

엔진발전기와 연계된 BESS의 무순단 모드 전환 기법

신은석, 김현준, 한병문
영지대학교

Seamless Transfer Method of BESS connected by Engine Generator

Eun-Suk Shin, Hyun-jun Kim, Byung-Moon Han
Myongji University

Abstract - 독립지역에서는 발전기의 전력공급한계에 대비한 백업전원으로써 BESS의 역할이 점점 커지고 있다. 또한 독립지역에서 발전기의 고장 또는 사고가 발생하면 BESS는 단독으로 부하에 전력을 공급하기 위해 연계모드에서 독립모드로 전환되어 동작되어야 한다. BESS의 운전모드가 전환되면 과도 시 독립지역의 전력공급이 불안정해지기 때문에 BESS의 무순단 모드 전환 기법이 필수적이다. 본 논문에서는 기존의 전압제어기법을 유지하면서 모드 전환 직후 제어기의 초기 적분값을 적용하여 과도 시간을 감소시키는 무순단 모드 전환 기법을 제안한다.

1. 서 론

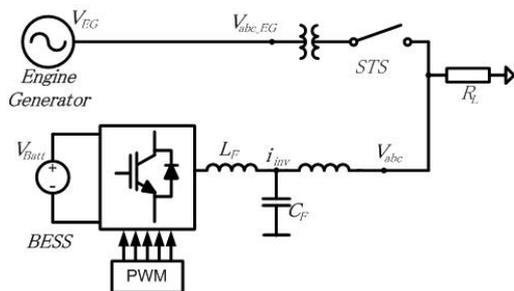
독립지역에서 BESS는 발전기나 계통과 연계되어 전류원으로 동작한다. 이 방식은 발전기나 계통이 부하의 전압 및 주파수를 제어하고 통신을 통해 BESS가 지령 전류를 출력하는 특징을 지닌다. 이러한 상호 통신을 전제로 한 BESS의 제어는 매우 효과적인 부하 분담능을 보인다. 이는 최근 분산 전원들 간의 병렬운전이 되는 마이크로그리드에 사용되고 있는 기법이며 시스템을 디자인하고 적용하는 부분에 있어서 매우 간단한 장점을 가지고 있다. 그러나 이 기법은 각 전원간 통신을 필요로 하며 중앙제어기를 두고 시스템을 제어하기 때문에 순차적으로 변화하는 전력량에 대해 신속하게 제어명령을 전송하기가 쉽지 않으며 통신 지연 때문에 과도상태에서 과전류가 발생할 수 있다. 또한 전압제어를 수행하고 있는 발전기의 고장이 발생하게 된다면 전체 시스템은 섀다운(Shutdown)이 발생하게 된다.

이와 같은 섀다운을 방지하기 위해 BESS는 발전기 대신 단독으로 전압 및 주파수 제어를 수행하여 부하에 전력을 공급하는 역할이 가능해야 한다. 기본적으로 BESS에서 사용하는 제어는 독립운전을 수행하기 위해 전류원에서 전압원으로 동작을 전환해야만 하므로 부하의 전압이 불안정해질 수 있다. 또한, 제어가 전환되면서 오차 누적 값으로 인해 긴 과도시간이 생겨 전력품질이 좋지 못하다는 단점도 있으므로 BESS의 무순단 모드 전환(Seamless Transfer) 기법이 필수적이다.

본 논문에서는 독립운전으로 모드 전환 시 전압의 불안정함을 줄이기 위해 전압제어기의 초기 적분 값을 적용하여 과도 시간을 감소시키는 기법을 제안한다. 제안한 기법을 통해 제어된 BESS는 모드 전환 시에 발생하는 전력의 과도 상태를 빠르게 정상 상태로 복구하여 끊임없는 전력 공급을 실현하여 높은 전력 품질을 유지할 수 있게 되었다. 이를 시뮬레이션과 하드웨어 실험을 통해 검증하였다.

2. 제안하는 모드 전환 기법

2.1 엔진발전기와 BESS 연계 구성



<그림 1> 엔진발전기와 연계된 BESS 구성

<Fig. 1> BESS Connected by Engine Generator

독립지역에서 엔진발전기는 주 전원압원으로 사용되며 BESS와 함께

그림 1과 같이 구성되어 있다. BESS의 출력부는 DC-AC IGBT 인버터 전력부로 이루어져 있으며 DC전압 입력부는 배터리가 있고 배터리의 출력 전압 크기에 따라 DC-DC 컨버터가 사용되곤 한다. AC 출력 부분에는 LCL 필터를 지나 부하와 발전기에 연계되어 있다. 또한, 엔진발전기는 선로를 지나 STS를 통해 부하와 연계되어있고 절연을 위해 변압기가 사용된다.

2.2 독립운전 모드 전환

BESS에서는 발전기의 고장을 검출하여 독립 운전으로 모드 전환이 이루어져야 한다. 검출방법은 본 논문에서 다루지 않으나 역상분 전압주입, 고조파 전압 주입 등 다양한 방법이 있다.

독립운전에서는 주파수 및 전압제어를 하던 엔진발전기의 역할을 BESS가 수행하게 된다. 모드 전환 시 BESS는 전류제어에서 전압제어로 전환이 되는데 이때 전압제어기의 오차 누적 적분치를 처음부터 다시 쌓는 일이 발생하여 제어기의 과도시간에 큰 영향을 미친다.

부하의 모델을 R과 L로 구성되었다고 가정하였을 때, 부하 전압 V_{abc} 의 값은 식 (1)과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

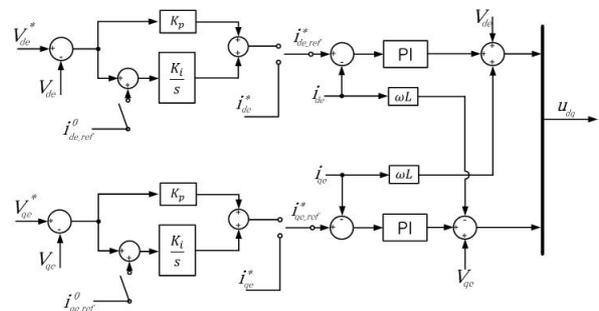
$$V_{abc} = Ri_{abc} + L \frac{d}{dt} i_{abc} \quad (1)$$

식 (1)은 정좌표변환과 동기좌표변환을 통해 표현하면 식 (2)~(3)과 같이 다시 표현이 가능하다.

$$V_{de} = Ri_{de} + L \frac{d}{dt} i_{de} - \omega Li_{qe} \quad (2)$$

$$V_{qe} = Ri_{qe} + L \frac{d}{dt} i_{qe} + \omega Li_{de} \quad (3)$$

연계 운전 중 부하전류 i_{de} 와 i_{qe} 의 값은 엔진발전기와 BESS의 전류의 합이다. 엔진발전기의 고장으로 인해 연결이 끊어지게 된다면 발전기의 전류가 0이 되어 부하전류의 값이 감소하게 되고 부하 전압 V_{de} 와 V_{qe} 의 감도 감소하게 된다. 이때 BESS는 부족한 발전기의 전류를 더 공급하여야 한다.



<그림 2> 제안하는 제어 블록도
<Fig. 2> Proposed Control Block

그림 2는 제안하는 제어 블록도를 나타낸 것이다. 적분 초기 값을 적용하기 위해서 우선 그 값을 설정할 필요가 있다. BESS의 전압제어가 정상상태가 되었다고 가정했을 때 전압제어기의 적분 값은 전류제어의 입력 $i_{de,ref}^*$ $i_{qe,ref}^*$ 과 같게되고 제어가 정상적으로 수행이 된다면 부하 전류 i_{de} , i_{qe} 와도 같게 된다(4). 이를 이용해 정상상태의 적분 값을 예측하여 모드 전환 직후 적용한다. 이 적분 값을 $i_{de,ref}^*$ $i_{qe,ref}^*$ 라고 하고 식 (5)~(6)으로 표현할 수 있다.

$$i_{dq_{e_ref}}^0 = i_{dq_{e_ref}}^* = i_{dq_{e}} \quad (4)$$

$$i_{de_ref}^0 = i_{de_EG} + i_{de_BESS} \quad (5)$$

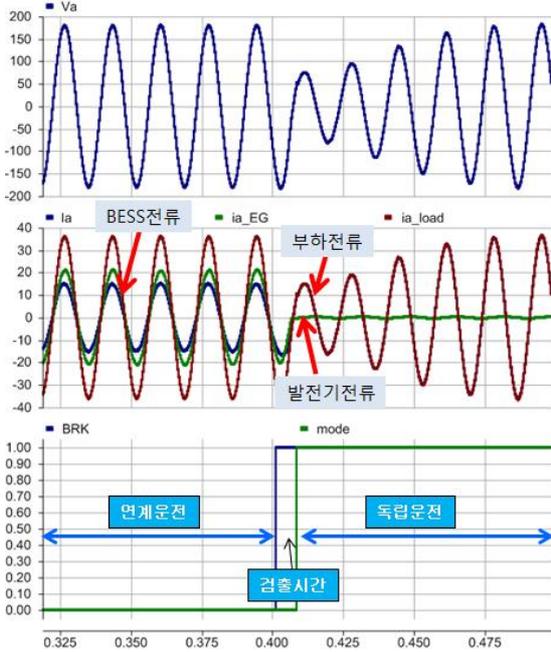
$$i_{qe_ref}^0 = i_{qe_EG} + i_{qe_BESS} \quad (6)$$

BESS는 엔진발전기에서 보내주었던 전류를 더 공급하므로 고장 전 발전기와 BESS의 전류 합으로 설정하였다.

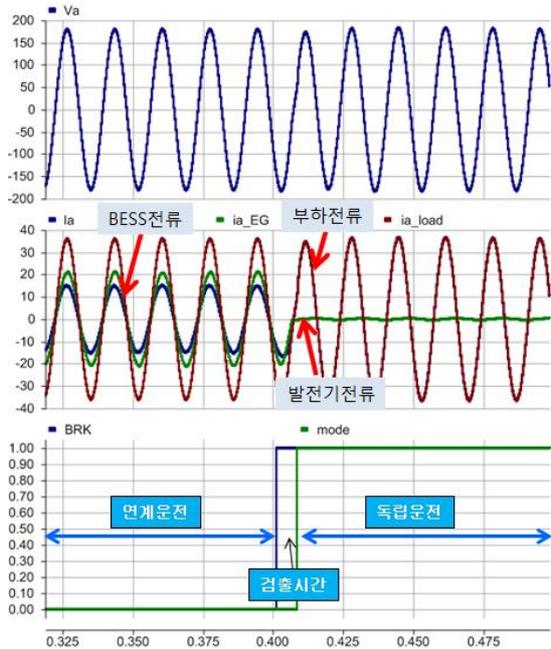
3. 시뮬레이션 및 실험 결과

3.1 시뮬레이션 결과

연계운전부터 검출시간까지 BESS는 발전기의 고장여부를 확인 할 수 없어 전류제어를 수행하며 검출 시간 이후 BESS는 발전기의 고장을 확인하게 되고 전류제어에서 전압제어로 모드 전환이 이루어진다.



〈그림 3〉 초기 적분을 미적용한 시뮬레이션
〈Fig. 3〉 Simulation without initial integral

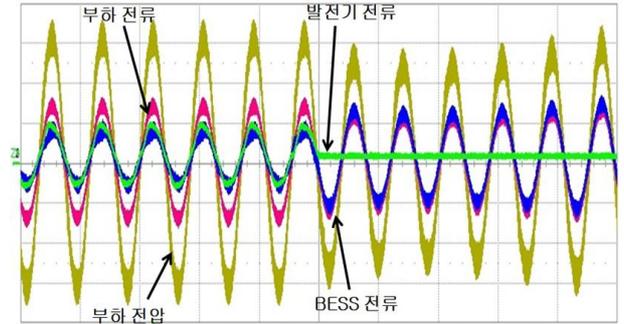


〈그림 4〉 초기 적분을 적용한 시뮬레이션
〈Fig. 4〉 Simulation with initial integral

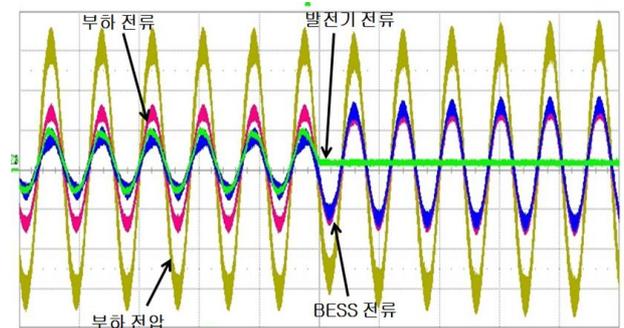
그림 3과 그림4는 각각 초기 적분 값을 미적용한 결과와 적용한 결과 파형이다. 그림 3의 경우 부하의 전류가 감소했다가 증가하는 것을 확인할 수 있지만 그림4의 경우 부하 전류가 큰 변화 없이 유지되는 것을 볼 수 있다.

3.2 실험 결과

시뮬레이션과 같은 조건으로 실험을 하였으며 검출시간은 STS가 닫히는 시간과 검출기법을 고려하여 8ms로 가정하여 실험하였다.



〈그림 5〉 초기 적분을 미적용한 실험
〈Fig. 5〉 Experiment without initial integral



〈그림 6〉 초기 적분을 적용한 실험
〈Fig. 6〉 Experiment with initial integral

시뮬레이션과 같이 초기 적분 값을 적용한 경우가 모드 전환 후의 부하 전압과 전류가 변하지 않음을 볼 수 있다. 실험을 통해 초기 적분 값을 적용하지 않은 실험보다 제어가 빠르게 정상상태가 되어 전압제어를 수행됨을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 독립운전으로 모드 전환 시 전압의 불안정함을 줄이기 위해 전압제어의 초기 적분 값을 적용하여 과도 시간을 감소시키는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 발전기의 전류와 BESS의 전류의 합을 통해 쉽게 설정할 수 있으며 기존 전압-전류 제어기법을 유지하며 초기 적분 값의 추가를 통해 구현이 가능하다. 제안된 기법을 통해 과도 상태를 줄임으로써 안정적인 전력공급이 가능하게 되어 독립지역의 전력품질향상을 기대할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. Tirumala, N. Mohan and C. Henze, "Seamless Transfer of Grid-Connected PWM inverters between Utility-Interactive and Stand-Alone Modes", Applied Power Electronics Conference and Exposition(APEC), pp. 1081-1086, 2002.
- [2] Hyosung Ki, Taesik Yu and Sewan Choi, "Indirect current control algorithm for utility interactive inverters in distributed generation systems", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 23, No.3, pp. 1342-1347, May 2008.
- [3] 이우중, 조현식, 이학주, 차한주, "3상 인버터의 계통연계 및 독립운전 전환 연구", 전기학회논문지, 제62권, p201-207, 2013. 2