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の最大出力制御法

正 員 根 葉 保 彦 (福岡大)

学生員 東 真喜夫 (福岡大)

A Method of Maximum Power Control in Utility Interactive Photovoltaic Generating System by using PWM Current Source Inverter

Yasuhiko Neba, Member, Makio Higashi, Student Member (Fukuoka University)

キーワード：太陽光発電，最大電力制御，電流形インバータ，PWM，系統連系

1. まえがき

太陽光発電システムは，太陽電池から常に最大の出力を得るようにインバータなどの電力変換装置で制御される。この最大出力制御では，太陽電池の電圧と電流から出力電力を計測して行う方法⁽¹⁾が一般的であるが，検出信号として電力変換器の出力量からも最適な動作点を探索できることがチョッパ回路について示され，電圧形インバータに対しても適用できることが報告されている⁽²⁾。この方法は原理的に系統連系運転に適している⁽¹⁾PWM電流形インバータシステムにも適用できるが，電流形インバータが直接出力する電流はPWMのパルス列交流であるので，検出時にフィルタを通すなどの措置が必要であり，検出回路がやや複雑になる。また，系統部の正弦波電流検出では太陽電池の出力が低下した場合に系統電流におけるフィルタコンデンサ充電電流の占める割合が大きくなり，インバータを制御しても系統電流がほとんど変化しなくなるために最大出力制御が難しくなる。これらの交流電流検出は制御に対してその実効値あるいは最大値を必要とするので，検出回路の工夫やコンピュータによる演算を行わなければならない。さらに，系統電流ではLC共振による波形歪みを生じた時にはコンデンサ充電電流が変動するので，太陽電池出力が不変であっても系統電流が変化して最大制御時の安定性に問題を生じる可能性がある。そこで本レターでは，系統連系太陽光発電PWM電流形インバータシステムにおいて，変換器出力の交流電流ではなく直接，太陽電池出力の直流電流だけを検出し，インバータ制御パラメータを導入した最適点探索法を提案し，システム回路損失を含めた最大出力動作が行えることを示す。提案方式は検出電流と制御パラメータの変調率との積を計算してインバータ出力電流の実効値（最大値）が得られるので，系統電圧変動や系統電流波形歪みの影響を受けずに最大出力制御を達成できる。

2. 最大電力制御法

図1に単相PWM電流形インバータ系統連系太陽光発電システムの基本構成を示す。インバータは4個のスイッチ

図1 システム構成
Fig.1. System configuration

$G_1 \sim G_4$ で構成され L_f と C_f のフィルタを有する。PVは太陽電池で L_d は電流平滑リアクトルである。PWMパルスを三角波搬送波と正弦波変調波の比較によって作成⁽³⁾し，系統電圧と同相のパターンでスイッチをオンオフするとき，インバータ直流電圧 e_d の平均値 E_d は導通素子の順方向電圧降下 V_d を考慮して，次式で与えられる⁽⁴⁾。

$$E_d = E_u MI / \sqrt{2} + V_d \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで， E_u は系統電圧 e_u の実効値， MI は搬送波振幅に対する変調波振幅比で定義した変調率である。直流インダクタンスの抵抗分 R_d による電圧降下を考慮すると，PV電圧は

$$E_{pv} = E_d + R_d I_{pv} \quad \dots \dots \dots (2)$$

となり，PVはその電圧・電流特性曲線上（図2参照）で(2)式を満たす点で動作する。すなわち，PV電流 I_{pv} を検出して(1)(2)式から E_{pv} を計算し，PV電力 $P_{pv} = E_{pv} I_{pv}$ を求め， P_{pv} が最大となるように変調率 MI を調整すればPVは最大出力で動作できる。しかしながら，電圧 V_d は素子電流によって変化するために特定することは難しく，また，直流電圧 E_d は系統電圧 E_u に依存するので， E_u 一定として演算した場合には電圧 e_u が変わった時にPV最大出力が得られなくなる。

一方，電流形インバータは直流電流（PV電流 i_{pv} ）を交流のPWM電流 i_p に変換し，LCフィルタによってその基本波が系統側に流れる。電流 i_p の基本波実効値 I_p は

$$I_p = I_{pv} MI / \sqrt{2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

図2 PVおよび出力電力特性
Fig.2. Characteristics of PV and output power

で与えられ⁽⁴⁾，系統電流 i_u は i_p の基本波とフィルタコンデンサ充電電流の合成となる。電流 i_p の基本波は系統電圧 e_u と同相（力率1）であるので，インバータが系統へ返還する電力 P_u は次のようになる。

$$P_u = E_u I_p = E_u I_{PV} MI / \sqrt{2} \dots \dots \dots (4)$$

電流 I_{PV} はPVの動作点で決まるので，PV電流 I_{PV} を検出して(4)式における $I_p MI$ を演算し，その値が最大となるように変調率 MI を調整することにより，インバータ出力電力 P_u が最大となり，回路損失を含めた系統返還最大電力制御を達成できる。この制御ではPV電流だけを制御対象とするので，PV最大出力時の最適電圧，導通素子の順方向電圧および系統電圧のいずれが変化しても常に系統返還最大電力に追従できる。当然のことながら，回路損失がなければ P_u 最大時にPV最大出力であるが，主な損失を前記の V_D と R_d によるもので代表すると，返還電力 P_u はPV出力 P_{PV} からこれらの損失を差し引いたものである。損失分 $V_D I_{PV}$ と $R_d I_{PV}^2$ は共に電流 I_{PV} に依存するので，PV電力 P_{PV} 最大の時に返還電力 P_u が最大になるとは限らない。したがって，システムとしてのPV発電電力の有効利用のためには，PV最大出力よりむしろ系統返還最大電力を行うことが望ましいと考えられる。

3. 実験結果

実験は系統電圧 $E_u=100V$ で，回路定数 $L_f=2mH$ ， $C_f=10\mu F$ ， $L_d=0.2H$ とした。また，太陽電池への日射量が2通り（PV短絡電流が約3.1Aと6.4A）について検討した。図2は各日射量でのPVの電圧・電流特性，PV出力および系統返還電力特性の実測値を示す。日射量が大きいとPV動作電流が大きくなるために回路損失が増加し，その結果，破線で示すPV出力 P_{PV} の最大点と実線で示す返還電力 P_u 最大点のずれが大きくなることからわかる。操作量 $I_{PV} MI$ の最大制御を行った場合には，同図にプロットしているように， P_u の最大点で動作することを確認した。図3は動作波形例（図2の○印で示す点）である。なお，PWM搬送波周波数は3.72kHzとした。系統電流 i_u は正弦波であり，このPV日射量状態のシステム動作において最大振幅で電力を返還している。

4. むすび

以上，PWM電流形インバータを用いた系統連系太陽光

図3 動作波形（100V/div, 4A/div, 2ms/div）
Fig.3. Experimental waveforms

発電システムの最大電力制御に対して，太陽電池の電流だけを検出して，システムの最適点で動作可能なことを示し，回路損失も含めた系統返還最大電力制御を達成できることを確認した。ここでは，単相回路について示したが，三相電流形システムでもそのまま本制御法を適用できる。なお，詳細な制御特性は稿を改めて報告する。

（平成7年11月28日受付）

文 献

- (1) 岡土：「太陽光発電用インバータ技術」，電学論C-115，No.1，34（平7-1）
- (2) 大西・高田：「太陽電池の最大出力制御方式の比較と昇降圧チョッパ回路を用いた制御特性」，電学論D-112，No.3，250（平4-3）
- (3) 野中・根葉：「正弦波入力電流形単相PWM整流回路の比較検討」，電学論D-113，No.5，594（平5-5）
- (4) 野中・根葉：「単相PWMコンバータの入力電流高調波の検討」，平2電気学会産業応用部門全大，No.66

根 葉 保 彦（正員）1957年8月24日生。1980年3月福岡大学工学部電気工学科卒業。1985年3月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年4月福岡大学工学部助手。1987年4月同講師，1989年4月同助教授，現在に至る。コンバータおよびインバータ回路と太陽光発電システム，誘導電動機駆動システムに関する研究に従事。工学博士。

東 真 喜 夫

（学生員）1971年3月10日生。1994年3月福岡大学工学部電気工学科卒業。同年4月同大学院工学研究科電気工学専攻博士課程前期入学。現在に至る。1996年4月(株)日本デジタル研究所入社予定。太陽光発電インバータシステムに関する研究に従事。