

# 系統連系制御保護シミュレーション

村上 高徳 (M2) 高宮 正裕 (B4)

## 1. まえがき

パワーコンディショナとは、太陽光発電システム (PV) のインバータ、制御装置、系統連系保護装置などを総称したものである。

環境問題への関心が高まり、系統連系型の PV は、コスト低下や国からの補助等の影響により住宅を中心に普及が進んでいる。連系型の PV は、系統連系ガイドライン示されるように系統が停止した場合に、系統の保護・保安などに影響を及ぼさないために直ちに (0.5 から 1.0 秒以内) 停止することが要求される。通常、PV のインバータの出力は系統の電圧を監視しながらインバータの出力電流の周波数、位相が系統電圧に一致するようにスイッチングし出力する方式 (電圧型電流制御方式) であるため系統が停止すると出力されない。しかしながら、PV が単独運転をする可能性は存在し、その大きな原因の一つとして再生負荷である誘導機負荷が考えられる。すなわち誘導機は系統が停止しても慣性により回り続け逆起電圧を発生し、無電圧であるはずの配電線を逆に充電し、この影響により PV が単独運転をすることである (図 1)。

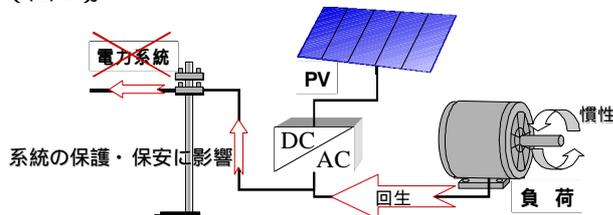


図 1 . 誘導機による PV の単独運転

これまでに、同負荷の単独運転防止機能に及ぼす影響については詳細には解析されていない。そこで本研究では、過渡解析プログラム EMT P を用いて誘導機負荷の存在する配電システムを対象に PV システムの単独運転についての動特性シミュレーションを行った。本報告では、PV と系統間の有効電力、無効電力のバランス、誘導機の主要なパラメータである慣性モーメント ( $J$ : inertia) を変化させ配電線電圧・周波数の変化特性を求め、それぞれの単独運転発生条件について評価した。また、現在 PV のインバータに搭載されている単独運転防止検出機能の能動方式である周波数シフト方式についてもシミュレーションを行い誘導機負荷存在時の同方式への影響についても検討した。

## 2. 誘導機

シミュレーションに使用した誘導機モデルは、

3 相誘導機である。この誘導機の機械系モデルを図 2 に示す。図に示されるように機械量を電氣量に置き換えて電氣回路としてモデルしている<sup>(1)</sup>。機器定数は表 1 に示す。

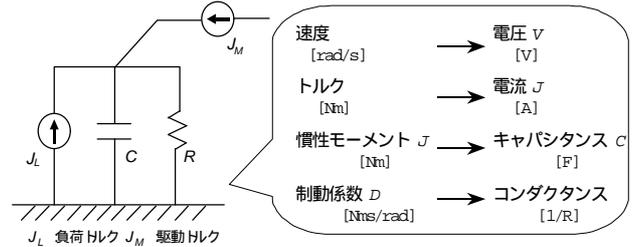


図 2 機械系モデル

表 1 三相誘導機モデル定数

容量 [kW]	1.46
定格周波数 [Hz]	60
定格電圧 [V]	200
極数	4
滑り [%]	0.01 (無負荷運転)
制動係数 [Nms/rad]	0.0025
$R_s$ [ ]	2.0306
$R_r$ [ ]	1.6749
$X_s$ [H]	0.1703
$X_r$ [H]	0.1695
$X_m$ [H]	0.1646

## 3. 動特性シミュレーションモデル

誘導機負荷による連系型 PV システムモデルの単独運転特性を解析するためのモデルを図 3 に示す。PV のインバータは系統連系ガイドラインで推奨されている電圧型電流制御方式とした。この系統連系型 PV を三相誘導電動機の各相に 1 台ずつ接続した。また各相に接続した抵抗  $R$  とコンデンサ  $C$  は、それぞれ系統と有効・無効電力をバランスさせるための抵抗負荷と力率改善用コンデンサである<sup>(2)</sup>。

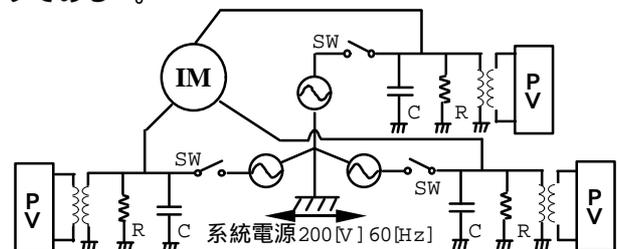


図 3 動特性シミュレーションモデル

## 4. シミュレーション結果

(1) 系統電圧、周波数異常検出リレーへ与える影響

シミュレーションは、計算開始から 0.5 秒後に

系統停止を起こして、単独運転を発生させた。また、誘導機の運転状態は、周波数、電圧が変動しにくい状態として無負荷状態とした。シミュレーションは有効電力、無効電力バランス（ $P$ 、 $Q$ ）を変化させて、慣性モーメントをパラメータにPVの出力を2 kW級×3と4 kW級×3の場合で行った。

系統連系ガイドラインを参照して系統電圧異常リレーの検出範囲を±10%以上、異常周波数リレーの検出範囲を±1%以上に設定した<sup>(3)</sup>。これによりシミュレーション結果から、リレーによる検出不可能領域は、図4、図5のようになった。これらの図より慣性モーメントが大きいほど領域が広がる傾向が見られる。また図4、図5を比較するとPVの容量が大きいほど領域が狭くなる傾向が見られる。ただし図5より、PVの容量が大きく負荷が軽い場合（ $P < 0$ ）では逆に領域が広がる傾向となった。

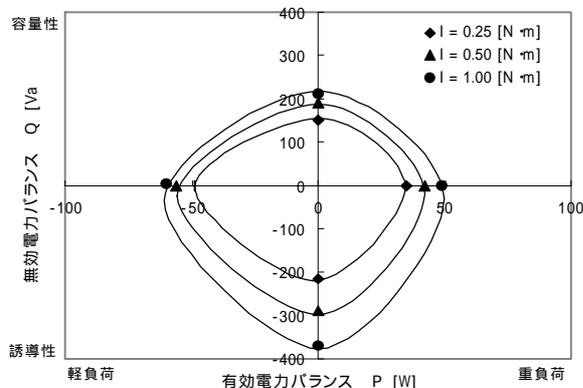


図4 単独運転不検出領域（PV 2 kW級化×3）  
（各境界の内側）

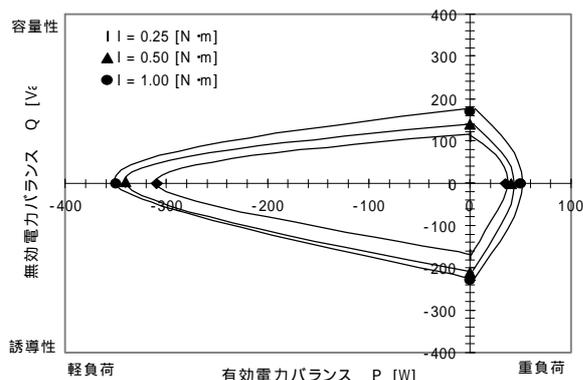


図5 単独運転不検出領域（PV 4 kW級化×3）  
（各境界の内側）

### （2）周波数シフト方式への影響

周波数シフト方式とは現在多くのPVのインバータに搭載されている単独運転防止機能の能動方式である。基本的には図6に示すように単独運転時に配電線周波数が基準周波数から逸脱するように常時半周期単位でインバータの出力電流の位相を遅れ、または進み方向に変化させるものである。また、さらに効果を高めるために一般的に周波数が基準周波数から逸脱すると正のフィードバック

により、基準周波数からの差分が増大するようにし、最終的には周波数異常で停止させている。

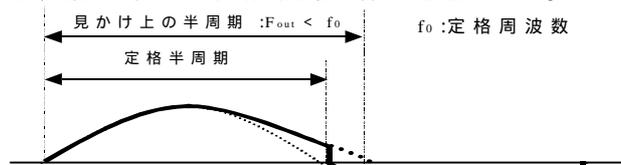


図6 周波数シフト方式の例

シミュレーションでの制御方法は、基本的に次の（1）式から（3）式のように系統電圧 $V_{in}$ から時間に対して位相を変化させてインバータ出力 $V_{out}$ とした。（3）式の定数Aは定常時の位相変化量で、定数Bは単独運転時の正のフィードバックに対する係数（1/Hz）である<sup>(4)</sup>。

$$V_{in}(t) = V_0 \cos(\omega_0 t) \quad (1)$$

$$V_{out}(t) = V_0 \exp[j\{\omega_0 t + \text{ph}(t)\}] \quad (2)$$

$$\text{ph}(t) = \omega_0 t \{A + B(f_0 - f)\} \quad (3)$$

$f_0$  : 基準周波数  $f$  : 実際の周波数

以上のモデルを用いてPVのインバータに単独運転防止方式である周波数シフト方式の機能を搭載した場合における、誘導機負荷存在時の単独運転シミュレーションを行った。シミュレーションは、3と同様の配電線モデルで $P$ 、 $Q$ の完全バランス状態で行い（3）式の定数A、Bを変化させて評価した。また誘導機の運転状態は無負荷とした。

図7は定数A = 0.01、B = 0.002に設定し、3の2 kW級×3の場合（ $P$ 、 $Q = 0$ ）でのシミュレーションによる結果である。これよりIが大きいほど周波数シフトの効果が小さく、周波数の変化が押さえられ単独運転検出が不可能となる結果となった。

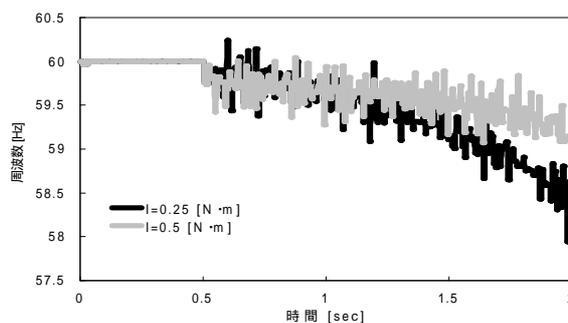


図7 周波数シフト方式による周波数変化

### 参考文献

- (1) 平成3年電力中央研究所研究調査資料「EMTPによる回転機の模擬手法」（1992）
- (2) 村上他：「系統連系型太陽光発電の動特性シミュレーション」、平成10年電気学会B部門大会No.234 pp472-473(1998)
- (3) 資源エネルギー庁：「系統連系技術要件ガイドライン解説書」（1997）
- (4) 平成9年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務報告書「太陽光発電システム実用化技術開発」（1998）