

배터리 연계 무순단 절체를 위한 양방향 DC-DC 컨버터 하이브리드 안티-와인드업 제어 기법 비교

엄준용, 최성진, 이흥희
울산대학교 전기공학부

A Comparison of Bidirectional DC-DC Converter Hybrid Anti-Windup Control Methods for Seamless Transfer in Battery Connected Systems

Jun-Yong Eom, Sung-Jin Choi, Hong-Hee Lee
School of Electrical Engineering, University of Ulsan

ABSTRACT

DC마이크로그리드에서 양방향 컨버터를 통한 계통과 배터리 간의 전력교환은 계통연결 시 배터리를 충전시키고 계통분리 시 배터리를 통해 독립운전을 하는 양방향 동작의 형태로 수행된다. 이러한 운전모드 전환시 과도 오차를 줄이기 위해 무순단 절체 기능이 필요하다. 본 논문에서는 무순단 절체를 위해 전류제어기를 공유함으로써 발생하는 전압제어기 포화를 방지하는 하이브리드 안티와인드업 기법을 제안한다. DC마이크로그리드 시스템으로 구현해, 시뮬레이션을 통해 기존방식과의 비교하고 제안방식의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

양방향 컨버터를 통한 양방향 전력 교환 시스템은 DC마이크로그리드를 위한 에너지 저장장치에 필수적으로 요구된다. 계통연결시 배터리를 충전시키고, 계통분리시 배터리를 통해 독립운전을 수행하는 양방향 동작을 한다. 이러한 동작모드 전환시 무순단 절체 동작이 가능한 전류제어기를 공유하는 방식이 그림 1 과 같이 제시되었다.^[1] 이때 전압제어기가 계통연결, 계통분리에 관계없이 동작하므로 안티와인드업이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 추적역계산 방식을 보완하여 계통연결시 오프셋 값을 적용시키고, 계통분리시 추적역계산을 적용해 가상 지령치를 추적하는 방식을 통해 응답속도를 향상시키는 하이브리드 안티와인드업 방식을 제안한다.

2. 기존의 안티와인드업 방식

그림 2 는 조건부 적분 제어방식의 구조이다. 각 동작조건에 따라 PI제어기의 적분기를 온/오프 시킴으로, 제어기의 포화를 방지한다.

그림 3 은 추적역계산 방식으로 PI제어기 출력에 리미터를 설정해, 리미터를 초과하는 PI제어기 출력이 계산되었을시 초과된 PI제어기 출력에 K_a 계인을 곱한만큼 적분기에서 다시 빼주는 방식이다. 추적역계산 PI제어기출력 U 의 계산식은 식(1)과 같다.

$$U = K_p \cdot e + K_i \int (e - K_{tr} \cdot a) dt \quad (1)$$

정상상태에서, PI제어기 출력 U_{ss} 는 식(2)와 같다.

$$U_{ss} = \frac{e}{K_a} + U_{max} \quad (2)$$

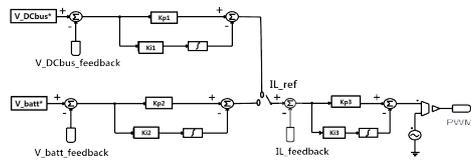


그림 1 방전동작과 충전동작이 전류제어기를 공유
Fig. 1 current controller sharing in charge and discharge operation

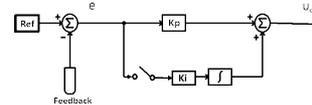


그림 2 조건부 적분 제어
Fig. 2 conditional integrator control

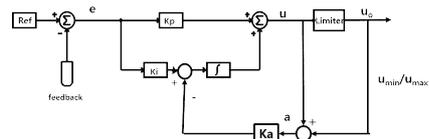


그림 3 추적역계산 안티-와인드업
Fig. 3 tracking back calculation anti-windup

그림 4 는 조건부적분의 PI제어기 출력동작을 나타낸 것이다. 계통연결 시 적분기는 비활성화 되어 PI입력에 관계없이 PI 제어기 출력은 스위치 차단 직전 값을 가짐을 확인할 수 있다. 계통분리 시, PI제어기는 DC bus 전압의 회복을 위해 PI제어를 수행하지만, 일정하지 않은 제어기 시작값으로 인해 높은 과도 오차가 발생함을 확인할 수 있다.

그림 5는 추적역계산 방식의 PI제어기 동작을 나타낸 것으로, 계통연결 시, 전압제어기의 포화가 음의방향으로 진행되지 않고 리미터 최소값으로 제한되고, 실제 PI제어값은 잔류 누적값을 가지지만 추적역계산에 의해 포화가 제어됨을 확인할 수 있다. 계통분리 시, PI제어기는 DC bus 전압을 회복하지만, 음의 잔류 누적값에서부터 시작되는 PI제어기 동작은 회복되는데 걸리는 긴 시간으로 인해 DC bus 전압에 과도오차를 유발함을 확인할 수 있다. 계통분리시 정상상태에서 PI제어기 출력은 리미터에 의해 최대값으로 제한되고 추적역계산에 의해 제어됨으로 인해 포화가 양의방향으로 진행되지 않고 잔류누적값을 지닌 값이다. 실제 시스템 동작에 사용되는 PI제어기 값은 리미터에 의해 제한된 U_0 이다. 이 값은 리미터 상한치 U_{max} 와 같다. 이

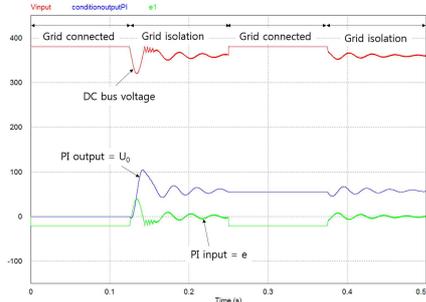


그림 4 조건부 적분 전압제어기 시뮬레이션 결과 (계통전압 = 380V 전압제어기 지령 전압 = 360V)

Fig. 4 conditional integrator voltage controller simulation results (grid voltage $V = 380$, voltage controller $V_{ref} = 360V$)

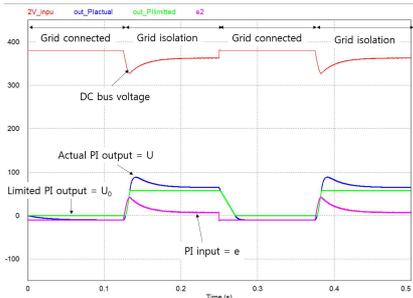


그림 5 추적역계산 전압제어기 시뮬레이션 결과 (계통전압=380V, 전압제어기 지령 전압 = 360V, 가상지령 = 380V, $K_a=1$)

Fig. 5 tracking back calculation voltage controller simulation results grid voltage ($V = 380$, voltage controller $V = 360$, virtual $V = 380$, $K_a=1$)

때 계통연결시 DC bus측 전압을 가상 지령치로 설정하고 그보다 낮게 추적역계산 리미터 상한치를 설정하면 계통의 높은 전압을 가상 지령치로 PI제어기가 빠르게 동작하고, 실제 동작은 가상 지령치보다 낮은 리미터 제한 값에 의해 결정되어 PI제어기가 보다 빠른속도로 동작하여 과도오차를 더욱 줄일수 있다.

3. 제안하는 하이브리드 방식

그림 6은 기존[2]에서 제안한 조건부 적분 방식이다. 전압제어기가 비활성화시 오프셋 U_m 을 주입하면서 적분기를 비활성화 시키고, 전압제어기 활성화시 주입한 오프셋에서 PI제어기가 시작함으로써 PI제어 목표에 더 빠르게 도달하는 방식을 제안했다. 이를 더욱 개선하여 본 논문에서 제안한 그림 7에서 제안한 하이브리드 방식의 경우, 계통연결 시 기존방식처럼, 오프셋을 주입하며 적분기를 비활성화 시킨다. 제안한 방식을 사용하면 리미터의 최대값보다 높은 오프셋을 주입할 수 있으므로 응답속도 및 추가적인 제어기의 설계에서 더욱 높은 이점을 보유할 수 있다. 이는 단순 추적역계산으로 구현이 불가능하다. 또한, 활성화 동작시 실제 계통연결시의 DC bus의 높은 전압을 가상 지령치로 설정하고 추적역계산 리미터 제한을 실제 목표로 설정한 가상 지령치보다 낮은 값으로 설정함으로써, 응답속도를 향상시켜 과도오차를 줄일수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

제안된 하이브리드 방식과 [2]에서 제안된 조건부방식을 비교한 결과는 그림 8과 같다. 하이브리드방식의 경우, 계통전압은 380V, 지령전압은 360V이며, 가상지령은 380V, 하이브리드방식의 K_a 계인은 10이다. 기존방식의 경우 PI제어기 출력에서 0.1%가량의 오버슈트를 가지지만, 오프셋값에서 자동적으로

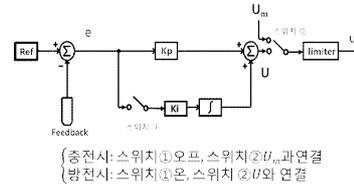


그림 6 제안된 조건부적분 방식

Fig. 6 proposed conditional integrator method

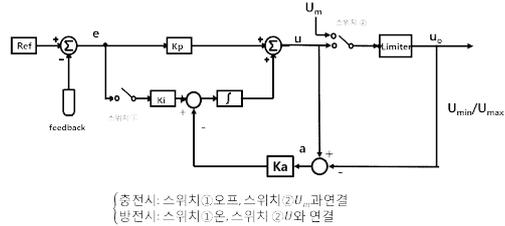


그림 7 제안된 하이브리드 방식

Fig. 7 proposed hybrid method

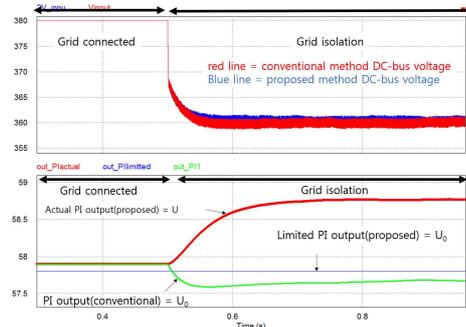


그림 8 제안한방식과 기존방식의 비교

Fig. 8 comparison of conventional method and proposed method
 설정한 지령치의 값을 추적하는 것을 확인할수 있다. 하이브리드 방식의 경우 기존 추적역계산방식과 달리 하한 리미터 값에서 시작하지 않고, 오프셋값에서 즉시 상한 리미터 값으로 동작한다. 기존방식처럼 자동적으로 설정한 지령값을 추적할수 없고, 리미터 상한 값을 계산해서 수동적으로 설정해야 지령값을 추적할 수 있다. 만일, 가상지령을 사용하지 않고 지령전압만 사용할 경우 실제 PI 제어기 출력이 상승하지 않고, 기존 방식의 PI제어기 출력과 동일한 목표값을 자동적으로 추적한다.

5. 결론

본 논문에서는 배터리연계 시스템에서 사용되는 양방향컨버터의 제어기범용 무순단 절체를 위해 전류제어기를 공유하는 방식에서, 전압제어기의 안티와인드업 방식에 대해 고찰하였다. 기존 제안한 방식의 경우, 제어기출력의 오버슈트가 존재하지만, PI제어기의 목표값 추정이 비교적 정확하다. 제안하는 하이브리드 방식의 경우 가상 지령치를 이용하기 때문에 제어기 목표값을 정확히 알수있다면 기존방법보다 빠르고 안정성을 높일수 있음을 PSIM을 통한 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

참고 문헌

[1] 권민호, 박준성, 최세완 “DC 마이크로그리드에서 에너지 저장장치를 위한 양방향 DC-DC컨버터의 무순단 절체 제어 기법” 전력 전자학회논문지 2014
 [2] 엄준용, 최성진, 이홍희. (2019). 배터리 연계 양방향 DC-DC 컨버터의 무순단 절체를 위한 안티-와인드업 기법 성능 비교 분석. 전력전자학회 학술대회 논문집, (), 443-444.