

전기철도 전력보상장치용 모델예측제어

이정현, 김우중, 조종민, 차한주
충남대학교 전기공학과

Model Predictive Control of Railway Power Compensator System

Junghyun Lee, Woojung Kim, Jongmin Jo, Hanju Cha
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 전력부하 불평형 개선을 위한 전기철도용 전력보상장치의 모델예측 전류제어 알고리즘을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통해 단상 3-Level 컨버터의 모델예측 전류제어 알고리즘 성능을 검증하였다.

1. 서 론

국내 전기 철도는 154kV 교류전압 급전받아 스코트 변압기를 통해 단상의 전압을 생성하여 철도에 제공 운영하는 방식을 적용하고 있다. 이때, 단상에서 철도가 소모하는 부하는 3상의 전력공급시스템에서 불평형을 발생시킨다.

이로 인한 불평형은 전력공급시스템의 품질 저하로 이어지며 주요 시설물에 대한 기능저하와 수명저하를 유발한다. 이를 개선하기 위해서 독일과 일본과 같은 철도선진국은 전력보상장치를 연구하고 있다. 이러한 전력부하보상장치는 높은 전력에서 적용됨으로 그로인한 스위칭 손실을 최소화할 목표로 Model Predictive Control(MPC)를 적용하는 연구를 실시하였다^[1].

2. 전력보상장치의 구성 및 제어

2.1 전력보상장치의 구성

그림 1은 Back To Back 단상 3-Level NPC 컨버터를 활용하여 전력보상장치를 개발하였으며 Railway static Power Conditioner(RPC) Mode를 통하여 전력 제어를 한다^[2].

2.2 전력보상장치의 전류제어

전력보상장치는 높은 전력에서 사용하는 컨버터로서 그로인한 스위칭 손실을 줄이기 위해 스위칭 주파수를 낮추며 원활한 전류제어를 위해 모델예측을 적용하였다.

2.2.1 모델예측제어

모델예측제어는 주요 원하는 제어 변수를 미리 정의된 단계 까지의 결과를 가지고 오차가 가장 적은 방식을 선택하는 방식이다.

그림 2는 기본 단상 3-Level NPC 컨버터이며, 그림 2의 전압방정식은 식 (1)과 같다.

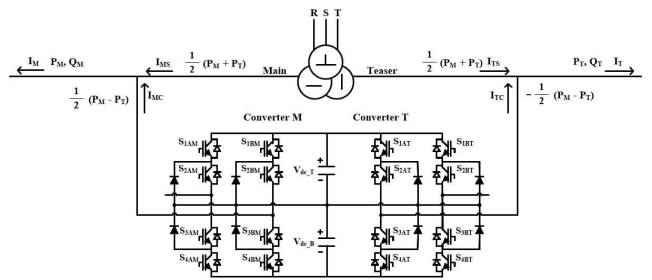


그림 1 Back To Back 컨버터를 이용한 RPC-Mode
Fig. 1 RPC mode using Back To Back converter

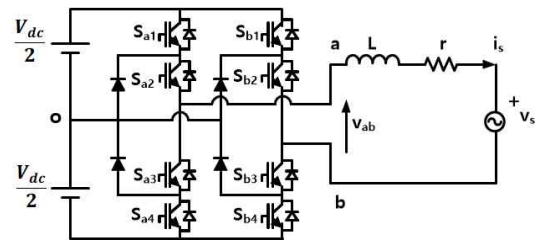


그림 2 단상 3-Level NPC 컨버터
Fig. 2 Single-phase 3-Level NPC converter

$$v_{ab} = L \frac{di_s}{dt} + r i_s + v_{ab} \quad (1)$$

이때 MPC의 경우 Forward Euler를 통해 식 (2)를 만들게 된다. 식 (2)는 식 (1)에 대입하여 식 (3)과 같이 바뀌며 식 (3)의 결과를 식 (4)과 같이 전류 지령치(i^*)와 비교하여 오차(e)를 구하여 오차가 가장 적은 방식으로 스위칭을 하게 된다^[3].

$$\frac{di}{dt} \approx \frac{i(k) - i(k-1)}{T_s} \quad (2)$$

$$i(k) = \frac{1}{RT_s + L} [Li(k-1) + T_s V(k) - T_s e(k)] \quad (3)$$

$$e = |i^*(k) - i(k)| + \Delta V \quad (4)$$

그림 3은 단상 3-Level 컨버터의 MPC Flow Chart이다.

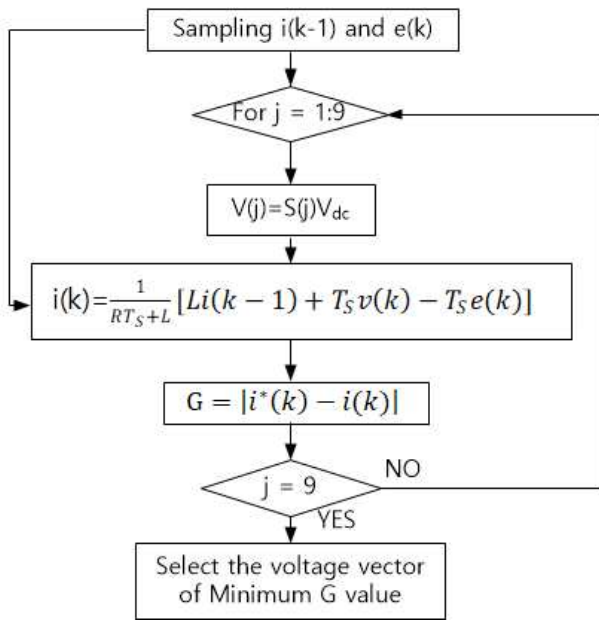


그림 3 MPC의 FLOW Chart
Fig. 3 Flow chart of MPC

3. 시뮬레이션 결과

MPC의 성능을 검증하기 위해서 그림 4와 같이 단상 컨버터를 구성하였고, 표 1은 단상 3-Level 컨버터의 파라미터 값을 나타낸다.

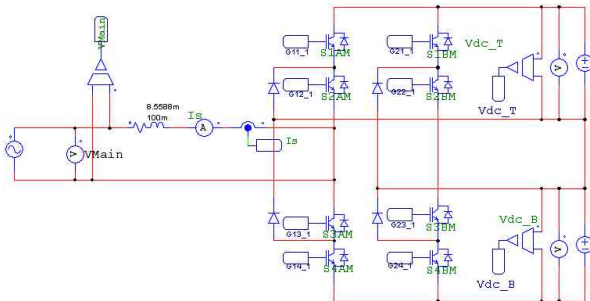


그림 4 단상 3-Level NPC 컨버터 회로도
Fig. 4 Flow chart of MPC

표 1 단상 3-Level 인버터 파라미터
Table 1 Single-phase 3-Level Converter Parameters

구분	크기
전력	3000[W]
DC전압	500[V]
Switching 주파수	10.8kHz
Filter L	8.5588[mH] - 0.2p.u
계통전압	단상 220 [V], 60[Hz]

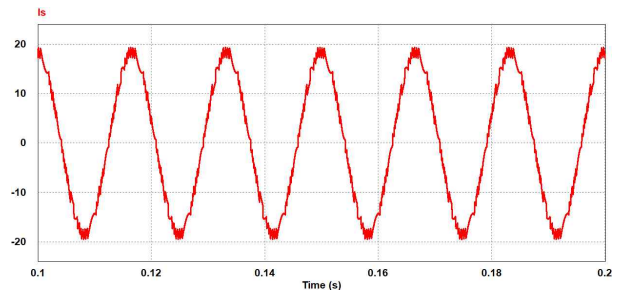


그림 4 컨버터의 출력 전류 파형
Fig. 4 Output current waveform

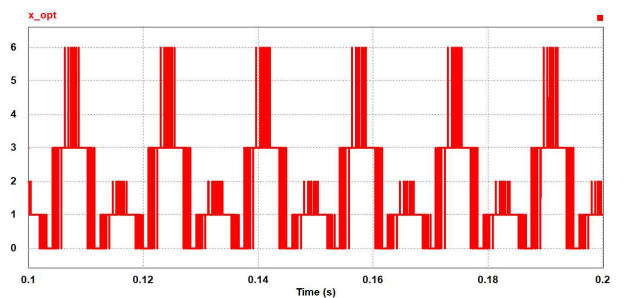


그림 5 컨버터의 스위칭 벡터
Fig. 5 Converter switching vector

그림 4는 컨버터의 출력 전류 파형으로 그림 5에서 MPC를 통해 예측한 스위칭 벡터를 이용하여 제어 했을 경우의 파형이다. 이를 통해 MPC를 통한 단상 3-Level 컨버터 제어를 확인하였다.

4. 결 론

본 논문은 능동형 전력부하 밸런서를 위해 단상 3-Level NPC 컨버터를 이용한 Back To Back 컨버터를 구성하였으며, 이에 MPC제어 알고리즘을 제안하며, 이를 시뮬레이션으로 구현하여 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 범인철, 최성수, 백송이. (2018). 교류철도 전력품질 개선기술. 한국철도학회 학술발표대회논문집, (), 248-249.
- [2] Koichi Shishime (2012) Practical Application of the Railway Static Power Conditioner (RPC) for Conventional Railways, Meden Review(Series No.516), pp. 38-41.
- [3] Yang Xingwu, Ji Hongchao, Gan Wei, "Model predictive control of single phase grid-connected inverter", 2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2014