

배터리 연계 양방향 DC-DC컨버터의 무순단 절체를 위한 안티-와인드업 기법 성능 비교 분석

엄준용, 최성진, 이흥희
울산대학교 전기공학부

Performance Comparison Analysis of Anti-Winup Method for Seamless Transfer of Bidirectional DC-DC Converter 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 배터리와의 전력교환은 필수적으로 요구 된다. 일반적으로 계통이 연결 되었을 때 배터리를 충전시키고, 계통이 끊어 졌을 때는 배터리를 통해 계통에 전력을 공급하는 양방향 동작을 한다. 이러한 전력방향전환 과도상태를 줄이기 위해 무순단 절체 기능이 필요한데, 전류 제어를 공유하는 방식의 경우 전압제어기의 포화가 발생하면 양방향 컨버터의 출력응답이 늦어지거나, 출력이 불안정해 진다. 이 문제를 해결하기 위해 양방향 컨버터의 대표적인 포화방지(Anti-windup)기법을 적용하여 성능을 비교 하였다. 또한 PSIM 소프트웨어를 통해 DC마이크로그리드 시스템을 구현해 효과를 확인한다.

1. 서 론

최근 탈 원전으로 인한 신재생에너지의 수요증가와 전기에너지 수요 증가의 영향으로, DC마이크로그리드 시스템에 의한 ESS(Energy Storage System)을 이용해 부족한 전기에너지를 충족시키는 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있다. 양방향 전력전송은 전력공급이 일정하지 않은 신재생에너지 시스템의 특성상 배터리에 전력을 저장하기 위해 필수적으로 사용되며, 배터리를 충전시키는 계통 연결 운전 모드와 계통이 끊어졌을 때 계통의 DC bus 전압을 회복하기 위해 배터리에서 전력을 공급하는 독립운전모드로 구분될 수 있는데, 과도상태를 최소화 하기 위하여 무순단 절체^[1]를 위한 알고리즘 들이 활발히 제시되고 있다. 그림 1의 지정된 전압범위에 따라 전류 지령치를 선택적으로 변경하여 전류제어기를 공유하는 제어방식은 전압제어기가 동시에 작동함으로써, 안티와인드업을 적용하지 않으면 각 전압제어기가 포화되어, 모드변경 또는 정상상태 동작 시 출력응답이 늦어지거나 불안정해 진다. 본 논문에서는 조건부 적분 제어 방식과 ,추적역계산(tracking back calculation)방식을 조건부 적용을 통해 구현하여 성능을 비교하였다.

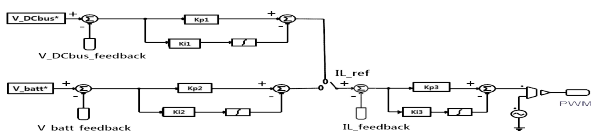


그림 1 벡동작과 부스트동작이 전류제어기를 공유
Fig. 1 current controller share in buck and boost operate

2. 안티와인드업 방식 비교

2.1 조건부 적분 제어방식

조건부 적분 제어방식^[2]은 정해진 조건에 따라 PI제어기의 적분기를 온/오프 시키는 방식이다. 본 논문에서는 추가로 전압제어기가 비활성화 될시 제어기 수동 동작 모드로 전환시키는 알고리즘까지 추가한 그림 2 와 같은 방식을 사용했다.

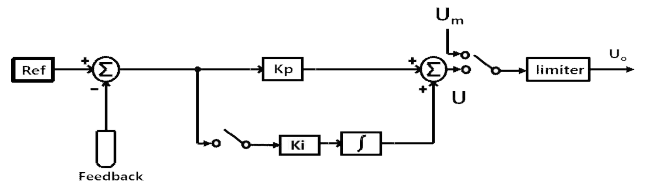


그림 2 조건부 적분 제어
Fig. 2 conditional integrator control

2.2 추적역계산 방식

추적역계산^[3] 방식은, 리미터를 초과하는 PI제어기 출력이 계산되었을 경우, Ka계인 만큼 적분기에서 다시 빼주는 것을 말하며, 일반적으로 PI출력이 리미터를 초과하지 않을 경우, 리미터 통과전과 통과후가 같으므로 안티와인드업은 동작하지 않는다. 하지만 PI출력이 리미터를 초과한 경우, 그 값만큼 적분기에서 Ka계인 만큼 다시 값을 빼주어 PI제어기의 포화를 방지하는 효과를 가진다. Ka계인 의 값은 통상적으로 1/Kp 의 값을 사용한다. 계산식은 식(1)과 같다.

$$u_0 = Kp * e + Ki \int (e - Ka * a) \quad (1)$$

본 논문에서 사용된 추적역계산 방식은 그림 3과 같다. 전압범위를 벗어나 전압제어기가 비활성화 될 때, 안티와인드업의 동작을 온/오프 시키는 방식을 사용하였다.

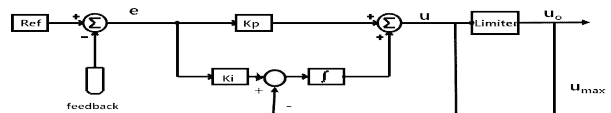


그림 3 추적 역 계산 안티와인드업
Fig. 3 tracking back calculation anti wind-up

3. 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 구조는 그림 4와 같다. 시뮬레이션 사양은 표 1과 같고 시뮬레이션에 사용된 4가지 case는 표 2와 같이 분류된다. 시뮬레이션 조건은 380V의 계통이 연결되었다가 0.125초 후 끊어지는 것을 반복하였다. 그림 5의 시뮬레이션 결과에서 각 case의 실선으로 표시된 파형은 추적역계산 피드백 값이며 그림 3의 피드백 $Ka \cdot a$ 이다. 점선으로 표시된 파형은 각 case의 전압 제어기의 출력 즉 전류지령이다. case1과 case4는 비슷한 동작 방식을 가진다. 제어기 비활성화시 각각 조건부 적분 제어, 추적역계산 방식을 통해 안티와인드업을 수행한다.

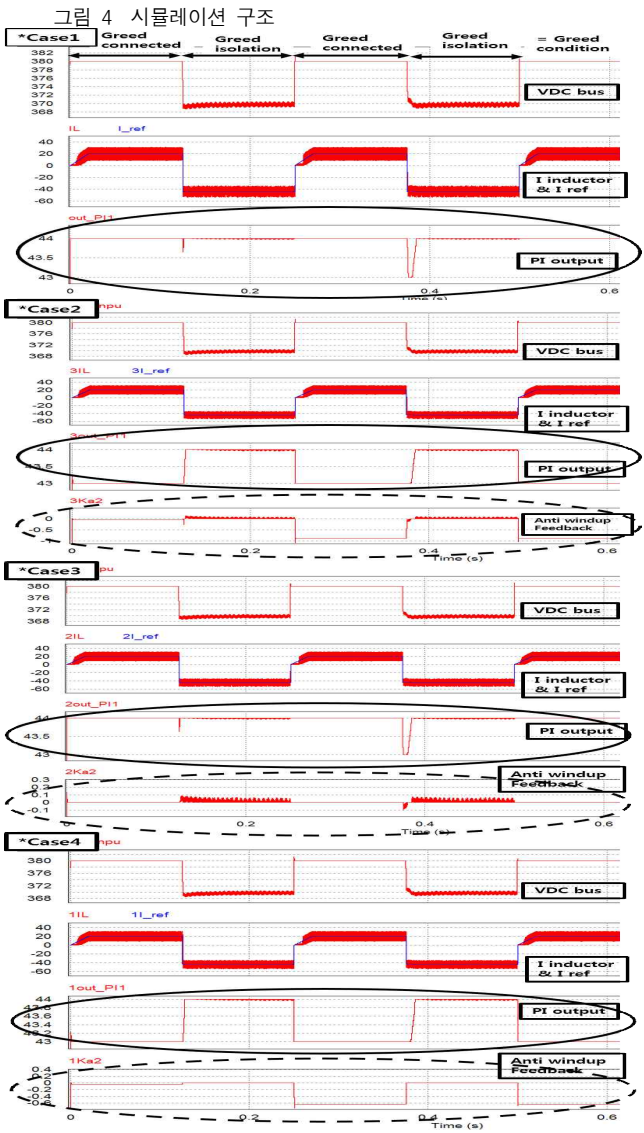
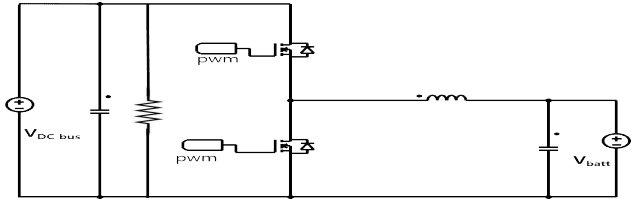


Fig. 4 simulation structure

그림 5 case 시뮬레이션 결과(dotted = PI output, solid = anti windup feedback)

그림 5 case simulation results(dotted = PI output, solid = anti windup feedback)

= anti windup feedback)

case2 와 case3 또한 비슷한 동작 방식을 가진다. 계통이 끊어져 제어기가 활성화된 상태에서도 추적역계산 피드백이 끊임없이 작동 하고 있는 것을 각 case의 실선을 통해 확인할 수 있다. 계통이 다시 연결되어 전압제어기가 비활성화 되었을 시 각각 추적역계산, 조건부 적분 제어 방식을 통해 안티 와인드업을 수행한다. case1&case4 와 case2&case3의 차이는, 계통이 끊어져 전압제어기가 활성화 동작 중 안티와인드업의 작동 유무에 있다. 이는 PI제어기의 정상적인 작동 예도 적분기 값을 감소시켜 마이크로프로세서의 계산부담을 증가시키며, 정상상태 동작중의 전압제어기의 손실이 된다.

표 1 시뮬레이션 제원
Table 1 simulation parameters

스위칭 주파수	20khz
부하전력	7.2kW
DC버스 전압	380V
배터리 전압(용량)	100*210V(100Ah)
입·출력커패시턴스	2000uF
인덕턴스	1mH

표 2 시뮬레이션 case 구분
Table 2 classification of simulation case

	전압제어기 활성화	전압제어기 비활성화
case1	리미터 사용한 일반PI	조건부 적분 제어
case2	추적역계산 제어	추적역계산 제어
case3	추적역계산 제어	조건부 적분 제어
case4	리미터 사용한 일반 PI	추적역계산 제어

4. 결론

본 논문은 DC마이크로그리드에서 배터리 연계를 위한 양방향 컨버터의 무순단 절체를 위한 제어기의 안티와인드업 방식을 비교 분석 하였다. 총 4가지 case를 통해 제어방식을 비교분석하였고, case1과 case4의 피드백방식, 그리고 case2와 case3의 피드백방식은 각각 유사하다. PI제어기 활성화 중에 추적역계산 방식을 적용하지 않는 case1과 case4는 PI제어기의 정상적인 동작 시 불필요한 계산을 하지 않고 제어기에 적용하지 않음으로 마이크로프로세서의 계산 부담을 줄일 수 있어 case2, case3에 비해 효율적이다. 또한 제어기의 비활성화시 추적역계산 방식을 적용한 case 4가 제어기 전체 출력을 정해진 값으로 설정하는 case 1에 비해 적분기만의 포화를 감소시키기에 더욱 정확하고, 실제적용에 더욱 적합하다.

참고 문헌

- [1] 권민호, 박준성, 최세원 "DC 마이크로그리드에서 에너지 저장장치를 위한 양방향 DC-DC컨버터의 무순단 절체 제어기법" 전력 전자학회논문지 2014
- [2] Youbin Peng, D. Vrancic and R. Hanus, "Anti-windup, bumpless, and conditioned transfer techniques for PID controllers," in *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 16, no. 4, pp. 48-57, Aug. 1996.
- [3] C. Bohn and D. P. Atherton, "An analysis package comparing PID anti-windup strategies," in *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 15, no. 2, pp. 34-40, April 1995.