

Cascaded NPC/H-Bridge 컨버터의 동특성 개선을 위한 혼합제어기법

강진욱*, 박우호*, 이훈*, 하재욱*, 원충연*
 성균관대학교*

Hybrid Control Method for Improving Dynamic Characteristic of Cascaded NPC/H-Bridge Converter

Jin Wook Kang*, Woo Ho Park*, Hoon Lee*, Jae Ok Ha*, Chung Yuen Won*
 SungKyunKwan University*

ABSTRACT

Cascaded NPC/H Bridge(CNHB) 컨버터는 전압 레벨 증가의 용이성 및 고효율 양방향 토폴로지로서 대전력 및 고전압 전력변환장치에 널리 사용되고 있다. 하지만 과도상태 및 정상상태에서의 단상으로 구성된 각 DC link의 전압변동은 DC link의 커패시턴스 증가 및 출력 전력의 품질을 저하시킨다. 이에 본 논문은 CNHB 컨버터의 정상상태 특성과 동특성 개선을 위하여 PI제어와 모델예측제어를 혼합한 제어기법을 제안한다. 제안한 기법의 타당성은 PSIM 9.1.4 시뮬레이션을 이용하여 검증한다.

1. 서론

최근 신재생에너지 및 ESS에 대한 관심의 증가로 인하여 대전력 및 고전압 토폴로지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 Neutral Point Clamped(NPC), Flying Capacitor(FC) 그리고 Cascaded H Bridge(CHB)와 CNHB 토폴로지가 있다. 그 중 NPC/h bridge가 직렬 연결된 CNHB는 전압 레벨 확장 및 유지 보수가 용이하고 양방향 전력제어 시 THD 성능이 우수한 이점이 있다^[1]. 이러한 CNHB 컨버터의 제어기법으로는 기존에 널리 사용되고 있는 PI제어와 모델예측제어(MPC)가 있다. 모델예측제어는 과도상태에서 기존의 PI제어보다 빠른 동특성을 갖으며 또한 전압 언밸런싱을 방지하지만 정상상태에서는 오히려 리플이 증가하는 단점이 있다^[2]. 본 논문에서는 cascaded NPC/h bridge 컨버터의 PI전류제어기와 모델예측제어를 혼합 적용하여 과도상태 및 정상상태 모두 최적의 특성을 갖는 혼합제어기법을 제안하고 PSIM 시뮬레이션을 타당성을 검증하였다.

2. NPC/H-bridge 컨버터의 PI 제어 및 모델예측제어 특성 비교

2.1 NPC/h-bridge 컨버터

그림 1은 cascaded NPC/h bridge를 이용한 고압 모터드라이브 회로도이다. 그림에서와 같이 8개의 스위치와 4개의 다이오드로 구성된 단상 NPC/h bridge를 통하여 교류 전원을 직류 전원으로 변환한다. 단상 NPC/h bridge에서는 스위칭 소자

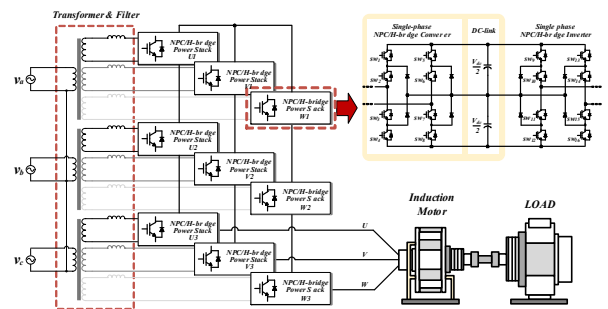


그림 1 NPC/h-bridge를 이용한 고압 모터드라이브 회로도
 Fig. 1 Medium-voltage motor drive schematic using the NPC/H-bridge

의 턴 온/오프 상태에 따라 출력전압이 “+Vdc, +Vdc/2, 0, Vdc/2, Vdc”로 구분된다. 따라서 h bridge보다 2개의 전압 레벨이 추가되므로 인버터로 구동 시 전압 레벨 확장에 용이하고 컨버터로 구동 시 회생동작의 계통 측 전류 THD 특성이 좋은 장점이 있다.

2.2 NPC/h-bridge 컨버터의 PI 및 MPC 특성 비교

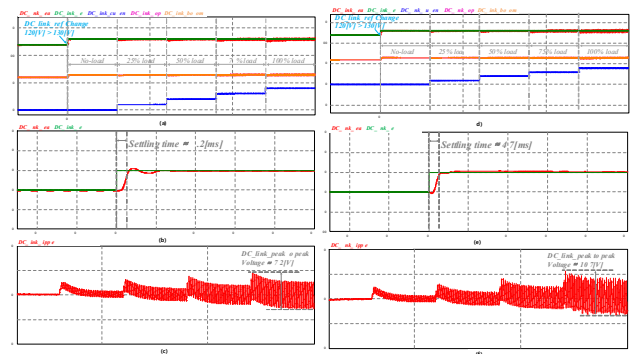


그림 2 단상 NPC/h-bridge 컨버터의 PI전류제어 및 MPC 출력 파형

Fig. 2 Output waveforms of PI current control and MPC applied in single-phase NPC/h-bridge

그림 2는 단상 NPC/h bridge 컨버터의 PI전류제어 및 MPC 출력 파형이다. 그림 2 (a)와 (d)는 각각 제어기법을 사용하였을 때 dc link 전압과 전류의 전체 파형이고 그림 2 (b)와 (e)는 dc link 전압 레퍼런스를 변경하였을 때의 응답특성을 나타

내며 2 (c)와 (f)는 과도 및 정상상태에서의 dc link 리플전압을 보여준다. 그림 2 (b)와 (e)에서 확인할 수 있듯이 계단 지령에 대한 응답특성으로 기존의 PI전류제어는 5.2[ms]의 정착시간을 갖고 MPC는 4.7[ms]의 정착시간을 갖는 것을 알 수 있다. 그러나 정상상태에서의 dc link 전압 리플은 PI전류제어는 약 7.2[V]인 반면에 MPC는 약 10.7[V]인 것을 확인할 수 있다. 따라서 과도상태의 특성은 MPC가 우수하고 정상상태에서의 특성은 기존 PI전류제어가 우수한 확인할 수 있다.

2.3 제안하는 PI전류제어와 MPC의 혼합제어기법

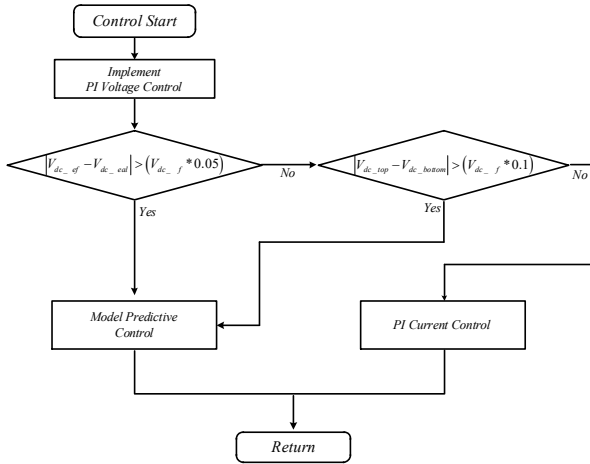


그림 3 제안하는 혼합제어기법의 순서도
Fig. 3 Flowchart of proposed hybrid control method

그림 3은 본 논문에서 제안하는 혼합제어기법의 순서도이다. 제어가 시작되면 먼저 PI전압제어를 수행하고 과도상태인지 정상상태인지 판단한다. 계단응답이 발생하였을 때 과도상태의 경우 레퍼런스 전압과 현재 전압 차이의 절대 값이 설계된 커패시턴스의 전압 변동율 기준인 5%를 초과하므로 dc link의 레퍼런스 전압과 현재 전압 차이의 절대값이 레퍼런스 전압의 5%를 넘으면 과도상태로 판단하여 동특성이 빠른 MPC를 수행한다. 만약 5% 미만이면 상단 및 하단 커패시터 전압 차이를 확인한다. 이 때 전압 차이가 레퍼런스 전압의 10%를 초과하면 전압 언밸런싱이 발생하였으므로 MPC를 수행하고 미만이면 PI전류제어를 수행한다. 이러한 동작을 반복수행 함으로써 과도상태에서는 MPC를 이용해 레퍼런스의 지령을 빠르게 추종하게 되고 정상상태에서는 PI전류제어를 이용해 안정적인 출력특성을 가지게 된다.

3. 시뮬레이션

제안하는 혼합제어기법의 타당성을 검증하기 위해 기존 PI전류제어기와 MPC 그리고 혼합제어기법을 각각 PSIM 시뮬레이션을 통해 구현하였다. 이 때 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다. 그림 4는 시뮬레이션 결과 파형이다. DC link의 레퍼런스 전압 변경, 즉 지령이 변화할 때 마다 PI전류제어기의 경우 settling time은 평균적으로 5.2[ms]가 소요되고 MPC는 평균적으로 약 4.7[ms]가 소요되는 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 제안하는 혼합제어기법은 평균적으로 약 4.5[ms]가 걸리는 것을 확인할 수 있다. 이는 지령의 변화가 시작됨과

동시에 MPC 제어를 수행하고 정상상태에 도달하기 전, 즉 지령 값의 5% 지점에서 PI전류제어기로 전환함으로써 오버슈트를 줄이고 안정적인 정상상태 동작을 수행하게 된다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameters

Power	1[kW]	V_{dc_link}	150[V]
V_g	90[Vrms]	L_g	0.001[H]
f_{sw}	20[kHz]	C_{top}	5000[uF]
$T_{control}$	50[us]	C_{bottom}	5000[uF]

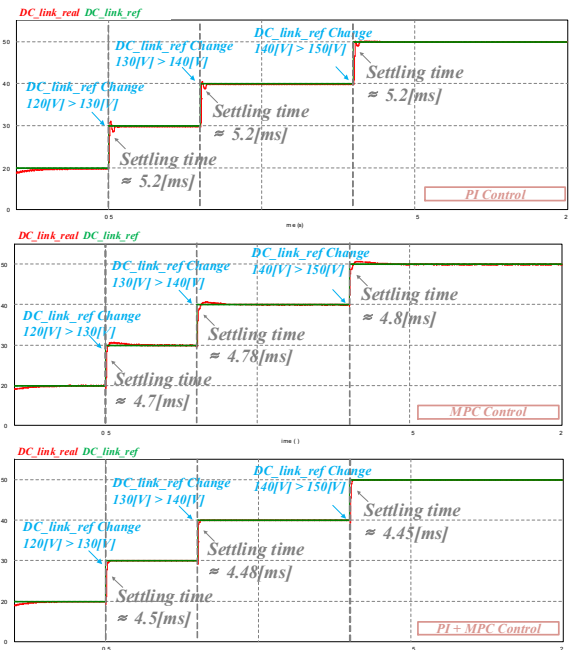


그림 4 각 제어기법의 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation waveforms of each control method

4. 결론

본 논문에서는 NPC/h bridge 컨버터의 과도상태 및 정상상태 특성을 개선하고자 PI전류제어기와 MPC를 혼합하여 구현하였다. 제안한 혼합제어기법은 기존 제어기들의 장점만 가져감으로써 더 우수한 특성을 가진다는 것을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20162010103830)

참고 문헌

- [1] M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Rodriguez and M. A. Perez, "A Survey on Cascaded Multilevel Inverters," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 7, pp. 2197-2206, July 2010.
- [2] 홍석진, 강경민, 강진욱, 송준호, 원충연, "양극성 LVDC 시스템에 적용되는 3 Level NPC 컨버터의 동특성 개선을 위한 PI제어와 모델예측제어의 혼합제어기법," 조명·전기설비학회논문지, 제31권, 8호, pp. 91-100, 2017, 8.