

3-Level NPC 컨버터의 동특성 향상을 위한 PI제어와 연산량 감소 모델예측제어의 혼합제어기법

송준호*, 강경민*, 홍석진*, 원충연*
성균관대학교*

Hybrid Control Method of PI Control and Model Predictive Control with Reduced Computation for improving dynamic characteristic of 3-Level NPC AC/DC Converter Control

Jun Ho Song*, Kyung Min Kang*, Seok Jin Hong*, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문은 양극성 직류배전망 연계를 위한 3 level NPC AC/DC 컨버터 제어 시 PI제어와 연산량 감소 모델예측제어를 혼합한 제어 기법을 제안한다. 이를 통해 기존에 비해 향상된 동특성을 확인할 수 있다. 제안하는 제어 기법을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서 론

최근 신재생에너지원 및 ESS에 대한 수요가 증가함에 따라 이들과의 연계에 있어 효율적인 양극성 직류배전 시스템에 대한 연구가 활발히 중이다. 이때 3 level NPC AC/DC 컨버터를 통해 교류 계통으로부터 양극성 직류배전망으로 전력전달을 할 수 있다.

3 level NPC AC/DC 컨버터를 제어하는 방식에는 PI제어와 모델예측제어가 있으며 이들은 각각의 장단점을 가진다. PI제어는 정상상태 리플이 적지만 부하 변동에 대한 응답 특성이 느리며 밸런싱 제어과정이 추가적으로 필요하다. 반면 모델예측제어는 응답 특성이 빠르며 자체적인 밸런싱 과정이 포함되어 있다. 하지만 모델예측제어는 제어 연산량이 많으며 정상상태 리플이 크게 발생한다는 단점이 있다

본 논문에서는 연산량이 저감된 모델예측제어와 PI제어 및 모델예측제어의 장점을 모두 적용할 수 있는 혼합제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 기법을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 본 론

2.1 연산량 감소 기법이 적용된 모델예측제어

모델예측제어는 현재 샘플링 시점에서 컨버터의 각종 정보들을 통해 스위칭 상태에 따른 다음 샘플링 시점에서의 전류와 전압 값을 얻고 이때의 비용함수를 계산하여 비용함수가 최소가 되는 스위칭 상태를 출력하는 제어 방식이다. 제어하는 3 level NPC AC/DC 컨버터는 각 상 당 3개의 스위칭 상태를 가지며 이에 따라 그림 1과 같이 중복되는 스위칭 상태를 고려하여 총 19개의 서로 다른 스위칭 벡터를 가진다.

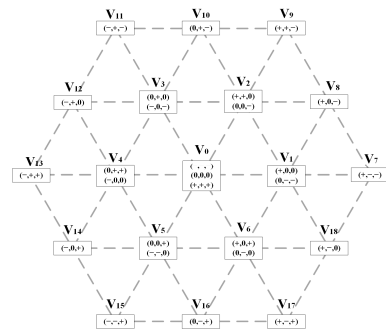


그림 1. 3 level NPC AC/DC 컨버터의 스위칭 상태

3 level NPC AC/DC 컨버터 예측제어 시 각 제어 주기마다 19개의 스위칭 벡터에 대한 예측 값과 비용함수 연산을 수행하게 된다. 이때 스위칭 동작은 지령 전압과 실제 전압 간의 오차 값에 따라 다른 벡터 구간에서 스위칭 동작을 진행한다. DC link 지령 전압과 실제 전압의 오차가 큰 과도 상태에서는 빠른 전압 추종을 위해 Outer vector 영역에서 스위칭 동작이 진행된다. 반대로 정상상태에서는 Inner vector 영역에서만 스위칭 동작이 진행된다. 이를 적용하여 연산량이 저감된 모델예측제어에서는 과도 상태와 정상상태를 구분하고 정상상태 도달 시 내부 벡터 영역에 대한 모델예측제어를 수행한다. 그림 2는 정상상태에서의 벡터제어과정을 나타낸다. 과도 상태에서는 19개 스위칭 벡터의 모든 영역에 대한 제어를 수행하지만 DC link 출력 전압이 지령 전압과 같아지게 되면 내부 육각형 영역에 대해서만 모델예측제어를 수행한다.

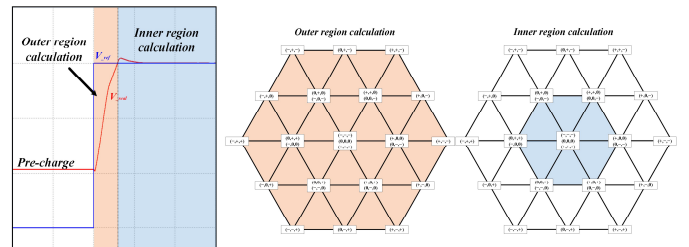


그림 2 출력 전압에 따른 모델예측제어 스위칭 영역

2.2 혼합제어 알고리즘

모델예측제어는 응답성이 빠르며 자체적인 밸런싱 알고리즘

을 가지지만 정상상태에서는 PI제어에 비해 전압 리플이 크게 발생한다는 단점이 있다. 때문에 PI제어와 모델예측제어를 혼합하여 제어하는 제어 알고리즘을 통해 해결할 수 있다. 정상상태로 동작할 경우 PI제어를 수행하며 부하 변동 및 과도상태 제어는 모델예측제어를 수행하는 제어 알고리즘을 제안한다.

그림 3은 혼합제어 알고리즘을 보여준다. 제어가 시작되면 지령 전압과 DC link 출력 전압 값을 비교한다. 두 전압 값 간의 차이가 x (오차 제한 값)에 비해 클 경우 지령 전압에 도달하지 않은 과도상태이거나 부하 변동 등에 따른 오버슈트 또는 언더슈트 구간이므로 빠른 응답성을 보이는 모델예측제어를 수행한다. 두 값 간의 차이가 x 에 비해 작을 경우 DC link 상하단 커패시터 전압 간의 비교를 수행한다. 상하단 커패시터 전압 차이가 y (오차 제한 값)에 비해 클 경우 밸런싱 과정이 필요하므로 밸런싱 알고리즘이 포함된 모델예측제어를 수행하며 전압 차이가 작을 경우 이는 밸런싱 과정이 필요 없는 정상상태로 PI제어를 수행한다.

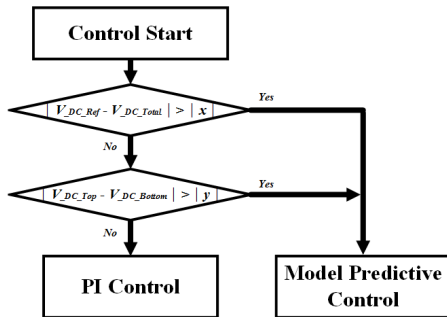


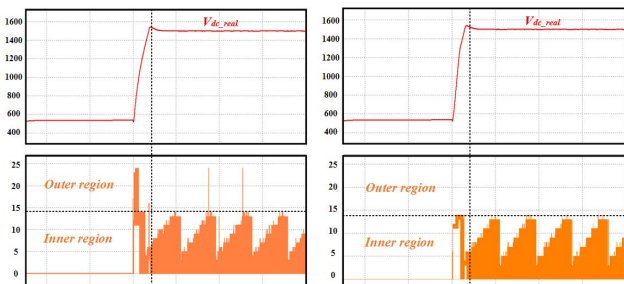
그림 3. 제안하는 혼합제어 알고리즘

3. 시뮬레이션

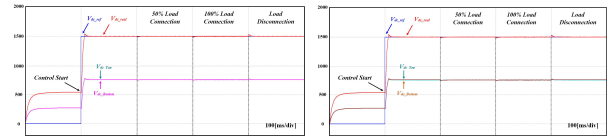
제안하는 제어 기법을 PSIM을 통해 시뮬레이션 진행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

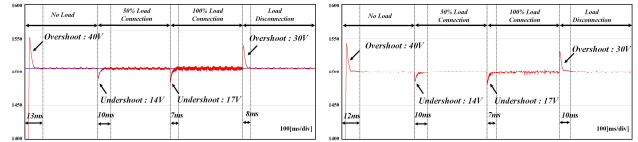
정격 용량	250 kW	L_g	50 μ H
입력선간전압	380 V _{rms}	C_f	100 μ F
계통 주파수	60 Hz	L_{con}	100 μ H
스위칭 주파수	10 kHz	출력 전압	1500 V _{dc}



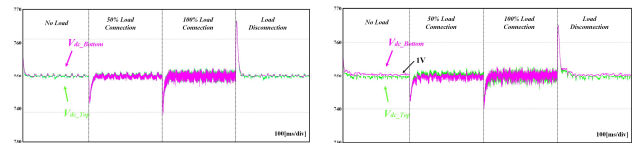
(a) 출력 전압에 따른 스위칭 상태 (기존 모델예측제어, 연산량 감소된 모델예측 제어)



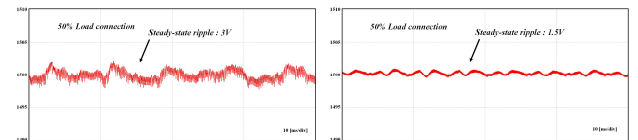
(b) 전체 출력 전압 파형 (모델예측제어, 혼합제어기법)



(c) 부하 변동에 따른 전압 값 변동 (모델예측제어, 혼합제어기법)



(d) 상하단 커패시터 전압 비교 파형 (모델예측제어, 혼합제어기법)



(e) 50% 부하 인가 시 정상상태 리플 비교 파형 (모델예측제어, 혼합제어기법)

그림 4. 시뮬레이션 결과 파형

시뮬레이션은 제어가 시작되고 매 0.1초마다 점차 부하를 연결시키며 이후 부하를 모두 제거하는 과정으로 진행하였다. (a)에서 기존 모델예측제어는 27개의 스위칭 상태에 대한 연산을 전부 적용하였지만 제안하는 연산량 기법에서는 15개의 스위칭 상태에 대한 연산만을 사용하여 제어를 수행할 수 있음을 볼 수 있다. (c)에서는 모델예측제어와 혼합제어기법 사용 시 부하 변동에 따른 파형을 볼 수 있다. (d)에서 모델예측제어와 비교하여 혼합제어기법의 경우에도 상하단 커패시터 전압 간 차이가 1V 이내에서 밸런싱이 이뤄짐을 알 수 있다. (e)에서 정상상태 리플이 모델예측제어에 비해 혼합제어기법에서 적게 발생한다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 계통으로부터 양극성 직류배전망으로 전력을 전달하는 3 level NPC AC/DC 컨버터의 빠르고 안정적인 제어를 위해 연산량이 감소된 혼합제어기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 혼합제어기법이 PI제어와 모델예측제어의 장점을 가지고 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다. (No.20164030200980)