

令和元年5月16日現在

機関番号：54502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18070

研究課題名(和文) 太陽光発電有効活用のための負荷推定型インバータの開発

研究課題名(英文) Development of Inverter with Load Estimation for Effective Use of Photovoltaic Power Generation

研究代表者

南 政孝 (Minami, Masataka)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：50707867

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、需要家と電力系統の双方から電力融通を可能するために、負荷推定機能を有する系統連系インバータを製作した。

次に、負荷推定に使用する推定信号を複数周波数にすることで推定精度が向上し、推定時間の短縮が可能となることを実機により検証した。さらに、広い周波数成分を有する擬似ランダム信号を推定信号に使用することで、推定精度がさらに向上し、推定時間も短縮できることを明らかにした。次に、誘導性負荷を推定対象とした系統連系インバータの負荷推定を実機により検討した。その結果、誘導性負荷の場合でも同様の手法で推定が可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、需要家と電力系統の双方からの電力融通を可能とする新機能を持つ系統連系インバータの開発を目的とし、負荷推定機能を有する系統連系インバータを提案した。

本研究の結果、系統連系インバータの出力に微小な推定信号を重畳することで、需要家側の負荷の推定が可能であることを明らかにした。さらに、推定信号の周波数成分を複数にすることで推定精度が向上することも明らかにした。需要家の負荷は時々刻々と変化するパラメータであり、負荷を推定することは今後、需要家側から電力融通を行なうにあたり必要となるものだと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to enable power interchange from both the customer and the power system, we constructed a grid-connected inverter with a load estimation function.

Next, we verified that the estimation accuracy can be improved by shortening the estimation time by setting multiple estimation signals to be used for load estimation, according to the actual equipment. Furthermore, it was clarified that the estimation accuracy can be further improved and the estimation time can be shortened by using a pseudo random binary sequence having a wide frequency component as the estimation signal.

Next, the load estimation of the grid-connected inverter for inductive load estimation was examined using a real machine. As a result, it was clarified that estimation is possible by the same method even in the case of inductive load.

研究分野：パワーエレクトロニクス

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

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、自然エネルギーを利用した太陽光発電や風力発電等の分散型電源の系統への導入が進んでいる⁽¹⁾。これらの分散型電源は自然条件により出力が変動するという問題がある。そのため現在では、分散型電源の出力が変動や需要家の負荷状態によって生じる電圧変動や周波数変動を規定値以下に調整するアンシラリーサービスを既存の電力系統が提供している⁽²⁾。しかしながら分散型電源の導入が進み、大容量化すると電力系統側からのアンシラリーサービスの提供が困難になることが予想されている。そのため、本研究では需要家と電力系統の双方からの電力融通を可能とする系統連系インバータの開発を目的とする。

2. 研究の目的

本研究は、住宅用太陽光発電システムと搭載した需要家を研究対象とし、需要家と電力系統の双方からの電力融通を可能とする系統連系インバータの開発を目指す。需要家側の負荷変動による電圧変動や周波数変動を抑制するためには、「実時間における負荷の推定」と「負荷の状態に応じた電力調整」が必要となる。そのため、本研究では需要家からの電力融通に向け、負荷推定機能を有する系統連系インバータの開発を目的としている。

3. 研究の方法

図1にインバータ出力を理想化した系統連系システムの等価回路を示す。インバータは、主成分である60Hzと重畳した微々たるもの微小な推定信号の周波数成分を持つ交流電源として見做すことが出来る。本研究ではこの回路に対して重ね合わせの原理を適用する。電力系統側は推定信号の周波数成分を持たないため推定信号の周波数成分に着目すると、インバータ出力側を合成インピーダンス \dot{Z} と考えられる。そのため、インバータ出力 v_o, i_o から \dot{Z} が推定できる。そして、 \dot{Z} が推定できれば、系統リアクトル \dot{Z}_1 および配電線インピーダンス \dot{Z}_2 が既知の値であるので下式のように負荷 \dot{Z}_L が推定可能である⁽³⁾。

$$\dot{Z} = \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_L}, \quad \dot{Z}_L = \frac{\dot{Z}_2 (\dot{Z} - \dot{Z}_1)}{\dot{Z}_2 - (\dot{Z} - \dot{Z}_1)}$$

次に実験条件について述べる。本研究では、連携リアクトル \dot{Z}_1 は6mH、配電線インピーダンス \dot{Z}_2 は $10 + j\omega \times 36 \times 10^{-3} \Omega$ とする。ただし、 $\omega = 377 \text{ rad/s}$ とする。インバータ出力 v_o, i_o は0.5sのデータを1回として推定を行なう。

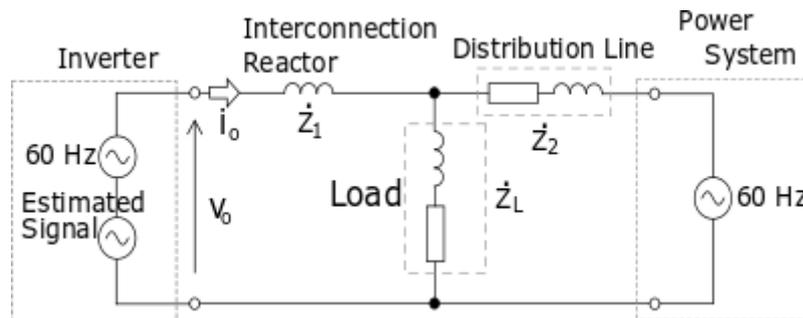


図1. 系統連系システムの主回路構成

4. 研究成果

(1)本研究ではまず、推定信号に10Hzの周波数成分を使用し、需要家の負荷 \dot{Z}_L が純抵抗50Ωの場合の系統連系インバータによる負荷推定を検討した。図2に負荷推定結果を示す。四角い点が真値、丸い点が推定信号により推定した負荷の値である。負荷 \dot{Z}_L の推定結果は、数Ωから数十Ωの誤差を含んでいるが、真値を中心に推定点が分布しているため、負荷推定は行なえていると考えている。推定時間に関しては30回のデータで推定を行なっているため、15s(0.5s×30)となっている。

また、本研究では推定精度を評価するために、標準誤差SEを計算する。その結果、10Hzのみの周波数成分で推定を行なった際のSEは2.7Ωであった。

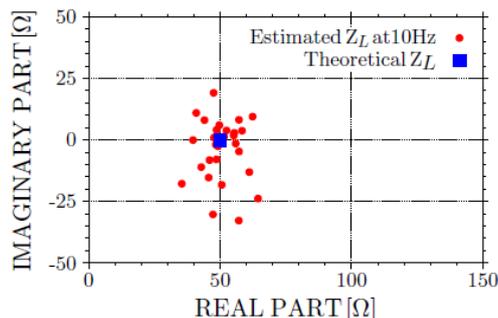


図2. 負荷推定結果(10Hz)

(2)次に、推定信号に 6Hz,8Hz,10Hz の 3 つの周波数成分を使用し、需要家の負荷 Z_L が純抵抗 50Ω の場合の系統連系インバータによる負荷推定を検討した。図 3 に負荷推定結果を示す。四角い点が真値、丸い点が推定信号により推定した負荷の値である。3 つの周波数成分で推定しているため、図 2 の負荷推定に対して、推定時間は同じであるが 3 倍の推定点で推定している。そのため、負荷 Z_L の推定結果は数 Ω から数十 Ω の誤差を含んでいるが、図 2 の 10Hz のみの推定信号を使用した推定結果に比べ、真値付近に分布している推定点が多いように見える。また、標準誤差 SE は 1.5Ω であり、10Hz のみの周波数成分で推定を行なった際の SE 2.7Ω と比較しても 3 つの周波数成分で推定した結果の方が推定精度を向上出来ていることが明らかとなった。

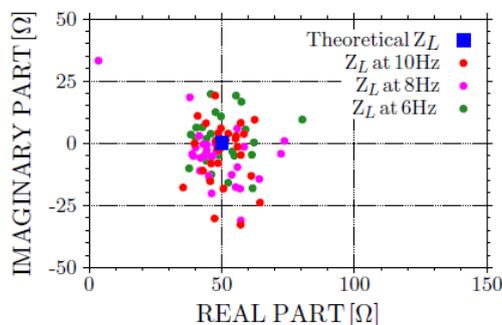


図 3. 負荷推定結果(3 つの推定信号)

(3)次に、推定信号に擬似ランダム信号を使用し、需要家の負荷 Z_L が純抵抗 22Ω の場合の系統連系インバータによる負荷推定を検討した。図 4 に負荷推定結果を示す。四角い点が真値、丸い点が推定信号により推定した負荷の値である。負荷 Z_L の推定結果は、明らかに外れた推定点があるものの、ほとんどが真値を中心に推定点が分布しているように見える。本研究で使用した擬似ランダム信号の周波数成分は 2Hz から 1kHz までを 2Hz 刻みに使用しているため、1 回の推定で 500 種類の周波数成分(500 点)で推定が可能である。さらに(1),(2)では、30 回のデータで推定を行なっているが、擬似ランダム信号を推定信号として使用した負荷推定では、1 回のデータで推定しているため、推定時間も 0.5 s と 30 倍に短縮出来ている。また、標準誤差 SE は 0.28Ω であり、3 つの周波数成分で推定を行なった際の SE 1.5Ω と比較しても擬似ランダム信号で推定した結果の方が推定精度を向上出来ていることが明らかとなった。

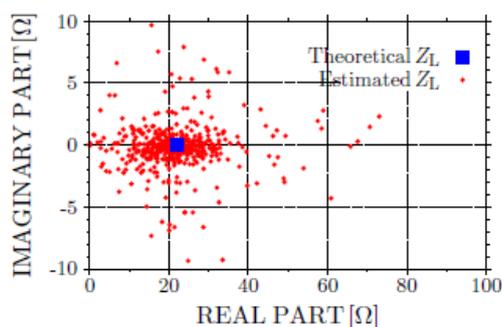


図 4. 負荷推定結果(擬似ランダム信号)

(4)次に、推定信号に擬似ランダム信号を使用し、需要家の負荷 Z_L が抵抗成分 22Ω に誘導成分 $5mH$ を含む、誘導性負荷の場合の系統連系インバータによる負荷推定を検討した。図 5 に負荷推定結果を示す。青い曲線が真値、丸い点が推定信号により推定した負荷の値である。負荷 Z_L の推定結果は、明らかに外れた推定点があるものの、真値の曲線に沿って推定点が分布しているのが確認できる。また、標準誤差 SE は 0.33Ω であり、(3)の純抵抗のみで推定を行なった際の SE 0.28Ω と比較して若干大きくなっているが、誘導性負荷の場合でも負荷推定が実現可能であると考えられる。

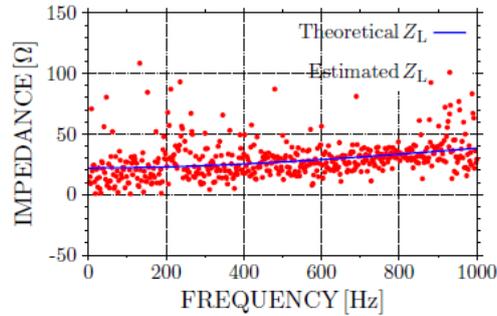


図 5. 負荷推定結果(誘導性負荷)

〈引用文献〉

- (1) 三谷, 他, 「分散電源大量導入の今と課題への取り組み」, 電学誌, Vol. 138, No. 2, pp. 74-77 (2018)
- (2) 浅野, 電学論 C, Vol. 124, No. 1, pp. 3-6 (2004)
- (3) 南, 塩井, 他, 電学論 C, Vol. 139, No. 4, pp. 280-286 (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① 南 政孝, 塩井 太介, 茂木 進一, 道平 雅一, 「負荷推定機能を有する系統連系インバータにおける精度向上に関する実機検証」, 電気学会論文誌 C, 査読あり, Vol. 139, No. 4, pp. 280-286, (2019)

〔学会発表〕 (計 6 件)

- ① 寺口 直希, 南 政孝, 茂木 進一, 道平 雅一, 「擬似ランダム信号を使用した系統連系インバータによる誘導性負荷の推定に関する実験的検討」, 平成 31 年電気学会全国大会, 家電・民生 (I), G309-A2, 4-295
- ② 寺口 直希, 南 政孝, 茂木 進一, 道平 雅一, 「擬似ランダム信号を使用した系統連系インバータによる負荷推定の精度向上に関する実験的検討」, 平成 30 年電気学会産業応用部門大会, YPC(ヤングエンジニアポスターコンペティション), Y-24
- ③ 塩井 太介, 南 政孝, 茂木 進一, 道平 雅一, 「系統連系インバータによる負荷推定の推定精度向上に関する実機検証」, 平成 30 年電気学会全国大会, 2104-A4 パワーエレクトロニクス 交流電源インターフェース, 4-126
- ④ 塩井 太介, 南 政孝, 茂木 進一, 道平 雅一, 「系統連系インバータによる負荷推定の推定精度向上に関する数値的検討」, 電気学会 産業応用部門 半導体電力変換/家電・民生/自動車合同研究会(SPC/HCA/VT), SPC-17-186, HCA-17-048, VT-17-028
- ⑤ 塩井 太介, 南 政孝, 「単相インバータの負荷推定における誤差低減に関する実験的検討」, 平成 29 年電気学会産業応用部門大会, YPC(ヤングエンジニアポスターコンペティション), Y-54
- ⑥ 目出 遼平, 南 政孝, 「単相フルブリッジインバータのデッドタイム誤差による出力電圧低下の実験的検討」, 神戸高専 産金学官技術フォーラム '16, P-1-23

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。