

離島マイクログリッドにおけるSOCを考慮した BESSによる負荷周波数制御

AE16068 塙雄樹

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

世界には無数の有人離島が存在し、中でも大規模系統から独立した小規模系統では主として化石燃料を使用するディーゼル発電機(DG : Diesel Generator)により電力供給が行われている^[1]。しかし近年は、地球温暖化や化石燃料の枯渇などの問題から太陽光発電(PV : Photovoltaic)や風力発電といった、再生可能エネルギー電源(RES : Renewable Energy Sources)が導入されている。一方、RESの発電電力は天候に依存するため短周期で出力が大きく変動し、電力品質の低下や発電機の解列を招くことが懸念されている。さらに、小規模独立系統では系統容量が小さいためRESの出力変動や負荷変動の影響を受けやすい。そこで、蓄電池システム(Battery Energy Storage System : BESS)を設置し、これらの変動を補償する手法が提案されている。BESSは残存容量(State of Charge : SOC)がある範囲を超えて動作すると劣化が進むほか、上下限值に達すると損傷してしまうため、運用範囲が定められている。そのため、SOCの変動を小さく抑えながらも、周波数制御に貢献する方法が求められている。

2. 研究目的

本研究では、DG, PV, BESSが導入された離島マイクログリッドを想定し、PVと負荷の短周期変動による電力品質の低下を抑制しつつ、SOCが運用範囲を超えないようなBESSの負荷周波数制御(Load Frequency Control : LFC)とSOC制御を確立することを目的とする。それにあたり、MATLAB/Simulinkにおいて対象系統で想定される変動を模擬したシミュレーションを行い、LFCとSOC制御の効果を検討する。

3. 対象系統

想定する系統はフィリピンのある離島である。系統は、周波数60 Hzであり、供給側がDG(390 kW), PV(300 kW), BESS(1 C)で構成されており、島内の負荷(200 kW)と海底ケーブルを介した島外の負荷(100 kW)に接続されているものを想定する。また、DGの定格出力は100 kWとする。図1に想定する系統概略図を示す。

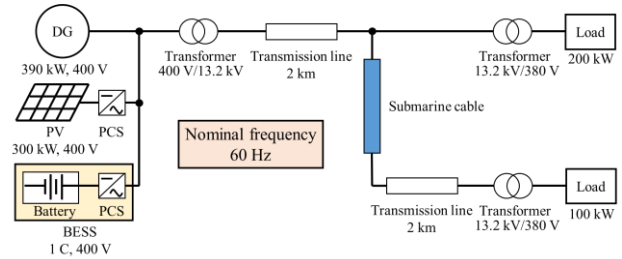


図1 想定する系統概略図

4. 管理目標値

表1に対象国の周波数と電圧の管理目標値を示す^[1]。

表1 周波数の制御指標

項目	管理目標値
周波数[Hz]	60 ± 0.3
電圧(定常時)[V]	定格より $\pm 5\%$
電圧(過渡時)[V]	定格より $\pm 10\%$

5. BESS制御

5.1 LFC

図2に提案するLFCの概略図を示す。また、周波数領域ごとの制御方法を以下に示す。領域① $f_{\min} < f < f_{\max}$: 不感帯 $\pm \Delta f_{db}$ を超えたらドループに従って充放電, 領域② $f \geq f_{\max}$: PIドループ制御により最大周波数 f_{\max} を維持するように充電, 領域③ $f \leq f_{\min}$: PIドループ制御により最小周波数 f_{\min} を維持するように放電を行う。ただし、 f_0 は商用周波数である。

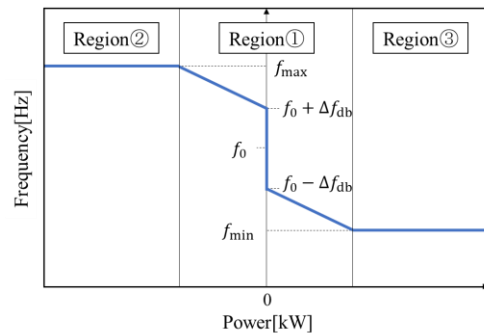


図2 LFCの概略図

5.2 SOC制御

図3にSOC制御シナリオを示す。SOCが第一上限値 $SOC_{\max 1}$ 、第一下限値 $SOC_{\min 1}$ に達したら充放電速度を選

くする制御，第二上限値 SOC_{max2} ，第二下限値 SOC_{min2} に達したら運転を停止させる制御を行う。また，図4にSOC制御の概略図を示す。SOC制御をBESSに適用するためには，BESSドループをシフトさせる必要がある。例えば，SOCが SOC_{max1} に達した場合，BESSドループを $+\Delta f_1$ シフトさせると，DG出力が P_{dmin2} に減少し，BESSの充電出力も $-P_{b2}$ に減少することにより，充電速度を遅くすることができる。図4において周波数シフトによる動作点を黒点で示し，それらを結ぶと赤線のようになる。この赤線の傾きはDGドループと同様となるため，周波数シフト Δf_n と出力変動 ΔP_{bn} の関係は以下のように表せる。

$$\Delta f_n = K_g \times \Delta P_{bn} \quad (1)$$

ここで， K_g はDGドループゲインである。また，SOC制御を適用したBESSドループの方程式は以下のように表せる。

$$f - (f_0 \pm \Delta f_{db}) \mp \Delta f_n = K_b(P_b - P_{bo}) \quad (2)$$

ここで， K_b はBESSドループゲイン， P_b はBESS出力， P_{bo} は商用周波数運転時のBESS出力である。

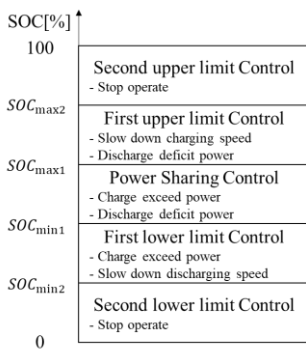


図3 SOC制御シナリオ

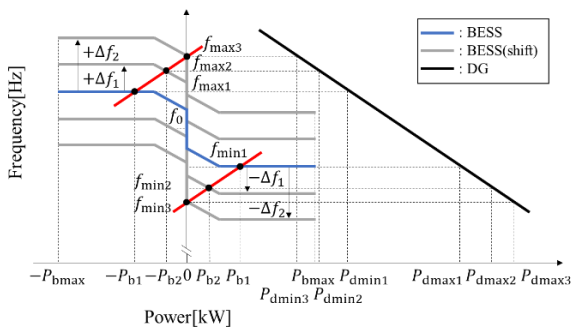


図4 SOC制御の概略図

6. 数値シミュレーションによる検証

6.1 シミュレーション条件

負荷が300 kW，DG出力が100 kW，PV出力が200 kWで，周波数が定格に安定している状況から，15秒のとき，負荷が25 %増加する条件でシミュレーションを行う。ただ

し，海底ケーブルは11 km，DGドループは3 %とする。また，最初の f_{min} を59.8 Hz，シフト後の f_{min} を59.7 Hz，初期SOCを50 %， SOC_{min1} を49.98 %， SOC_{min2} を49.96 %とする。

6.2 結果・考察

図5にシミュレーション結果を示す。

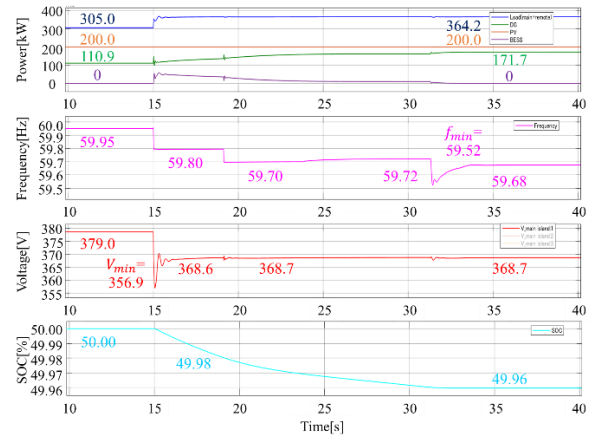


図5 シミュレーション結果

図5より，負荷変動直後はLFCにより周波数は59.8 Hzに制御されるが，SOCが49.98 %に達すると，59.7 Hzに制御されている。これは，BESSドループをシフトさせ，制御目標値を変えることで，放電速度を遅くしているためである。50秒付近で周波数が変動しているのは，SOCが49.96 %に達し，BESSが運転を停止したためである。また，電圧に関しては，制御方法の変更による変動の影響はほとんどないことがわかる。

7. おわりに

本研究では，LFCとSOC制御を構築し，離島マイクログリッドにおいて，想定した負荷変動条件のもと，制御効果の検討を行った。シミュレーションではSOCの運用範囲内での運転時間を延長し，電力品質の低下を抑制可能であることが明らかとなった。一方，LFCのPIドループ制御では周波数を最大・最小周波数に制御するため，BESSのkW容量が大きくなっている。そこで，コスト低減のため，kW容量の必要最小容量を求める必要がある。

文献

- [1] 九州電力，『離島の再生可能エネルギーの接続状況他』，http://www.kyuden.co.jp/effort_renewable-energy_ritou.html，(2019年12月27日閲覧)
- [2] GRID MANAGEMENT COMMITTEE，『THE PHILIPPINE GRID CODE 2016 EDITION』，<https://electricalengineerresources.com/wp-content/uploads/2018/05/PGC-2016-Edition.pdf>，(2019年1月4日閲覧)