

PV用パワーコンディショナの単独運転検出機能に与える 誘導電動機回生エネルギーの影響に関する一考察

学生員 宮本 和典 正員 五十嵐 広宣 正員 黒川 浩助 (東京農工大学)

A Study on An Influence of Induction motor's Regenerative Power on Islanding Detection Device of PV Power Conditioner

Kazunori Miyamoto, Student-Member, Hironobu Igarashi, Member, Kosuke Kurokawa, Member,
(Tokyo University of Agriculture and Technology)

1. はじめに

近年、環境問題に対する意識は高まっており、太陽光発電は発電時に地球温暖化の原因となる二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギー源として広く普及が進みつつある。そのような太陽光発電システムに欠かせない電力変換装置であるパワーコンディショナは、電力系統と連系し使用するのに欠かせない保護機能を備え持っている。しかし負荷として電動機が接続された場合は、系統異常状態の一つである単独運転状態⁽¹⁾を検出することが困難となりうる⁽²⁾。

筆者らは、パワーコンディショナに負荷として接続された電動機の挙動を解析し、特に電源から切り離れた後の電動機について、再現性の高い一般化モデルの開発に取り組み、単独運転防止機能の性能評価や開発に貢献することを目的とし研究を行っている。

2. 実験概要

同一配電線内に負荷として電動機が存在する場合に、パワーコンディショナが単独運転現象を検出し難いという知見⁽²⁾がある。この理由としては、系統停電と同時にそれまで負荷として動作していた電動機が発電機のように振る舞うことが原因となり、パワーコンディショナの単独運転検出機能が系統停電を検出できない可能性が考えられる⁽³⁾。そこで本論文では電源から切り離れた後の電動機の電氣的・機械的な挙動を調査した。

電動機には、研削加工用機器として一般に用いられているグラインダ(ト石研削機)を用いた。供試グラインダは、定格消費電力が 645 [W]の単相コンデンサモータである。図 1 のように、グラインダに並列に抵抗負荷 R_L を接続し、トライアックによるスイッチで回路を電源から切り離れた直後のグラインダの電氣的な挙動を抵抗負荷での消費電力の変化として観測する回路を構成した。抵抗負荷での消費電力は、定格時に 10 [W], 100 [W], 200 [W]となるように変化させ実験を行った。

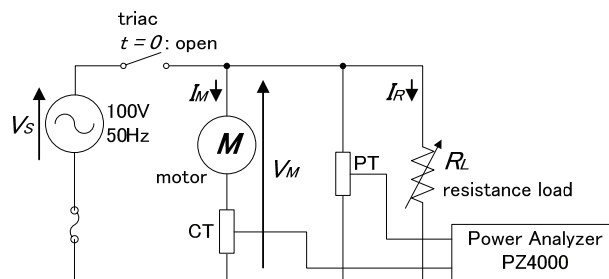


図 1 実験回路図

Fig 1 Experimental equipment.

3. 実験結果および考察

(3・1) 発電現象の確認

グラインダを無負荷で運転し回転数が一定となった後に、スイッチを開放しグラインダの電氣的な挙動を観測した。その結果から求まる近似曲線を図 2 に示した。

これより電源から切り離れた直後の 1 秒間程度はグラインダから抵抗負荷に電力が供給されており、この間はグラインダが発電機として振る舞っていると考えられる。

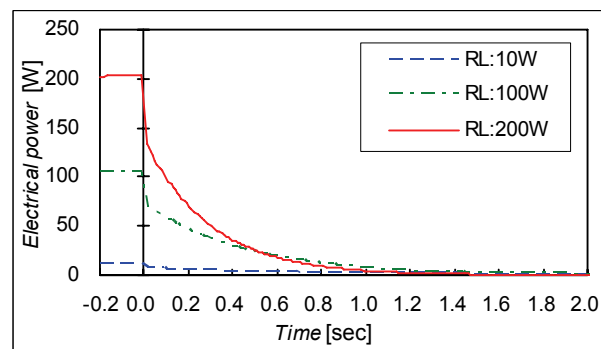


図 2 並列可変抵抗での消費電力

Fig 2 Electrical power consumed by resistance load.

(3・2) すべりの算出

<3・1>の結果を踏まえ、グラインダ極間電圧の周波数 f_{VM} と回転子回転数 f_{Rotor} から、式(1)によって算出した“すべり”

とその近似直線を図 3 に示す。

図 3 より電源から切り離れたと同時に、すべりが負に転じており、グラインダが誘導発電機モードへ移行していることがわかる。

$$S = \frac{f_{VM} - f_{Rotor}}{f_{VM}} \quad (1)$$

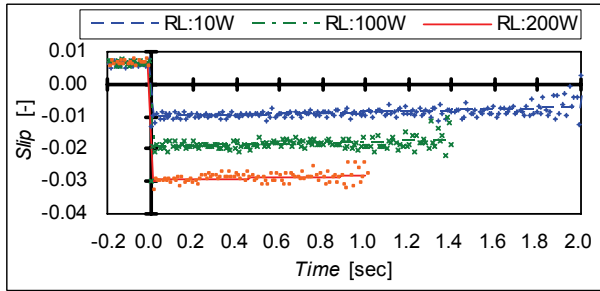


図 3 すべりの変化
Fig 3 Slip transition.

(3・3) 回転体の運動エネルギーの変化

前述のように、電源に接続されている間に電動機として動作していたグラインダは、電源から切断された直後からは発電機として動作していることが確認された。

このような発電現象のエネルギー源は回転体の慣性運動にあると仮定し、回転子の慣性運動による運動エネルギーに着目し、回転子の回転速度変化から回転子の仕事率の算出を行った。

まず回転子の構成物それぞれにおいて、式(2)より慣性モーメント J を算出し、結果を表 1 にまとめた。ここで M は質量、 D は構成物の直径を表す。表 1 より回転子の慣性モーメントは左右に備えている“ト石”の慣性モーメントが支配的であることがわかる。

$$J = \frac{1}{8} MD^2 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (2)$$

表 1 供試グラインダの慣性モーメント

Table 1 Component & inertia moment of Rotor.

PARTS	Mass (kg)	Diameter (m)	Inertia moment (kg·m ²)
Left grind stone	1.370	0.205	7.197E-03
Right grind stone	1.360	0.205	7.144E-03
Others	3.520	0.027	3.208E-04
TOTAL			1.466E-02

次に慣性モーメントと式(3)~(5)によって、回転体の運動エネルギーを算出した。ここで ω は角速度、 $\dot{\omega}$ は角加速度、 T はトルク、 P は仕事率を表す。 $\omega \cdot \dot{\omega}$ は実測した回転子の回転速度変化から求めた。算出した運動エネルギーを指数関数で近似し、図 4 に示す。

図 4 よりグラインダの発電電力の変化は、回転体の仕事率の変化と比較し、減衰時間やその傾向が類似しているが、

それらの絶対値は一致していない。これは機械損の影響や、慣性モーメント算出時に質量分布を均一とした近似の誤差による影響が原因と考えられる。

$$\omega = 2\pi \cdot f_{Rotor} \quad (3)$$

$$T = J \cdot \dot{\omega} \quad (4)$$

$$P = \omega \cdot T \quad (5)$$

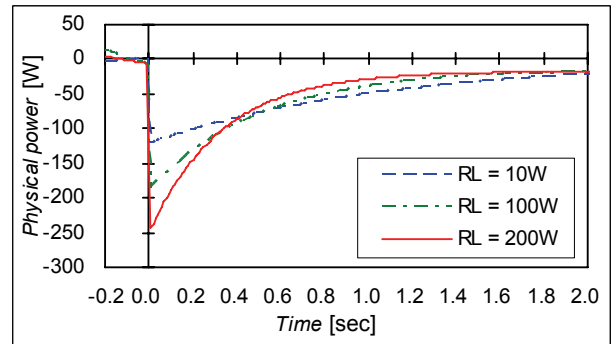


図 4 回転体の仕事率変化

Fig 4 Power transition of rotor.

4. まとめ

今回の実験に用いたグラインダは単相誘導電動機であり、通常であれば単相誘導機を発電機として使用する場合には、外部からの励磁が欠かせない。しかし今回の結果から、外部の励磁電源や回転子に対するトルクの受け渡しが無い状態においても、誘導電動機が発電機モードへと移行する現象が観測された。また回転体の運動エネルギー変化は、グラインダの発電電力と類似した傾向が見られた。

本報告ではある一台のグラインダを対象に実験を行った。回転機の容量に関わらず単独運転現象が確認される⁽⁴⁾という報告があるので、回転機容量の差異は本報告で検討した点においても存在しないのか確認する必要がある。

今後は種々の回転機において、停止過渡時での発電電力と回転体の仕事率の変化の相関性について、各特徴的なエネルギー量の計算といった詳細な分析・比較を行い、停止過渡現象時での発電現象を模擬できる電氣的回転機モデルを作成し、回転機が単独運転検出機能に与える影響の解明へとつなげていく予定である。

文 献

- (1) 社団法人 日本電気協会 系統連系専門部会：「系統連系規定 JEAC 9701-2006」, pp14(2006)
- (2) 五十嵐広宣 他：「単独運転防止試験時の回転機負荷影響について」, 平成 17 年度電気学会全国大会, 6-192, pp.341-342 (2005)
- (3) 五十嵐広宣 他：「共振負荷と回転機負荷の相違と単独運転試験への影響について」, 電気学会論文誌 B, Vol. 127, No. 1, pp.192-199(2007)
- (4) 五十嵐広宣 他：「回転機負荷の違いによる単独運転防止装置への影響について」, 平成 17 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 274, pp31 15-16(2005)