 위한 시스템의 제어방식이 포함된 기존방식과는 다른 독창적인 시스템의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 기존의 태양광 발전시스템에서의 저압 DC 시스템 병렬연계방식의 용량확대에 따른 전류량 증가로부터 비롯되는 문제점을 가지고 있었던 기존 방식으로부터 시스템의 용량확대에 따른 고압 인버터를 사용하기 위하여 DC 시스템을 직렬연계방식으로 구성하였으며 이를 제어하여 미스매칭에 의한 시스템의 에러를 해소하기 위하여 OR논리게이트를 이용한 아날로그방식의 릴레이 시퀀스를 인버터와 DC 시스템, 배터리 사이에 추가하여 시스템을 보호하는 기능을 내재한 순차전압제어시스템을 통해 고효율, 저가격 및 고신뢰성 등이 가능한 고압 직렬연계방식의 새로운 PV-ESS시스템을 제안하였다.

## II. 본론

### 1. 기존 시스템 방식

기존 Off-Grid PV-ESS 시스템은 지금까지 작은 부하를 많이 사용하여 대부분 24V, 48V의 저압병렬연계방식으로 구성되었다. 그림 1은 기존 Off-grid PV-ESS시스템 구성도를 나타내고 있으며, 부하의 사용 용량과 부조일수를 고려하여 저압의 시스템을 병렬로 연계하여 사용한다. 저압병렬연계방식의 시스템에서 전류량은 병렬회로 수에 비례하므로 용량이 커짐에 따라 전류량이 증가한다. 이에 따라 사용되는 소자들의 사양이 커지고 동판의 면적이 넓어지는 등

전반적으로 구성기기가 차지하는 공간이 커지게 되며, 사용 가능한 저압용 인버터의 출력의 한계로 인해 중대형용량을 가지는 시스템을 구성하기 어렵다.

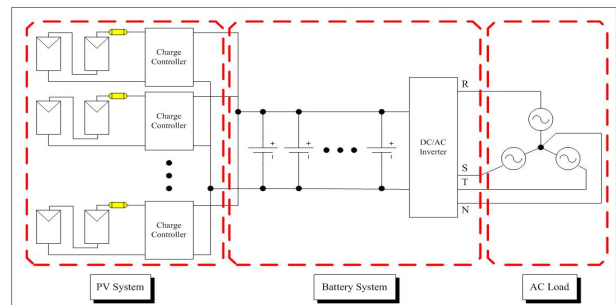


Fig. 1. Configuration diagram of conventional off-grid PV-ESS system with the low-voltage parallels connections.

그림 1. 저압병렬연계방식을 고려한 기존의 독립형 PV-ESS 시스템의 구성도

### 2. OR논리게이트를 적용한 순차 전압 제어 방식

가. 고압직렬연계방식의 PV-ESS 시스템

중대형 용량을 가지는 Off-Grid PV-ESS시스템의 경제적인 구성을 위해 본 논문에서는 기존의 저압병렬연계방식보다 DC-AC 인버터의 높은 입력 전압을 가지는 고압직렬연계방식을 제안하였다.

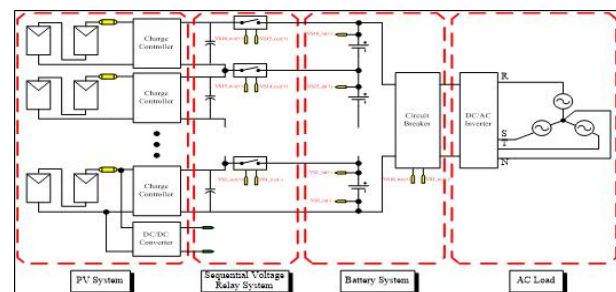


Fig. 2. Configuration diagram of off-grid PV-ESS system of the high-voltage series connection with sequential voltage control method.

그림 2. 순차전압제어방식을 고려한 고압직렬연계방식의 독립형 PV-ESS시스템 구성도

그림 2는 OR논리게이트 순차전압제어를 적용한 고압직렬연계방식의 PV-ESS시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다. 그림 2에서 알 수 있듯이 직렬로 연결된 시스템 모듈을 컨트롤하기 위해 24V로 구성된 각 모듈에서 컨트롤러와 배터리 사이에 릴레이가 구성되어 있다. 릴레이는 배터리 전압 상태에 따라 점점의 단락 및 개방을 통하여 각 전력변환장치와 배터리를 물리적으로 분리하여 시스템을 보호하기 위해 사용하였다. 그러므로 각 모듈의 제어를 위하

여 직렬로 연결한 DC 시스템 모듈의 개수만큼 릴레이가 사용되며 또한 배터리의 과방전 및 과충전으로 인한 DC-AC 인버터 시스템을 보호하기 위해 인버터와 배터리 사이에도 릴레이를 추가하였다.

나. OR논리게이트를 적용한 순차전압시스템의 릴레이 제어방식

고압직렬연계방식의 순차전압제어 PV-ESS 시스템에서 DC-AC인버터의 입력전압을 저압에서 고압으로 승압하기 위해 각 태양광 단위 모듈 또는 배터리로부터 검출된 전압 정보를 기반으로 각 배터리와 각 Charge controller의 신호에 연결된 릴레이의 동작을 제어한다. 제어 대상이 되는 검출 전압은 배터리 또는 Charge controller의 출력이며 배터리 또는 Charge controller의 출력 전압은 직렬연계방식의 각 태양광 단위 모듈의 백 컨버터의 출력단과 같으며 DC-DC 컨버터 모듈을 직렬연계방식으로 연결할 경우 해당 회로의 출력 전압과 배터리의 출력 전압은 같다.

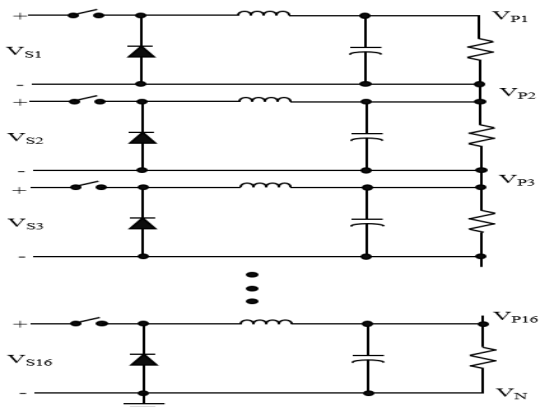


Fig. 3. Boost circuits converting form 24V to 384V by series connections of 24V solar cell unit module  
그림 3. 24V 태양광 단위 모듈의 직렬 연계에 의한 24V에서 384V로 변환하는 승압회로

그림 3과 같이 24V 태양광 단위 모듈을 384V로 승압하기 위해서는 16개의 24V 태양광 단위 모듈을 직렬로 연계하기 위한 순차전압제어방식을 통해 구성할 수 있다. 또한 배터리 시스템의 과충전 및 과방전에 의한 배터리 시스템의 치명적인 손상방지를 위해서는 각 배터리의 출력 전압을 검출하는 제어회로가 필수적이다.

직렬연계방식의 해당 시스템을 제어하기 위해 각 모듈의 전위차를 검출하여 정상동작 범위를 벗어날 경우 시스템 전체를 통제하기 위해 OR논리게이

트를 이용하여 릴레이를 Normal open상태로 두어 인버터와 컨트롤러, DC 시스템을 분리한다.

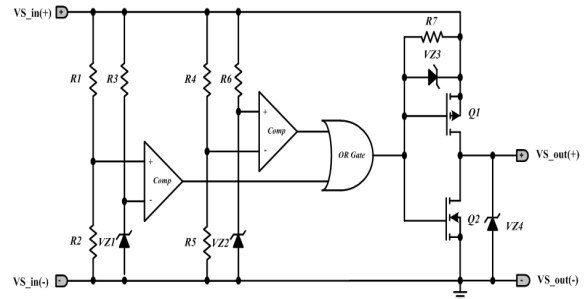


Fig. 4. OVP(Over Voltage Protection) and UVP(Under Voltage Protection) control circuits of sequential voltage control system using OR logic gate  
그림 4. OR 논리 게이트를 이용한 순차전압제어 시스템의 OVP와 UVP 제어 회로

OR 논리 게이트를 이용하여 OVP/UVP제어를 하여 릴레이를 컨트롤 할 경우 그림 4와 같은 회로로 구성할 수 있으며, 해당 회로는 PV-ESS 시스템에서 배터리의 전압을 검출하여 정상전압일 때 릴레이에 신호를 인가하여 릴레이를 Close상태로 전환 시킨다.

3. PSIM 시뮬레이션

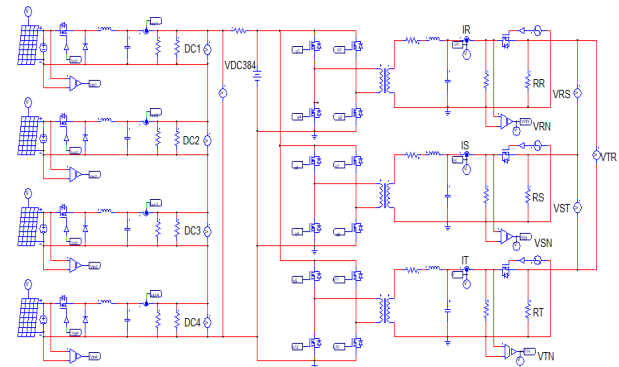


Fig. 5. PSIM simulation circuit of Off-grid PV-ESS system.  
그림 5. 독립형 PV-ESS 시스템의 PSIM 시뮬레이션 회로

그림 5는 본 논문에서 제안한 직렬연계방식을 통하여 보다 높은 배터리 입력전압을 가지는 순차전압제어 PV-ESS 시스템의 PSIM 시뮬레이션 전체 구성도를 나타내고 있다. 그림 5에서 알 수 있듯이, 24V 태양광 단위 모듈이 4개로 구성된 96V 태양광 전원 모듈을 직렬로 연결하여 배터리의 출력전압 384VDC를 DC-AC 인버터의 입력전압으로 하여 각 단위별 인버터에 SPWM제어를 통해 Y-Y결선 2차측 선간전압과 출력이 380VAC @60Hz와 10kW되도록 설계하였다.

그림 6(a)(b)는 본 논문에서 제안한 직렬연계방식의 순차전압제어 PV-ESS 시스템에서 3상 인버터의 각 상전압과 상전류를 나타내고 있다. PSIM 시뮬레이션 한 결과, 10kW 3상 DC to AC 인버터의 2차측 각 상전압과 상전류의 실효치가 220V@60Hz 와 13.7A임을 확인하였다.

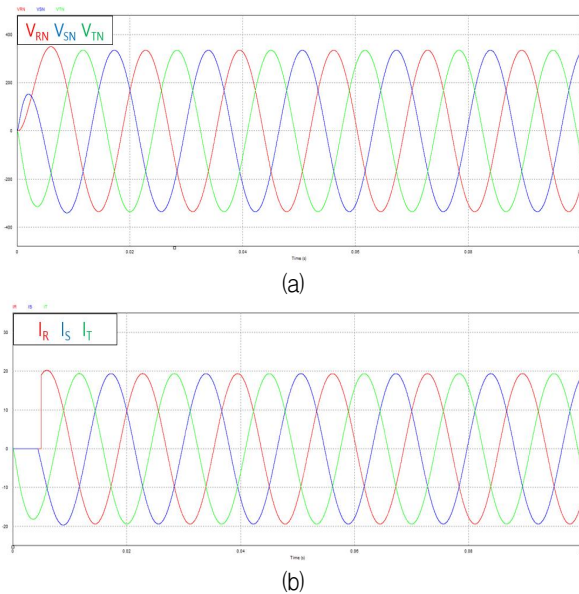


Fig. 6. Each phase output voltages and currents of three phase DC to AC inverter with 10kW : (a) phase voltage, (b) phase current  
 그림 6. 10kW 3상 DC to AC Inverter의 각 상의 출력 전압 및 출력 전류 : (a) 상전압, (b) 상전류

4. 실험

본 논문에서 제안한 고압직렬연계방식의 순차전압제어 PV-ESS시스템의 이론 해석의 타당성을 검증하기 위하여 500W 24V 태양광 단위 모듈 4개를 1 set로 한 96V DC-DC charge controller를 하나의 단위 모듈로 구성하여 실험을 수행하였다. 그림 7은 무부하 및 전부하일 때의 각상의 전압, 전류 및 출력 특성을 나타내고 있으며, 각 상의 상전압과 상전류의 실효치는 각각 220V@60Hz 및 13.7A임을 알 수 있으며 시뮬레이션 파형과 일치함을 알 수 있었다. 그림 7에서 알 수 있듯이, 무부하 시의 출력특성과 비교하였을 때 전압 변동률은 1% 이내 인 것을 확인할 수 있었다.

III. 결론

본 논문에서는 OR 논리게이트를 적용한 순차전압

메인		순시치	회로 1	2018.04.25
U1	220.52 V	I1	0.429 A	U 300V x 1.00 I x 50A x 1.00
U2	221.17 V	I2	0.000 A	
U3	221.26 V	I3	0.000 A	
Uave	220.98 V	Iave	0.143 A	
P1	0.087kW	Q	0.037kvar	결선 3P4W
P2	0.000kW	S	0.095kVA	회로수 x1
P3	0.000kW	PF	0.9182	PLL 60Hz
P	0.087kW	f	60.002 Hz	인터벌 5sec
WP+	0.0000kWh	f	0:00:00	

(a)

메인		순시치	회로 1	2018.04.25
U1	220.38 V	I1	14.008 A	U 300V x 1.00 I x 50A x 1.00
U2	220.21 V	I2	13.546 A	
U3	220.54 V	I3	13.572 A	
Uave	220.37 V	Iave	13.708 A	
P1	3.087kW	Q	0.062kvar	결선 3P4W
P2	2.983kW	S	9.063kVA	회로수 x1
P3	2.993kW	PF	1.0000	PLL 60Hz
P	9.063kW	f	59.986 Hz	인터벌 5sec
WP+	0.0000kWh	f	0:00:00	

(b)

Fig. 7. Each phase output voltages and currents of three phase DC to AC inverter with 10kW : (a) No load, (b) Full load.

그림 7. 무부하와 전부하시의 10kW 3상 DC to AC 인버터의 각 상의 출력 전압 및 출력 전류 : (a) 무부하, (b) 전부하

방식의 24V 저압 태양광 DC 시스템을 직렬 연결하여 고압의 입력을 가지는 인버터와 연계한 PV-ESS 시스템을 나타내었다. 저압병렬연계방식의 독립형 PV-ESS 시스템의 용량확대에 따른 문제점을 OR 논리 게이트를 적용한 고압직렬연계방식의 릴레이 순차전압제어를 PV-ESS에 적용함으로써 문제점을 개선하였다. 최종적으로는 PSIM 시뮬레이션에 의한 이론 해석의 타당성을 입증하기 위해 실험을 통해 OR 논리 게이트를 적용한 순차전압제어시스템의 동작 특성을 확인하였다.

References

[1] Y. S. Yoon et al., "A Study on the Economic Analysis Method of Energy Storage System," *J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.*, Vol.19, No.3, pp.596-606, 2015. DOI: 10.6109/jkiice.2015.19.3.596  
 [2] H.S. Shin et al., "A Study on Sizing of Battery for Effective Operation of Stand-alone Renewable Generation System," *The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol.67P, No.1, pp.15-20, 2018. DOI: 10.5370/KIEEP.2018.67.1.015