태양광 패널 고장 진단기기를 위한 소자 특성 및 Mux 회로 제어 방법에 대한 연구

선용근^{*,**} · 신현진^{***,****} · 최의성^{*****} · 신우균^{*****} · 고석환^{*****}

^{*}주식회사 데벤텐코리아, 연구원

^{**}경북대학교 물리학과, 박사과정

^{***}주식회사 데벤텐코리아, 선임연구원

^{****}한국교통대학교 전기공학과, 박사과정

^{*****}주식회사 데벤텐코리아, 수석연구원

^{*****}한국에너지기술연구원 신재생에너지 연구소 태양광연구단, 연구원

^{*****}한국에너지기술연구원 신재생에너지 연구소 태양광연구단, 책임연구원

Characteristics of Semiconductor Device and Multiplexer Control Method for Photovoltaic Panel Fault Diagnosis

Seon Yong-Geun^{*,**} · Shin Hyun-Jin^{***,****} · Choi Eui-Seong^{*****} ·
Shin Woo-Gyun^{*****} · Ko Suk-Whan^{*****}

^{*}Researcher, Dewetron Korea, LTD

^{**}Ph.D. Candidate, Department of Physics, Kyungpook National University

^{***}Senior Researcher, Dewetron Korea, LTD

^{****}Ph.D. Candidate, Department of Electrical Engineering, Korea National University of Transportation

^{*****}Chief Researcher, Dewetron Korea, LTD

^{*****}Researcher, Photovoltaics Research Department, New and Renewable Energy Institute, Korea Institute of Energy Research

^{*}Principal Researcher, Photovoltaics Research Department, New and Renewable Energy Institute, Korea Institute of Energy Research

[†]Corresponding author: system@dewetron.co.kr

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.40, No.6, pp.105-111, December 2020
<https://doi.org/10.7836/kjes.2020.40.6.105>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 13 November 2020

Revised: 23 November 2020

Accepted: 23 November 2020

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

In Korea, the annual installed PV capacity has increased over the years. However, the supply of photovoltaic panel fault diagnosis techniques for efficient management is still insufficient. Thus, many research groups and companies have been developing photovoltaic panel fault diagnostic equipment to measure I-V characteristics ($1500\text{ V}_{\text{Max}}$ and 50 A_{Max}) and calculate the power efficiency of photovoltaic panels to quickly detect faults. In these methods, the capacitor load is used to measure the I-V curve of the photovoltaic panel. In addition, a MOSFET is used for stable I-V measurement and Multiplexing, and a high sampling ADC is used for simultaneous and quick (6 s) multi-channel measurements.

Keywords: 태양광 패널 고장진단(Photovoltaic panel fault diagnosis), Mux 회로 제어(Multiplexer control), 다채널 I-V 측정(Multichannel I-V measurement), I-V 정밀측정(Precise I-V measurement), 고속 ADC(High sampling ADC)

1. 서론

환경문제로 인하여 태양광 발전설비의 설치용량은 갈수록 증가하고 있으나 이해 부족으로 인한 관리 미비, 잘못된 공사 설계, 태양광 모듈의 불량 등으로 인해 효율적인 태양광 발전이 이루어지지 않는 곳이 태반이다. 효율적인 태양광 발전이 이루어지지 않는 이유로는 기상변화에 따른 오염, 나무, 건물 등 구조물에 의한 그늘, 모듈 프레임과 셀 사이의 전압 차 발생으로 생기는 발전량 저하 현상(PID ; Potential induced degradation), 핫셀 등이 존재한다. 이러한 문제점들은 I-V 특성 곡선 분석을 통해 대부분 파악이 가능하다^{1,2)}.

현재 I-V 특성 곡선 측정이 가능한 장비들은 일본, 독일, 미국, 한국 등에서 판매하고 있다. 그러나 현재 판매하고 있는 측정 장비들은 접속함 최대 채널인 24채널을 단번에 측정할 수 없어 측정 및 분석에 불편하다. 이러한 점을 보완하기 위해서 다양한 예서는 현장에서 누구나 사용할 수 있고 접속함 1개를 단번에 측정할 수 있게 하려고 24채널로 구성된 태양광 I-V 측정 및 고장진단기기를 개발하고 있다. 또한 개발 중인 장비는 최대 전압 범위 1500 V, 최대 전류 범위 50 A까지 측정할 수 있다.

본 연구에서는 개발 중인 태양광 고장진단기기에 필요한 태양광 I-V 다채널 측정 방법에 관한 연구와 I-V 측정을 위한 회로 소자 특성에 관한 연구 결과를 다루고 있다.

2. 태양광 I-V 측정 방법

태양광 I-V 측정하는 대표적인 방법은 가변저항 부하를 이용하는 방법과 축전기를 이용하는 방법 두 가지가 존재한다. 가변저항 부하를 이용하는 방법은 가변저항의 값을 변경해가며 저항 부하에 걸리는 전압과 전류를 측정하여 I-V 곡선을 그릴 수 있으며^{3,4)} 축전기를 이용하는 방법은 축전기의 충-방전 특성을 이용하여 충전할 때 축전기에 흐르는 전류와 전압을 측정하여 I-V 곡선을 그릴 수 있다^{4,5)}. 현재 현장에 설치된 대부분 접속함은 1개 채널당 최대 전압 범위는 1500 V, 최대 전류 범위는 10 A으로 가변저항 부하를 이용하여 I-V를 측정하기 위해서는 길이가 1 m 이상인 가변저항을 사용하여야 하므로 휴대용 제품으로 개발하기에는 부적합하다. 그에

Fig. 1 Schematic diagram of a photovoltaic panel I-V measurement circuit

반해 축전기의 경우 가장 긴 변의 길이가 5 cm로 약 50 cm³의 부피만을 차지하기 때문에 축전기를 이용하는 방법이 휴대용 I-V 측정기기에 적합하다(Fig. 1참조).

3. 다채널 측정 방법 연구

3.1 다채널 측정 방법

일반적으로 ADC (Analog-to-digital converter)의 아날로그 신호 입력 채널은 최대 16채널이다. 그러나 접속함의 경우 최대 24채널로 구성되어 있다. 한 개의 접속함을 일사량, 대기 온도 그리고 패널 온도와 동시에 한 장비를 이용하여 단번에 측정하기 위해서는 두 개의 ADC를 사용하거나 Mux 회로(Multiplexer)와 한 개의 ADC를 사용하여 구성할 수 있다. 두 개의 ADC를 사용할 경우 측정 프로그램의 메모리 사용량이 2배로 증가하여 상대적으로 고가의 하드웨어가 필요하다. Mux 회로를 이용할 경우 ADC의 입력 한 채널에 몇 개의 채널이든 연결할 수 있다. Mux 회로는 다채널 입력 1개 출력으로 구성된 회로이며 논리회로의 입력값을 토대로 출력될 입력 채널을 결정한다. Mux 회로를 제어하기 위해 ADC의 디지털 출력과 릴레이 회로를 이용하였다. Mux 회로를 제어하여 다채널 측정하기 위한 가장 단순한 방법은 Mux 회로와 ADC 사이에 릴레이 회로를 추가하여 ADC는 릴레이 회로를 제어하여 Mux 회로의 입력 채널이 순차적으로 출력되도록 하는 법이다(Fig. 2 참조).

Fig. 2 Block diagram of multi-channel measurement circuit

3.2 다채널 태양광 I-V 측정을 위한 Mux 회로 제어 시퀀스

다채널 측정 방법을 이용하여 태양광 I-V 측정을 하기 위해서는 Mux회로와 ADC의 아날로그 신호 입력 채널 사이 스위칭 소자, 충·방전 회로가 필요하다(Fig. 3(A) 참조). 측정 시퀀스는 Fig. 3(B)와 같으며 방전 시에는 Mux 회로의 출력 부분 연결을 끊고 방전 회로와 축전기 부하를 연결한다. Fig. 3(B)은 Mux 한 채널에 대해 시퀀스이며 시퀀스의 시간은 소자 또는 측정하고자 하는 시스템에 따라 변경할 수 있으며 N:1 Mux 회로의 경우

시퀀스를 반복 실행시켜주면 된다. Fig. 3(A) 구성과 Fig. 3(B)의 측정 시퀀스를 이용하여 태양광 모듈 한 개에 대한 시험 측정한 결과는 Fig. 4와 같다. 시험 측정 시 4:1 Mux회로와 16 bit 고속 ADC를 이용했으며 샘플링 주파수 값을 100 kHz로 설정하고 측정하였다. 4개의 I-V 곡선을 측정하기 위해 전압 전류 측정 시간은 3초 이내이다(Fig. 4 참조). 즉 ADC가 최대 한 번에 받을 수 있는 아날로그 입력 채널은 16채널을 고려하였을 때 2채널(전압, 전류)마다 한 개의 4:1 Mux를 이용하여 최대 32개의 I-V 곡선을 3초 이내 측정이 가능하다. 실제 측정에서는 최대 전압이 약 1000 V로 방전 시간은 800 ms, 충전시간은 200 ms, 그리고 측정시간은 적어도 400 ms가 필요하다. 이를 토대로 실제 환경에서 한 개의 접속함의 모든 채널의 I-V 곡선을 측정하는데 걸리는 시간을 계산하면 6초 이내임을 알 수 있다.

Fig. 3 Block diagram and sequence of multi-channel I-V measurement, (A) block diagram, (b) measurement sequence

Fig. 4 The results with voltage and current multi-channel measurement, (Blue line) voltage, (Orange line) Current

4. 태양광 I-V 측정을 위한 스위칭 소자 특성 연구

충방전 회로를 구성하기 위해서 스위칭 소자를 추가하였으며 1500 V, 10A에서 무리 없이 동작하는 차단기, 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT ; SKM 75GB128D) 그리고 전계효과트랜지스터(MOSFET ; C2M0040120D)의

3가지 소자를 이용하여 소자 특성 연구를 진행한 결과 차단기의 경우 내부에 스프링이 존재하며 스프링에 의해 차단기가 제어된다. 그래서 I-V 측정을 위해 차단기가 도통상태가 될 때, 스프링의 진동에 의해 전압이 흔들리는 현상이 발생하여(Fig. 5 참조) 제대로 된 태양광 I-V 특성 곡선 분석이 이루어질 수 없다.

Fig. 5 Photovoltaic panel I-V measurement result with breaker switch

IGBT는 컬렉터부분에 P층이 구성되어 있고 게이트부분에 N층으로 구성되어 있어 IGBT의 경우 전자와 홀에 의해 양방향 전류가 흐르며 고내압화해도 ON 저항(소자를 동작시켰을 때의 이미터(소스)와 컬렉터(드레인) 사이 저항)이 크지 않다⁶⁾. 이 때문에 역전류 발생 시에도 완전차단하지 못하고 흐르게된다. Fig. 6은 IGBT를 이용한 모듈 한 장에 대한 테스트 결과이며 실제 접속한 한 채널에 대해 생각하면 오프셋은 약 5 V 이상으로 매우 큰 값을 가지게 된다.

Fig. 6 Photovoltaic panel I-V measurement result with IGBT

MOSFET의 경우에는 IGBT와 다르게 드레인에 P층이 형성되어 있지 않고 전자에만 의해 전류가 흐른다. 그리고 고내압화하면 N층이 두꺼워져 ON저항값이 매우 커진다⁷⁾. 이 때문에 역전류를 완전히 차단할 수 있다. 결론적으로 MOSFET의 ON저항 특성에 의해 완전 방전이 가능하여 MOSFET을 사용 시 Fig. 7과 같이 안정적인 결과를 획득할 수 있다.

Fig. 7 Photovoltaic panel I-V measurement result with MOSFET

5. 결론

태양광 발전 설비 접속함 한 개 기준 모든 채널을 단번에 측정하기 위해서 다채널 I-V 측정이 가능하도록 회로를 구성하고자 연구를 진행하였으며 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 가변저항 부하의 단점인 크기를 극복하기 위하여 축전기 충·방전 방법을 이용하여 태양광 I-V 측정이 가능하도록 회로를 구성하였다.
- (2) ADC의 아날로그 입력 채널 수의 한계를 극복하기 위하여 ADC의 디지털 출력 기능 및 Mux 회로를 이용하여 다채널 I-V 측정이 0.02초 이내에 가능하도록 개발하였다.
- (3) 소프트웨어와 고속 ADC를 이용하여 다채널 측정 시퀀스를 설계하였으며 충·방전 스위칭 소자 연구를 통해 최적의 스위칭 소자가 MOSFET임을 확인하였고 이를 이용하여 안정적인 다채널 측정이 가능하도록 개발하였다.
- (4) 본 다채널 측정 방식을 이용하여 현장에 적용하여 관리 미흡으로 효율 저하가 일어나고 있는 태양광 발전 설비의 효율 상승이 기대된다.

후기

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호: 2018020010990).

REFERENCES

1. Chine, W., Mellit, A., Lughi, V., Malek, A., Sulligoi, G., and Massi Pavan, A., A Novel Fault Diagnosis Technique for Photovoltaic Systems Based on Artificial Neural Networks, *Renewable Energy*, Vol. 90, pp. 501-512, 2016.
2. Shin, W. G., Lim, J. R., Kang, G. H., Ju, Y. C., Hwang, H. M., and Ko, S. W., Current Flow Analysis of PV Arrays under Voltage Mismatch Conditions and an Inverter Failure. *Applied Sciences*. Vol. 9, No. 23, pp. 5163(1)-5163(12), 2019.
3. Durán, E., Piliouline, M., Sidrach-de-Cardona, M., Galán, J., and Andújar, J. M., Different Methods to Obtain the I-V Curve of PV Moudles: A Review, 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, DOI : 10.1109/PVSC.2008.4922578, 2008.
4. Park, Y. N., Jang, G. S., Ko, S. H., Kang G. H., So, J. H., Jung, Y. S., Ju Y. C., Hwang, H. M., and Song, H. J., The Study of Method about the Multi-channel Simultaneous Neasurement for Measuring the I-V Curve of Photovoltaic Array. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 37, No. 4, pp. 22-23, 2017.
5. Erkaya, Y., Flory, I., and Marsillac, S. X., Development of a String Level I-V Curve Tracer. 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), DOI: 10.1109/PVSC.2014.6925594, 2014.
6. Jayant Baliga, B., Chapter 3 IGBT Structural Design, *The IGBT Device: Physics, Design and Applications of the Insulated Gate Bipolar Transistor*, 2015.
7. Gibilisco, S., Chapter 23. The Field-Effect Transistor, *Teach Yourself Electricity and Electronics*, Fifth edition, 2011.