

系統連系インバータのDroop制御

E10001 相方良太

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

近年、化石燃料の枯渇問題、環境問題に対する意識の高まりから、自然エネルギーや再生可能エネルギーを利用する分散型電源の導入拡大が期待されている。分散型電源とは需要地の近くで発電する小規模な発電設備のことである。分散型電源のメリットは送電ロスが少ないことや、建設期間が短い、費用が少ないこと、非常用電源として使用可能であることが挙げられる^[1]。またデメリットは自然エネルギーを用いた電源は出力が不安定であるため、発電効率が大規模集中型に比べて低いこと、電力系統の周波数や電圧に影響を与えること、事故が起きた場合中央のエネルギー制御システムで一括で管理しているため、系統が一斉に解列してしまうことが挙げられる。本稿では、マイクログリッドにおける分散型電源に接続されたインバータのDroop制御の動作特性を明らかにすることを目的とする。

2. マイクログリッド

一般にマイクログリッドとは、需要地内にある複数の分散型電源を組み合わせることで制御し、電力の地域需給を可能とする小規模な電力供給網のことを指す。マイクログリッドの概略を図1に示す。

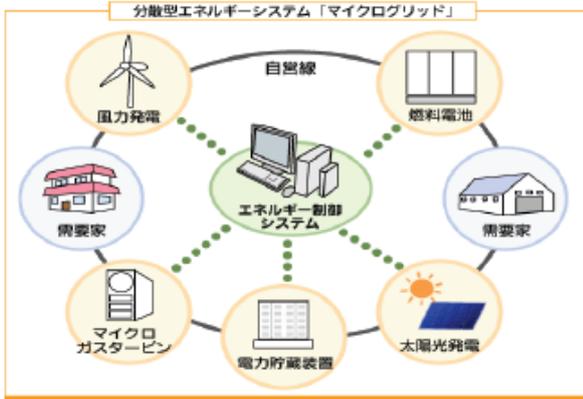


図1 マイクログリッド概略図

マイクログリッドに期待できる効果として、次の事項を挙げることができる。

- (1) 供給信頼度と電力品質を向上したシステムの構築が期待できる。大規模停電時などにマイクログリッドを単独システムとして自立させて運転することで負荷に電力を供給できる。
- (2) 自然エネルギー・再生可能エネルギーの利用により経済的なエネルギー供給システムを構築できる可能性がある。また発電設備と負荷が近接しているためコジェネレーションの排熱利用などエネルギー総合利用効率を高め相互融通も可能である。
- (3) 系統に優しいシステムを構築できる。自然エネルギーを利用した分散型電源は出力が不安定であるが、蓄電設備などによる電力変動の抑制や多数の組み合わせ

による平均化効果などが期待できる。

(4) 商用系統との連系が不可能な地域への電力供給システムとして適用できる。

これらのマイクログリッドの特徴を十分に発揮するためには、それぞれ多くの課題の解決が必要である^[2]。その解決策の一つとして系統連系インバータのDroop制御が挙げられる。

3. Droop制御

図2にインピーダンスを介して母線に接続されたインバータのモデルを示す。

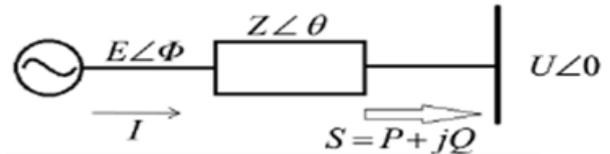


図2 母線に接続されたインバータの等価回路

これより、出力電流は次式となる。

$$I = \frac{E\angle\Phi - U\angle 0}{Z\angle\theta} = \frac{E}{Z}\angle(\Phi - \theta) - \frac{U}{Z}\angle(-\theta) \quad (1)$$

ここで、 $E\angle\Phi$ はインバータの出力電圧であり、 I は出力電流、 $U\angle 0$ は母線電圧、そして $Z = R + jX$ は線路インピーダンスもしくはインバータの出力インピーダンスである。インバータによって有効電力と無効電力を導き出すことができる。

$$P = \frac{U}{Z} [(E\cos\Phi - U)\cos\theta + E\sin\theta\sin\theta] \quad (2)$$

$$Q = \frac{U}{Z} [(E\cos\Phi - U)\sin\theta - E\cos\theta\sin\theta] \quad (3)$$

また、インバータが接続する前に正確に母線の振幅に同期しているので、インバータの出力電圧と母線電圧間の位相差 ϕ が非常に小さいことを考慮すればこれらの式を簡略化することができる。

$$P \cong \frac{U}{Z} [(E - U)\cos\theta + E\sin\theta] \quad (4)$$

$$Q \cong \frac{U}{Z} [(E - U)\sin\theta - E\cos\theta] \quad (5)$$

同期発電機の場合、線路インピーダンスは主に誘導性であるため、 $X \gg R$ 、 $Z\angle\theta = X\angle 90^\circ$ であり、(4),(5)式は次式のように簡略化することができる。

$$P \cong \frac{UE\theta}{X} \quad (6)$$

$$Q \cong \frac{U(E-U)}{X} \quad (7)$$

ここで、 X はインバータの出力リアクタンスである。これらの関係では、インバータの電圧は(6),(7)式の両方に、角度 θ は(6)式のみで現れる。角度 θ とインバータと母線の $E - U$ 間の電圧差は、母線に供給する有効電力と無効電力の量を調節するために使用される。その結果、インバータに使用するDroop制御は、電圧 E とインバータ出力電圧の周波数 ω を使用する。

$$\omega = \omega^* - mP \quad (8)$$

$$E = E^* - nQ \quad (9)$$

ω^* と E^* は無負荷時の公称周波数と出力電圧であり、 m および n は Droop 係数である。

4. 実験による検証

インバータは My Way プラス株式会社製のインバータユニット MWINV-1R022 を使用する。実験の目的に合わせてプログラムを作成、インバータに組み込みをして実験を行う。

4.1 系統連系インバータの Droop 制御

系統連系インバータはマイクログリッド電力システムの重要な装置であり、系統連系インバータの Droop 制御は、エネルギー制御システムを使用せずに負荷分担を可能にする。Droop 制御の具体例として、工場での不良品発生や高速タービンの共振などの影響により、周波数が変動してしまう。通常は、計画的に発電機から出力の上げ下げをしているので Droop 制御は、系統異常時に用いられる。系統連系の際、周波数 Droop 制御および電圧 Droop 制御が可能なインバータの製作、パワーコンディショナーの系統連系インバータの Droop 制御の試験モデルの構築を目的としている。

4.2 周波数制御の実験

実験は図 3 に示す回路で行った。回路図の左から、PV(Slide Regulator), インバータ(MWINV-1R22), 送電線(L), 負荷(R), 同期機(Synchroscope), 過電流継電気(OC Relay), 電力系統を模擬して実験を行っている。図 4 は周波数と出力の関係のグラフを示す。

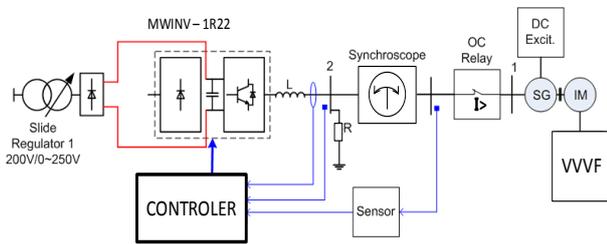


図 3 実験回路図

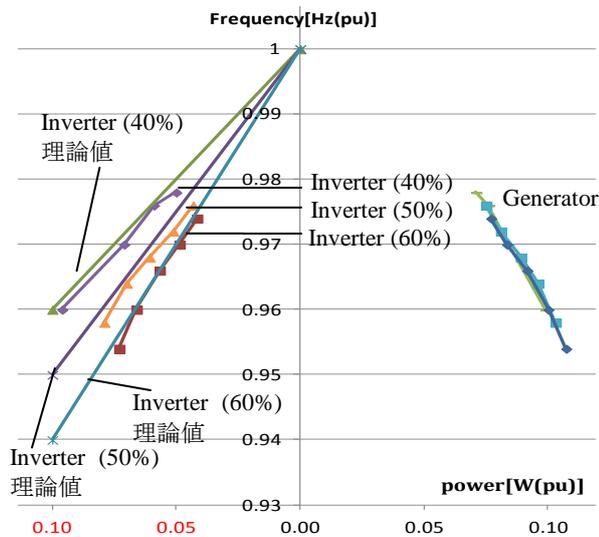


図 4 40, 50, 60%時の周波数と出力の関係

発電機出力を一定とし、5, 10, 20, 40, 50, 60%とインバータ出力のグラフの傾きを変えて、様々なパターンを想定して実験を行った。現段階では 40, 50, 60%時の実験値がグラフの理論値と近似したので妥当だったと考えられる。図 5 は 5, 10, 20%時の周波数と出力の関係の理論値を示している。

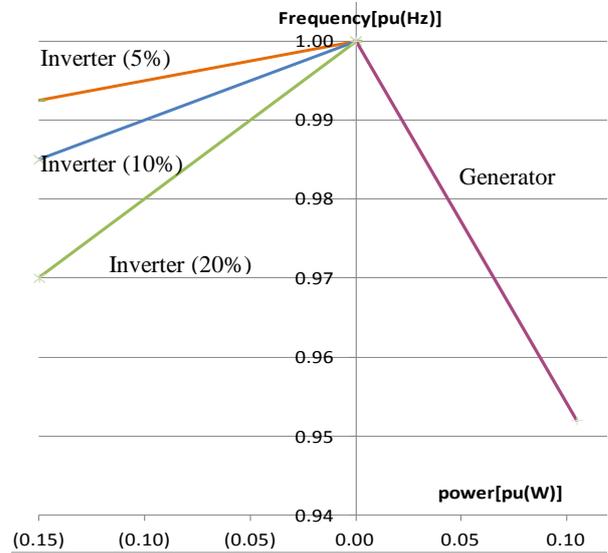


図 5 5, 10, 20%時の周波数と出力の関係(理論値)

5. まとめと今後の展望

今回の Droop の周波数制御の実験より、回路内の系統連系インバータは、発電機とインバータを並列に接続して負荷に電力を供給するシステムが 40~50%時に確認できた。この時、発電機とインバータを同期することで、発電機の供給量の変化に応じてインバータからの有効電力の供給量を調整することで、電力品質の維持を可能とするシステムができることを確認できた。

残りの 5, 10, 20 の周波数制御の実験を行い、図 5 で示したような理論値のグラフで安定した供給ができるシステムを構築したいと考えている。

今後は電圧制御、三相・単相、実習装置としての使用が可能な実験装置を製作したいと考えている。

参考文献

- [1] 島陰豊成, 内山倫行, 鈴置保雄, 角田二郎, 加藤丈佳, 「新エネルギーの普及を目的としたマイクログリッドにおける分散型電源の需給制御」電気学会論文誌 B, Vol.128, No.1 (2008)
- [2] Jos'e Matas, Miguel Castilla, Luis Garc'ia de Vicuña, Jaume Miret 'Virtual Impedance Loop for Droop Controlled Single-Phase Parallel Inverters Using a Second-Order General-Integrator Scheme' Transactions on Power Electronics, Vol.25, No. 12, 2