

# 双方向電力変換器への仮想同期発電機制御の構築

AE17079 林 勇希

指導教員 藤田 吾郎

## 1. はじめに<sup>[1][2]</sup>

近年、地球温暖化問題の対策として低炭素社会への取り組みが増えている。固定価格買い取り制度(Feed-in-Tariff :FIT)などによる太陽光発電システムの販売促進なども相まって、太陽光発電などの分散型電源の導入が増加している。一方で、分散型電源は電力システムへの連携にインバータを使用するため、従来の同期発電機のような慣性力を持たない。例えば、分散型電源の導入容量が回転系である同期発電機の容量より上回った際、システムシステム全体の慣性力が不足し、システムシステムの安定度の低下が懸念される。仮想同期発電機制御はインバータに疑似的な慣性力を持たせる制御手法であり、系統へ連系されている太陽光インバータに回転系である同期発電機と同様な慣性特性を持たせ、慣性力不足に対応する。本稿の目的は、研究室規模で仮想同期発電機制御を教育用 DC-AC インバータモジュールに組み込み系統へ接続し、その特性を評価することである。評価項目は以下の3点とする。

- I)周波数が  $50 \pm 0.2$  Hz であること
- II)系統電流のひずみ率が 5 %以内であること
- III)負荷変動時に出力が発振せず安定すること

※評価項目 I, IIは参考引用文献[1][2]をもとに決定した。

## 2. システム構成

### 2.1 主システム構成<sup>[3][4]</sup>

図1に仮想同期発電機制御のシステム構成図を示す。仮想同期発電機制御では、系統から電流・電圧を測定し、電力計算を行う。同様に系統の電圧波形からPLL(Phase Locked Loop)を使用して周波数を演算、仮想同期発電機制御を行い、指令信号と比較する。その信号からPWM(Pulse Width Modulation:パルス幅変調)波形を作り、インバータに組み込む。

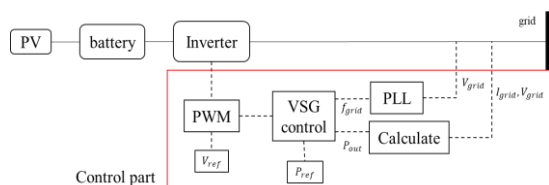


図1 システム全体の構成

### 2.2 インバータ<sup>[5]</sup>

本稿において使用したインバータは、双方向融通機能を持つ MyWay インバータ MWINV-1R022(スイッチング信号の要求電圧 5 V), 制御プラットフォームとして機能する DSP 制御ボード TMS320F28335 Experimenter's Kit(信号出力 3.3 V), インバータのスイッチングに必要な電圧を満たすための電圧レベル変換回路, 電流センサ, 電圧センサで構成される。使用したインバータの構成図を図2に示す。

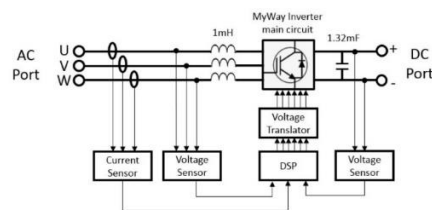


図2 インバータの構成

### 2.3 仮想同期発電機制御

仮想同期発電機制御の構成を図3に示す。仮想同期発電機制御は、1節にて前述のとおり太陽光インバータに回転系である同期発電機と同様な特性を持つ。同期発電機の特長として慣性力(Inertia), AVR(Automatic Voltage Regulator)の機能を具備している。

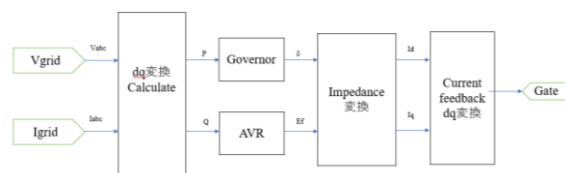


図3 仮想同期発電機制御のシステム構成

制御回路の構築には、MATLAB/Simulink と DSP 制御ボードをサポートしている Embedded Coder Toolbox を用いる。このツールボックスは、制御回路の設計において、Simulink 上で構築したブロック図による制御回路を、DSP 制御ボードで使用される C 言語コードを自動的に生成することができ、従来の C 言語による手法に代わり、組み込みシステムの設計を容易にすることが可能となる。仮想同期発電機制御のシステムは、系統から相電圧、線電流を測定し、それぞれの座標軸を abc 軸から dq 軸上に変換する。変換された dq 軸上の電

圧・電流の値を用いて、有効電力・無効電力をそれぞれ計算する。有効電力を用いて動揺方程式、無効電力を用いて AVR の計算を行う。その後、impedance 変換を行い、dq 軸上の要求信号 $i_d^*$ 、 $i_q^*$ の算出を行う。その結果と実測値 $i_d$ 、 $i_q$ を比較する。その信号は PID コントローラによって制御される座標軸を dq 軸から abc 軸に逆変換し、最終的に PWM 波形が作り出されゲート信号としてインバータに出力される。使用した動揺方程式内の inertia のゲイン $K_{vsg}$ 、時定数 $T_{vsg}$ 、及び、AVR のゲイン $K_{AVR}$ を表 1 に示す。

表 1 各パラメータ

項目	パラメータ	
動揺方程式	$K_{vsg}$	0.05
	$T_{vsg}$	0.12
AVR	$K_{AVR}$	0.05

### 3. 三相負荷試験

直流電源からインバータを介して三相負荷に結線を行う。三相負荷試験の結線図を図 4 に示す。直流電源を 24 V に設定し、三相負荷を 30 W に設定のうえ、出力波形を PQA (Power quality analyzer)を用いて計測する。三相負荷試験は pu 換算した値で制御している。また、制御回路の指令値は $P_{ref} = 0.25$ に設定した。三相負荷試験の定常状態時の波形を図 5 に示す。

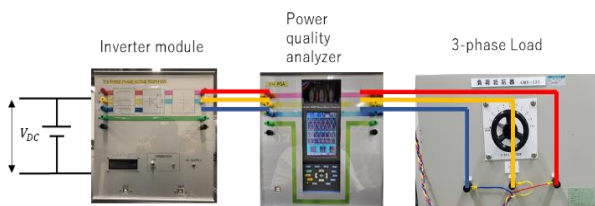


図 4 三相負荷試験

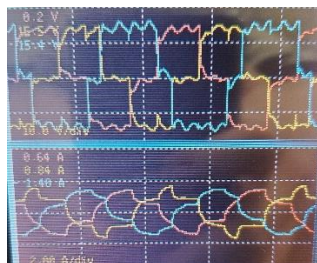


図 5 三相負荷試験定常状態波形

図 5 上部が電圧波形、下部が電流波形を示している。電圧波形がかなりひずんでおり、電流波形のひずみ率は 7.4 % と少し大きい値となった。

### 4. まとめ

3 章で行った実験の結果について、評価基準をもとに評価を行う。

- I) 周波数は定常状態時、49.99 Hz であり、PLL が反映され基準となる電力波形の周波数を推計していることが確認できた。
- II) 系統電流のひずみ率は 7.4 % と基準値より大きい値を示した。制御回路のサンプルタイムを短くすることで改善されるように思われる。
- III) 負荷変動時の挙動に関しては定常状態時に電圧波形、電流波形ともにひずみ率が大きかったため、今回は検討を断念した。

### 5. 今後の展望

現在使用している機器の計算能力不足が考えられる。そのため、より高性能の DSP を使用し検討する必要がある。今後、評価基準である負荷変動時の挙動の模擬をする必要がある。また、通常の系統のように並列運転試験を行い、負荷の分担などの検証を行う必要がある。

### 参考文献

- [1] 東京電力パワーグリッド株式会社, 周波数調整・需給運用ルール, <https://www.tepco.co.jp>, 最終閲覧日, 2021 年 1 月 20 日
- [2] 東京電力パワーグリッド株式会社, 系統連系に係る設備設計について, <https://www.tepco.co.jp>, 最終閲覧日, 2021 年 1 月 20 日
- [3] 崎元 謙一, インバータ連系分散電源に適用する仮想同期発電機制御に関する研究, 大阪大学, 2015, 博士論文
- [4] 平瀬 祐子, 仮想同期発電機制御インバータの並列運転に関する研究, 大阪大学, 2016, 博士論文
- [5] 波多野 豪, 電力系統教育のための双方向電力変換器の構築, 芝浦工業大学, 2020, 卒業論文