

商用 PV インバータの単独運転検出要因の推定

水野 環樹*, 野田 幸久, 小泉 裕孝, 黒川 浩助 (東京農工大学)

Inference of Islanding detecting factor in commercial PV inverters

Tamaki Mizuno, Yukihisa Noda, Hiroataka Koizumi, Kosuke Kurokawa

(Tokyo University of Agriculture and Technology)

キーワード：単独運転 系統連系 Keywords: Islanding, Grid-connection

1. はじめに

近年の太陽光発電システム（以下 PV システム）の普及に伴い多種のインバータが普及しており、インバータの単独運転検出方式は各社各様の設定がされている。単独運転検出方式は、系統連系ガイドライン^[1]により受動的方式、能動的方式のそれぞれ一方式以上の設置が推奨されている。

本研究では商用 PV インバータの単独運転検出時の系統波形を用い、簡易なプログラムで分析を行った。その結果、単独運転を検出する際に判定基準となった要因をこのプログラムによって推定できることを示した。これらは、PV インバータの単独運転試験及び単独運転検出機能として応用が期待される。

2. 単独運転検出要因推定方法について

インバータが単独運転を検出するという事は、インバータが系統から解列された後何らかの異常が検出されたということである。その単独運転検出の要因を調査するために、系統電圧波形を簡易なプログラムにより分析し、毎周期の周波数、3 次高調波、位相変化値、電圧実効値、周波数変化率、3 次高調波変化率を算出した。各インバータの正確な単独運転検出フローは明らかではないが、プログラムにより算出した検出要素から、単独運転検出要因について推定を行い、実際の停止要因との比較を行った。

計算の際に、周波数はゼロクロス点を用いた算出を行い、位相変化値は、各インバータがどの周期に対しての位相変化を計算しているか不明であるため、前 10 周期の周波数平均値から差を逆算し、移動平均を用いて算出した。周波数変化率、3 次高調波変化率は前 2 周期と前 25 周期の比で算出した。

3. 単独運転試験概要

単独運転検出時の波形特性を見るために単独運転試験を行った。単独運転状態を模擬するための試験回路^[2]を図 1 に示す。

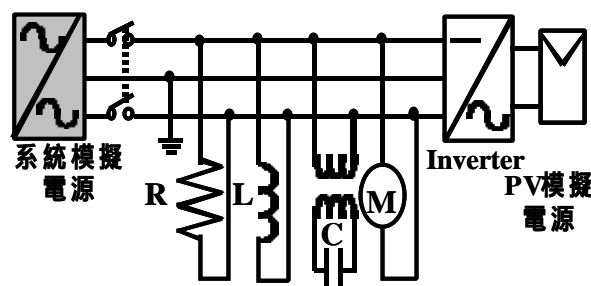


図 1 単独運転試験回路
Fig.1 Examination circuit

系統、太陽電池はそれぞれ模擬電源を用い、負荷は擬負荷装置を用いた。負荷は 3[kW]とし、単独運転を発生させるため、リアクトル 250[Var]、コンデンサ 48[μF]、グラインダー125[W]×2 台をそれぞれ並列に接続し、連系点の有効電力、無効電力を可能な限り平衡させた状態で系統模擬電源側をブレーカで解列した。

今回各インバータの系統連系保護装置の閾値を、交流過不足電圧(单相 3 線)(UVR~OVR):80~116[V]、過不足系統周波数(UFR~OFR):48.5~51.0[Hz]、太陽光発電出力を 3[kW]と設定し、単独運転検出方式の感度設定を変更して行った。その試験データを試験後に分析し、インバータが単独運転を検出した要因について考察を行った。図 2 に C 社単独運転波形(受動方式:30[deg] 能動方式:0.4[s])を示す。

図 2 より、系統側解列後約 0.8 秒間単独運転が起きており、解析の結果から以下の単独運転検出要因が推定された。

- ・ 3次高調波歪率は3[%]を超過した。
- ・ 周波数は変動しながらUFRを超えており、これは無効電力変動方式^[1]の特徴である。
- ・ 独自の判定方法ではあるが、位相変化値は閾値(10[deg])に達している。
- ・ 電圧実効値は最大1.4「V」しか変化していない。
- ・ 3次高調波変化率は閾値(1.0[%])に達していないが、周波数変化率は閾値(0.5[%])に達した。

以上よりUFR、3次高調波歪率、位相変化値、周波数変化値等の検出要因が推定される。実際の停止要因は、検出時限等の関係から無効電力変動による位相跳躍の受動検出と考えられるため、推定結果と一致しているといえる。

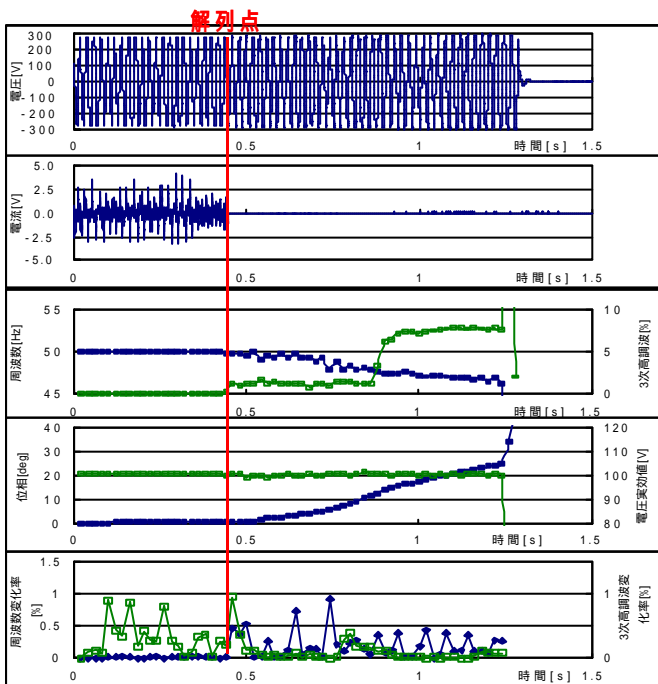


図2 C社単独運転波形分析結果
Fig.2 Islanding waveform analysis of Inv.C

4. 試験結果

各インバータの単独運転波形分析結果を表1～3に示す。停止時間は単独運転が起きてからインバータが停止するまでの時間を示す。推定検出要因を以下のように分類した。

UVR OVR UFR OFR 3次高調波歪率
位相変化値 周波数変化率 3次高調波変化率

試験結果より、A社、C社のインバータは単独運転検出要因を推定することができた。B社のインバータで推定できない原因は、受動検出閾値の違いだと考えられる。プログラムの検出閾値は0.5[%]に設定しているが、インバータの閾値は0.2[%]に設定されているため、微小な周波数の変化を先に検出し停止していると考えられる。

表1 A社単独運転試験分析結果
Table.1 Analytical results on islanding detection factors of Inv.A

受動方式	能動方式	停止時間	停止要因	推定停止要因
ON	ON	0.2[s]	受動検出	
OFF	ON	0.64[s]	UFR	
ON	OFF	1.18[s]	受動検出	
OFF	OFF	6.04[s]	OFR	

受動方式：位相跳躍検出方式 能動方式：周波数シフト方式

表2 B社単独運転試験分析結果
Table.2 Analytical results on islanding detection factors of Inv.B

受動方式	能動方式	停止時間	停止要因	推定停止要因
0.2[%]	8[%]	0.06[s]	受動検出	なし
0.5[%]	8[%]	0.10[s]	受動検出	
0.2[%]	5[%]	0.18[s]	受動検出	なし
0.5[%]	5[%]	0.32[s]	受動検出	

受動方式：周波数変化率検出方式 能動方式：無効電力変動方式

表3 C社単独運転試験分析結果
Table.3 Analytical results on islanding detection factors of Inv.C

受動方式	能動検出	停止時間	停止要因	推定停止要因
8[deg]	0.4[s]	0.80[s]	受動検出	
30[deg]	0.4[s]	0.82[s]	受動検出	
8[deg]	2[s]	1.24[s]	UFR	
30[deg]	2[s]	1.32[s]	UFR	

受動方式：位相跳躍検出方式 能動方式：無効電力変動方式

5. まとめ

本稿では、商用PVインバータの単独運転検出要因について分析を行い、各社インバータの単独運転検出要因の推定を行った。提案方式は、単独運転試験または単独運転検出装置に利用することが可能である。単独運転は、受動方式、能動方式を適切に組み合わせることで確実に検出されているが、低圧配電線の同一バンク内にインバータが多数台連系した状態では、能動方式の干渉作用等により単独運転の検出感度が低くなる可能性がある。また、ACモジュールにおいては同一システム内に多数のインバータが連系されることから、新しい検出方式が必要と考えられる。

なお本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の地域新生コンソーシアム研究の一環として実施された。

参考文献

- [1]解説システム連系ガイドライン'98：資源エネルギー庁編
- [2]野田,水野,小泉,黒川：「太陽光発電が連系した配電システムのシミュレータ開発」太陽エネルギー学会公演論文集(2001),21~24