Application of plug-in real time Hot-Spot detection system into PV peak bridge method in PV generation system

太陽光発電システムにおける Plug-in リアルタイムホットスポット検出システムの PV ピークブリッジ法への適用

Naoaki IIZUKA, Kazutaka ITAKO, Masataka OCHIAI and Bakhsh HOSSAM

Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimoogino, Atsugisi, Kanagawa, 243-0292 Japan

TEL: +81-46-291-3152 FAX: +81-46-291-3152 e-mail: itako@ele.kanagawa-it.ac.jp

(Received 27 January, 2017 Accepted 15 February, 2017)

Currently, the production and installation quantity of photovoltaic modules has been increasing rapidly. Meanwhile, the failure cases are also increasing. Accordingly, many failures are results of the Hot-Spot phenomenon. This is a phenomenon in which the entire or part of the defective cell becomes hot when shadow occurs on the cell for a long period. In severe cases, the phenomenon causes breaking of the cell and a fire. While there are many Hot-Spot inspection methods, such as using infrared cameras, the inspection instruments of these methods are expensive, and these methods also require a lot of time and effort during the inspection. Previously, the authors proposed a Hot-Spot detection system included into PCS. In this paper, we proposed plug-in type Hot-Spot detection system, and report about effectiveness of the system.

Keywords : PV Generation System, Hot-Spot, PV Modules

I. INTRODUCTION

近年、日本では固定価格買取制度の実施により、太陽電池モジュールの生産数及び導入数が増加している。それに伴い、設置から年数が経過したモジュールの故障件数も増加している。故障原因の一つに、ホットスポット現象がある。図1にホットスポットの発生してるモジュールの例を示す。ホットスポット現象とは、欠陥セルに長時間影が生じると、セル温度が非常に高くなる現象である。このホットスポット現象によって、セルの破壊や火災などを引き起こす危険性がある。従来のホットスポット検査法として、サーモグラフィによる温度検査があるが、検査時間や労力を要するなどの問題点がある。また、ホットスポットは検査時に発生していなくても、常に発生する可能性があるため、リアルタイムでホットスポットを監視することが求められている。

先に、筆者らは主に新設の太陽光発電システムを対象

として、パワーコンディショナ（PCS）に搭載するリアルタイムホットスポット検出システムを提案し、その有効性を示した。¹ところで、平成29年に改正FIT法の施行に伴って、システムの設置後にも定期的なメンテナンスが義務化されるため、既設のシステムに対しても、ホットスポット検出システムが要求されてきている。そこで、本論文では既設のシステムに対応した Plug-in 型（後

Fig.1. Example of Hot-Spot module.

SAS Award was given to this paper presented as Poster Presentation at the 2016 SAS Symposium.

付け型) のリアルタイムホットスポット検出システムを新しく提案し、その有効性を検討した。

II. PRINCIPLES OF PROPOSED SYSTEM

II -A. Hot-Spot detection method

表 1 に今回実験対象とした単結晶太陽電池モジュールの規格を示す。この規格は、基準状態：モジュール温度 25℃、AM1.5、放射照度 1kW/m² での値である。

Table 1. PV module specifications.

Articles	Output values
Maximum power	50 [W]
Maximum operation current	3.05 [A]
Maximum operation voltage	16.4 [V]
Short circuit current	3.35 [A]
Open circuit voltage	20.5 [V]

図 2 にモジュールの内部配線図を示す。本モジュールは、2 つのセル群 (クラスタ) で構成され、それぞれバイパスダイオードが並列に接続されている。

Fig.2. Internal wiring diagram.

本論文では、正常なセルに影を付加した場合を正常モジュール、ホットスポットセルに影を付加した場合をホットスポットモジュールと呼ぶこととする。正常モジュールとホットスポットモジュールの電気的特性を調べるために、正常なセルまたはホットスポットセルに対して様々な影を付加し、I-V 特性の測定を行った。図 3 に影の付加パターンを示す。今回、同図に示す 5 パターンの影 (影なし、小影、大影、一枚のセルに影、二枚のセ

ルに影) を付加した。

Fig.3. Pattern of shading.

図 4 に正常モジュールの I-V 特性、図 5 にホットスポットモジュールの I-V 特性を示す。両図から、10 [V] ~ 15 [V] において、正常なセルに影が生じた場合は電流の変化がほとんどないが、ホットスポットセルに影が生じた場合は電流は電圧に対して負の傾きを持つことが確認できる。これは、ホットスポットセルに影が生じると、そのセルは抵抗で等価されるためである。

Fig.4. I-V characteristics of normal module.

Fig.5. I-V characteristics of Hot-Spot module.

$V_1=10$ [V]時の電流値 I_1 と $V_2=15$ [V]時の電流値 I_2 の差を短絡電流値 I_0 で除した値を (1) 式のように電流変化率として定義する。

$$\text{電流変化率} = (I_1 - I_2) / I_0. \quad (1)$$

図 4、図 5 の I-V 特性における電流変化率を表 2 に示す。同表より、影が生じた場合の電流変化率は、正常モジュールでは 0.1 より小さく、ホットスポットモジュールでは 0.1 以上である。このことから、電流変化率を算出することで正常モジュールとホットスポットモジュールを判別できると考えられる。

本システムでは、“スキャン法”によって定期的に太陽電池電流をゼロから短絡電流まで変化させて I-V (電流-電圧) 特性を測定する。²この I-V 特性の測定を利用し、電流変化率を算出することでホットスポットの検出を行う。

Table 2. Current change rate.

State of shadow	Normal module	Hot-Spot module
Unshaded	0.06	0.06
Small shadow	0.03	0.3
Big shadow	0.02	0.13
1 cell shaded	0.01	0.31
2 cells shaded	0.02	0.25

II -B. Proposed Plug-in Hot-Spot detection system

図 6 に今回提案する Plug-in ホットスポット検出システムの構成を示す。本システムは、昇降圧型 DC-DC コンバータで構成されている。

Fig.6. Plug-in Hot-Spot detection system.

本システムは筆者らが先に開発した太陽電池動作点補正法である“PV ピークブリッジ法”を搭載している。図 7 に“PV ピークブリッジ法”の動作概念図を示す。同図に示す P-V (電力-電圧) 特性の実線は、モジュール

に部分影が発生した場合の特性である。従来の PCS に搭載されている MPPT 制御 (Maximum Power Point Tracking) である山登り法では、同図に示すように複数の電力ピーク点 (P_1 , P_2) ができると、低電力のピーク (P_2) で動作してしまう場合がある。そこで、“PV ピークブリッジ法”によって同図に示す破線の電力を仮想的に出力することにより、PCS の山登り法でモジュールに影が発生した場合でも最大電力 (P_1) を取得することができる。PV ピークブリッジ動作は、“スキャン法”の I-V 特性の測定によって複数の電力ピーク点を検出することで行われる。

Fig.7. Conceptual diagram of PV peak bridge method.

図 8 に本システムの動作フローチャートを示す。本方式では、通常待機状態であり、一定のスキャン周期 T_s になると I-V 特性の測定を行う。その後、電流変化率の算出と、動作電圧 V_L と最大電力点電圧 V_{OP} の比較が行われる。電流変化率が 0.1 以上ならシステムから 5 [V] が出力され (ホットスポットフラグ ON)、0.1 未満ならシステムの出力はゼロになる (ホットスポットフラグ OFF)。また、 V_L と V_{OP} が一致するまで PV ピークブリッジによる仮想電力が出力される。

Fig.8. Flow chart of this system.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

図 9 に実験を行ったシステムの構成を示す。太陽電池モジュールの出力が Plug-in ホットスポット検出システムに送られ、PV ピークブリッジ動作と電流変化率の算出が行われる。従来のシステムにおける PCS は、電子負荷装置に山登り法をプログラミングして用いることで模擬している。今回の実験では、PV ピークブリッジ動作と電流変化率の算出を 10 秒毎に行う。電流変化率が 0.1 以上となった場合、ホットスポットが発生していると判定し、本システムが 5 [V] を出力する。そのシステムからの出力をオシロスコープで監視し、リアルタイムでのホットスポット検出を行うシステム構成となっている。

今回の実験は、表 1 に示すモジュールを 1 枚使用して行った。実験時の日射強度は 800~900 [W/m²] である。また、図 6 に示す Plug-in ホットスポット検出システムのパラメータは、 $L = 7.5$ [mH]、 $C = 560$ [μ F]、スイッチング周波数 $f_c = 20$ [kHz] である。

Fig.9. Experimental structure of system.

図 10 に正常モジュールでの実施結果を示す。3 秒時点で正常なセルに影を付加したところ、太陽電池出力が低下した。10 秒時点でホットスポット検出が行われたが、正常モジュールのためホットスポットフラグは OFF である。また、PV ピークブリッジ動作によって太陽電池出力が最大電力へと誘導されて徐々に回復している。34 秒時点で影を取り除くと、太陽電池出力が徐々に回復し

Fig.10. Experimental results of normal module.

た。

図 11 にホットスポットモジュールでの実施結果を示す。3 秒時点でホットスポットセルに影を付加したところ、太陽電池出力が低下した。10 秒時点で PV ピークブリッジ動作によって太陽電池出力が回復し、ホットスポットを検出したことでホットスポットフラグが ON になった。29 秒時点で影を取り除くと、太陽電池出力が回復した。その後、30 秒時点でスキャン動作が行われたことでホットスポットフラグが OFF になった。

Fig.11. Experimental results of Hot-Spot module.

IV. CONCLUSION

今回、PV ピークブリッジ法を用いた Plug-in 型のリアルタイムホットスポット検出システムの有効性を検討した。実施結果より、本システムによって正常モジュールとホットスポットモジュールを判別することができた。また、モジュールに影が生じた場合でも“PV ピークブリッジ法”によって太陽電池出力が回復し、本システムの有効性が示された。

今後は、複数枚のモジュールを直列に接続したストリング構成でのホットスポット検出システムについて検討を行っていく予定である。

REFERENCES

- ¹ B. Hossam and K. Itako, Journal of Advanced Science, Vol. 27, pp. 7-10 (2015).
- ² K. Itako, Y. Togashi, R. Zama and Y. Matsuura, Proceedings of Renewable Energy, 2014 (CD-ROM).
- ³ K. Itako, B. Hossam, T. Kudoh, and Q. Huang, Proceedings of in Industrial Electronics Society, IECON, 2015-41st Annual Conference of the IEEE, pp. 1032-1036.