PWM 電流形インバータによる単相系統連系 太陽光発電システム最大電力制御の一方法

正 員 根葉 保彦*

A Method of Maximum Power Control in Single-phase Utility Interactive Photovoltaic Generation System by using PWM Current Source Inverter

Yasuhiko Neba*, Member

This paper deals with a maximum power point tracking (MPPT) control of the photovoltaic generation with the single-phase utility interactive inverter. The photovoltaic arrays are connected by employing the PWM current source inverter to the utility. The use of the pulsating dc current and voltage allows the maximum power point to be searched. The inverter can regulate the array voltage and keep the arrays to the maximum power. This paper gives the control method and the experimental results.

キーワード：太陽電池，電流形インバータ，最大電力点追従制御，系統連系，単相回路，PWM

Keywords: photovoltaic array, current source inverter, maximum power point tracking control, utility interaction, single-phase circuit, PWM

1. まえがき

太陽エネルギーから直接，直流電力が得られる太陽電池を利用する太陽光発電では，インバータによって系統と連系される。太陽電池の発電電力は，光量によって大きく変化し，また，一定光量においても接続される負荷すなわちインバータの動作状態に依存する。そのため，太陽電池から常に最大電力を取り出す最大電力点追従（MPPT）制御が行われる。山登り法⁽¹⁾は最大電力点を得る最も一般的な方法としてよく知られている。この方法の原理は太陽電池を出力の異なる2点で発電させ，その電力を比較しながら最大点に近づけるものであり，系統連系インバータシステムに適用した場合には，常にインバータを異なる2点で動作させる。したがって，システムは常時，振動して動作し，最大点での不安定性とシステム応答性に問題を生じる場合がある。最近報告されているMPPT制御の多くも山登り法に基づいて制御性能を改善するものであり，パラメータやサンプリング間隔などの制御設計が複雑化する傾向がある。これらの方法は，得られる太陽電池の出力状態が，ある特定の1点に限られるために必要となる制御である。

本論文は，単相系統連系太陽光発電 PWM 電流形インバータにおいて，必然的に生じる直流電圧，電流の2倍周波数変動を利用して太陽電池の最大電力制御を行う一方法を提案する。本方法では，変動電圧，電流から実際の太陽

電池の出力特性が得られるため，山登り法を採用する必要がない。また，インバータは検出する太陽電池電力の最大値に対応する電圧を出力するように制御されるだけであり，非常に簡単に最大出力点に移行でき，システムの不安定を生じない利点がある。本稿では，制御方法の原理を示し，実験結果から最大電力制御が可能なることを明らかにする。

2. 最大電力制御法

図1はMOSFETで構成した単相系統連系太陽光発電PWM電流形インバータシステムを示す。太陽電池PVは電流平滑リアクトル L_d と直列に接続する。インバータは正弦波変調三角波比較方式PWMによって，PV発電電力を正弦波電流で系統へ逆潮流する。図2は直流部の理論波形（図3の領域1）を示す。単相電流形インバータでは，直流電圧 e_d の基本波は電源の2倍周波数で変動する。このためPV電流 i_{PV} が2倍周波数で変動し，PV電圧 e_{PV} も変動するが，これらはPV出力特性に依存して変化する。この時，PV平均電圧 E_{PV} は直流平均電圧 E_d に一致する。

図1 太陽光発電 PWM 電流形インバータシステム
Fig. 1. PV-PWM current source inverter system.

* 福岡大学工学部電気工学科
〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1
Dept. of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Fukuoka University
8-19-1, Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180

図 2 直流部の理論波形

Fig. 2. Theoretical waveforms in dc side.

図 3 太陽電池の動作領域

Fig. 3. Operational area of PV.

したがって、 i_{pv} と e_{pv} から、この動作状態における最大の PV 電力 p_{pv_m} に対応する PV 電圧 e_{pv_m} が得られるので、順次、PV 平均電圧 E_{pv} が e_{pv_m} になるように直流平均電圧 E_d を制御すれば PV 出力を最大点に移行できる。図 3 は異なる動作状態における PV 出力範囲を示し、領域 1 は e_{pv} が低い場合、領域 2 は e_{pv} が高い場合、領域 3 は最大出力の場合である。各領域における PV 電圧と電力の変動幅は、PV 電流の変動幅 Δi_{pv} で決まる。領域 1, 2 では、最も大きい PV 電力 (A, B 点) に対応した PV 電圧に設定することで、より大きい PV 出力が得られる動作領域へ移行し、最終的に領域 3 で動作する。領域 3 では常に最大の PV 出力点 C が領域内となるので、この動作領域を維持する。このように、本方法は電流形インバータの本質的動作で起こる直流部の変動から PV 特性が得られることを利用し、簡単に PV を最大発電状態へ移行できる。また、従来の山登り法のように異なる 2 点動作の特性比較を必要としないで制御できるため、振動を起こさず、安定して動作可能である。

3. 実験結果

実験条件は $E_u = 100 \text{ V}$, $L_f = 1 \text{ mH}$, $C_f = 10 \mu\text{F}$, $L_d = 200 \text{ mH}$, PWM 搬送波周波数 9.6 kHz とし、電源半

図 4 実測動作波形

Fig. 4. Experimental waveforms.

図 5 太陽電池の出力軌跡

Fig. 5. Tracking of PV output.

周期区間の PV 瞬時電力から最大値を求め、変調波振幅を変えて PV 電圧を調整した。図 4 は変調波振幅ほぼ零でインバータを運転している状態から制御開始した時の各部実測波形を示す。開始後、電源半周期毎に PV 電圧が増加、PV 電流が減少し、電源 3 周期で最大出力動作となっている。また、系統電流はほぼ正弦波形で PV 発電電力を逆潮流している。図 5 は PV 出力の軌跡であり、PV 電流および PV 電力はその特性に依存して変化していることがわかる。定常点は印で示すように、最大出力状態となっていることを確認した。

4. むすび

単相 PWM 電流形インバータによる系統連系太陽光発電システムにおいて、原理的に発生する直流部変動から PV 出力特性を得て、最大出力点を探索する方法を提案し、良好な結果が得られることを示した。紙面の都合で詳細な制御法と考察は省略したので、電流変動幅と制御特性との関係などの検討を含め、稿を改めて報告する所存である。
(平成 15 年 4 月 21 日受付, 平成 15 年 7 月 10 日再受付)

文 献

- (1) Y. Ishihara, et al.: "Preface to Review on the Present Condition and the Future of Photovoltaic Generating Systems", *T. IEE Japan*, Vol.115-C, No.1, pp.1-68 (1995-1) (in Japanese) 石原好之・他:「太陽光発電システムの現状と将来」, 電学論 C, 115, 1, pp.1-68 (1995-1)