

系統連系インバータによる擬似ランダム信号を使用した誘導性負荷の推定に関する実験的検討

学生員 寺口 直希* 正員 南 政孝*a)

An Experimental Study on Estimation of Inductive Load in Grid Connection Inverter by Pseudo Random Binary Sequence

Naoki Teraguchi*, Student Member, Masataka Minami*a), Member

(2019年6月24日受付, 2019年9月4日再受付)

The grid connection inverter is built in the PCS (Power Conditioning Subsystem) for the distributed power supply, such as photo voltaic system. Recently, there has been considerable advances in the research on power flow using PCS. In order to adjust the power in the PCS, it is necessary that the grid connection inverter of the PCS predicts the load and output fluctuation in the customer side. Therefore, this paper investigates a load estimation in the grid connection inverter of the PCS. The proposed estimation method adds a superimposing pseudo random binary sequence to the inverter reference. The validity of the proposed estimation method is verified experimentally. As a result, it is experimentally clarified that the estimation is possible even for inductive loads.

キーワード: 系統連系インバータ, 負荷推定, 誘導性負荷, 擬似ランダム信号

Keywords: grid connection inverter, load estimation, inductive load, pseudo random binary sequence

1. はじめに

近年, 分散型電源が大量導入されたシステムにおいて, 出力変動や負荷変動の影響により, 電力系統側のみからの電力融通が困難になると予想されている⁽¹⁾。そのため, 電力系統側と需要家側の双方からの電力融通が求められている⁽¹⁾。現在, スマート社会を目指した取り組みとして, スマートインバータに実装する機能(電圧安定化や周波数安定化などの自律調整)が研究開発されている⁽²⁾。しかしながら, これらは分散型電源の出力に関する計測・制御がメインであり, 負荷変動の推定やそれに基づく電力融通機能は未だ実装されていない。そこで著者らは, 需要家からの電力融通を可能にするため, 負荷推定機能を有する系統連系インバータを提案している⁽³⁾⁽⁴⁾。先行研究⁽⁴⁾において, 提案手法により抵抗成分のみの負荷推定が実現可能であることを示した。本レターでは, この発展として誘導性負荷に対して, 負荷推定の可能性を検証する。

本レターは, 文献(4)の続報であり, Fig. 1 に示す住宅用発電システムを想定した系統連系インバータを構成し, 推

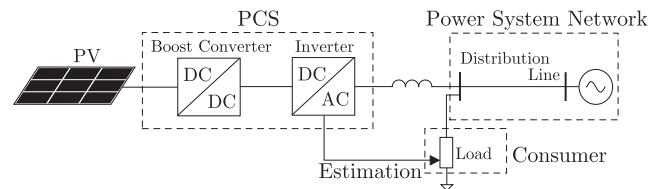


Fig. 1. Concept of load estimation by grid connection inverter in PCS with power system.

定信号として擬似ランダム信号を使用して負荷推定を行なう。その結果, 推定対象を誘導性負荷とした場合でも負荷推定が可能であることを明らかにする。さらに, 最小二乗法を適用して推定負荷を算出し, 推定の評価を行う。

2. 実験回路構成と負荷推定手法

Fig. 2 に対象とする実験回路構成を示す。Fig. 1 における太陽光発電パネルと DC/DC コンバータ部分は直流電源 V_{in} で模擬する。系統連系インバータの出力は絶縁トランスの漏れリアクタンス Z_f とフィルムキャパシタ C_f によって構成した LPF(Low Pass Filter) からの出力を連系リアクトル Z_1 を介して負荷 Z_L に接続する。電力系統側は交流電源 V_s から配電線を模擬したインピーダンス Z_2 を介して負荷 Z_L に接続する。本レターでは, 抵抗負荷 $R_L = 22 \Omega$ に任意の誘導負荷 L_L を接続した誘導性負荷を推定対象とする。また, その他の回路パラメータは先行研究(3)の通りである。

a) Correspondence to: Masataka Minami. Email: minami@kobe-kosen.ac.jp

* 神戸市立工業高等専門学校 電気工学科
〒 651-2194 兵庫県神戸市西区学園東町 8-3
Kobe City College of Technology
8-3, Gakuenhigashi, Nishi-ku, Kobe, Hyogo 651-2194, Japan

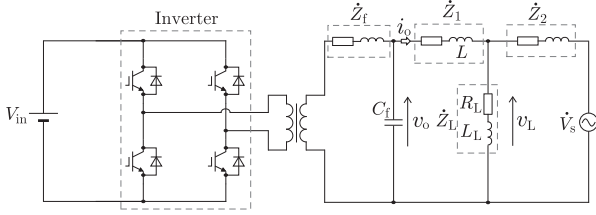


Fig. 2. Circuit configuration.

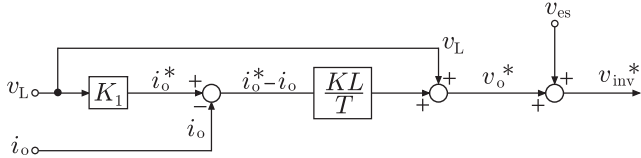


Fig. 3. Control block diagram with estimation signal.

次に、負荷推定手法の概略を説明する[†]。Fig. 3 に系統連系インバータの制御のブロック線図を示す。本レターで使用する負荷推定手法では、デッドビート制御⁵⁾により生成した信号 v_o^* に推定信号 v_{es} である擬似ランダム信号を重畳した v_{inv}^* によりインバータを駆動させる^{††}。

そして、インバータを動作させた際の出力電圧 v_o 、出力電流 i_o を測定する。これらの波形に対して離散フーリエ変換を適用することで、推定に用いる周波数成分の振幅と位相を抽出することができる。実機実験においては、推定時間短縮のため、得られたデータを線形補間して2の冪乗個に間引き、高速フーリエ変換を適用する。そして、抽出した電圧電流の振幅比および位相差を計算して、各周波数ごとの負荷インピーダンス \hat{Z}_L (負荷抵抗 R_L と負荷インダクタンス L_L) を算出する。

3. 実験結果

Fig. 4 に、周波数に対する負荷推定結果を示す。赤の丸い点が各周波数ごとの負荷インピーダンスの算出結果である。本レターでは、推定信号として 2 Hz から 1 kHz までの周波数成分を 2 Hz 刻みに使用しているため、500 点の算出結果がそれぞれで得られている。緑の曲線は、赤の算出結果をもとに最小二乗法によって求めた近似式 (推定結果 \hat{Z}_L)、青の曲線が真値 $Z_L = \sqrt{R_L^2 + (\omega L_L)^2}$ である。

負荷インピーダンスの算出結果は、数 Ω から数十 Ω の誤差を含んでいるが、真値の青の曲線に沿って分布している。さらにこの算出結果から、推定結果である緑の曲線が真値の青の曲線にほぼ一致していることがわかる。

次に、得られた推定結果に関して評価を行う。Table 1 に、最小二乗法により求めた推定負荷 \hat{Z}_L の値を示す。この結果より、推定負荷 \hat{Z}_L はいずれの場合でも真値との誤差が抵抗成分・誘導成分ともに $\pm 10\%$ 以下であり、十分に推定が達成されている。

4. おわりに

本レターでは、住宅用太陽光発電システムに使用される

[†] 先行研究 (3) にて駆動原理を詳述している。

^{††} 先行研究 (3) にて系統連系手法を詳述している。 K_1 は力率 1 のための比率、 K は制御ゲイン、 T はサンプリング周期、 L は Fig. 2 中のインダクタの値を表している。

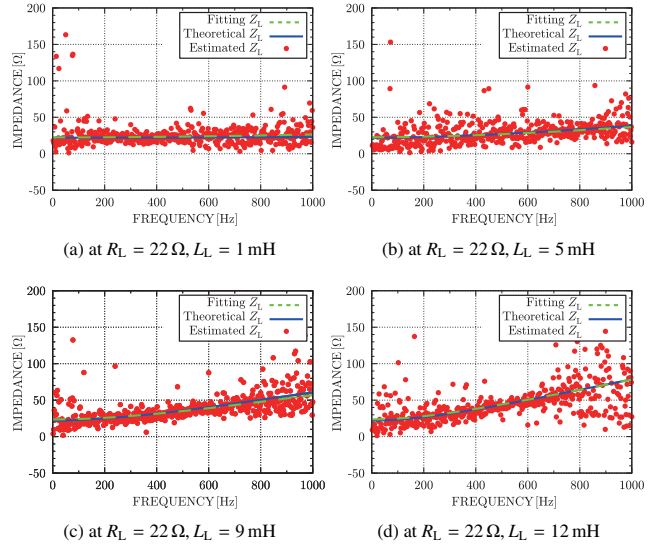


Fig. 4. Estimation results.

Table 1. Evaluation of estimation.

at 22 Ω	1 mH	5 mH	9 mH	12 mH
\hat{Z}_L	21.76 Ω +0.93 mH	22.54 Ω +4.74 mH	23.28 Ω +8.26 mH	23.65 Ω +11.86 mH

PCS を想定した系統連系インバータにおいて、擬似ランダム信号を用いた誘導性負荷に対する負荷推定を実機により検証した。その結果、誘導性負荷を対象とした負荷推定においても、十分に推定が可能であるという結果が得られた。

本レターでは推定信号を使用して周波数成分ごとの負荷インピーダンスを推定する手法を実施している。そこで、本手法を適用することにより、線形性を持たない負荷の推定可能性を示唆している。そのため、今後の予定としては、整流器などを想定した非線形負荷を対象とした推定について検討していく。また、現在の研究段階ではオシロスコープで観測した結果の FFT と負荷推定はオフラインで処理しているが、これらのアルゴリズムのオンライン化も検討課題である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP19K14977 の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表する。

文献

- (1) 浅野浩志:「デマンドレスポンスによる需給安定化」, 電学誌, Vol.132, No.10, pp.688–691 (2012)
- (2) R. Maeda, T. Fukuoka, Y. Yoshioka, and A. Harada: “Expectation for Smart Inverter & DERMS for Electric Power System Task”, *IEEJ Transaction on Power and Energy*, Vol.138, No.6, pp. 412–415 (2018) (in Japanese)
- (3) M. Minami, T. Shioi, S. Motegi, and M. Michihira: “An Experimental Study on Accuracy Improvement in Grid Connection Inverter with Load Estimation”, *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems*, Vol.139, No.4, pp.280–286 (2019) (in Japanese)
- (4) M. Minami and N. Teraguchi: “An Experimental Study on Reduced Time and Improved Accuracy for Purely Resistive Load Estimation in Grid Connection Inverter”, *IEEJ Transactions on Industry Applications*, Vol.139, No.9, pp.800–805 (2019) (in Japanese)
- (5) K.P. Gokhale, A. Kawamura, and R.G. Hof: “Dead Beat Microprocessor Control of PWM Inverter for Sinusoidal Output Waveform Synthesis”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.IA-23, No.5, pp.901–910 (1987)