

3-Level NPC 컨버터의 동특성 개선을 위한 모델예측제어의 연산감소 기법

강경민*, 홍석진*, 강진욱*, 송준호*, 원충연*
성균관대학교*

A Calculation Reduce Method of Model Predictive Control for Improving Dynamic Characteristic of 3-Level NPC Converter

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

ABSTRACT

양극성 직류배전 시스템의 과도상태 응답특성을 향상시키기 위한 방법으로 최근 많은 관심을 받고 있는 모델예측제어는 실제로 구현함에 있어서 DSP와 같은 마이크로프로세서가 많은 연산량을 부담해야 한다. 하지만 현재 사용되는 마이크로프로세서의 성능은 모델예측제어를 구현하기 위한 연산량을 모두 감당할 수 있을 만큼 뛰어나지 않기 때문에, 본 논문에서는 모델예측제어를 구현하는데 필요한 연산량을 감소시킬 수 있는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증되었다.

1. 서 론

환경오염과 유가급등으로 인한 세계경제 불안 등의 문제가 최근 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 신재생에너지에 대한 세계적인 관심이 크게 증가하는 추세이다. 또한 IT시대의 도래로 최근 10년간 직류전원을 필요로 하는 디지털 부하가 꾸준히 증가하고 있고, 이에 따라 최근 직류배전시스템에 대한 많은 연구가 세계 곳곳에서 진행되고 있다. 직류배전 시스템은 신재생에너지원과 함께 구성되며 기존 AC계통과의 연계를 위해 대용량의 AC/DC 전력변환장치가 배전망 앞단에 구성된다. 신재생에너지는 매 시간에 따른 발전량이 불규칙하기 때문에 배전망으로 유입되는 배전전압에 과도상태를 유발하는데, 이러한 배전전압의 과도상태는 배전망에 연결되는 각종 디지털 부하에 악영향을 끼치기 때문에 최소화해야 한다. 배전전압의 과도상태를 최소화하려면 AC/DC 전력변환장치의 성능이 뛰어나야 한다. 양극성 저압직류배전 시스템을 구성할 때 일반적으로 사용되는 3 Level NPC AC/DC PWM 컨버터의 과도상태 응답특성을 향상시키기 위한 제어기법으로 PI제어보다 빠른 동특성을 가지는 모델예측제어가 관심을 받고 있다. 하지만 모델예측제어를 3 Level NPC AC/DC PWM 컨버터에 적용하기 위해선 많은 연산량을 무난하게 처리할 수 있는 고성능 마이크로프로세서가 필요하다. 이러한 고성능 마이크로프로세서는 가격이 매우 비싸다는 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 3 Level NPC AC/DC PWM 컨버터의 과도상태 동특성을 개선하기 위해 모델예측제어의 연산량을 감소시킬 수 있는 기법을 제안한다. 제안한 기법을 통해 3 Level NPC AC/DC PWM 컨버터의 동특성이 개선되는 것을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 본 론

2.1 3상 3-Level NPC AC/DC PWM 컨버터

그림 1은 양극성 저압직류배전 시스템에 주로 적용되는 3상 3 Level NPC AC/DC PWM 컨버터를 보여주며 이는 한 상이 4개의 스위치와 2개의 클램핑 다이오드로 구성되어 스위치의 턴 온 오프 상태에 따라 $+V_{dc}/2$, 0 , $-V_{dc}/2$ 의 출력 전압을 가진다. 각상에서 출력 가능한 전압이 3개씩이기 때문에 총 27개의 스위칭 상태를 가진다. 그림 2는 3 Level NPC AC/DC PWM 컨버터의 스위칭 상태에 따른 전압 벡터도이다.

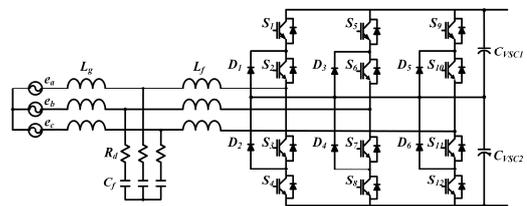


그림 1 3상 3-Level NPC AC/DC PWM 컨버터의 회로도
Fig. 1 3Phase 3-Level NPC AC/DC PWM Converter schematic

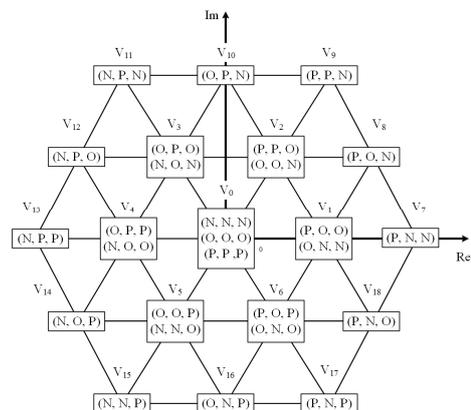


그림 2 3-Level NPC 컨버터의 전압벡터도
Fig. 2 Voltage vector diagram of 3-Level NPC Converter

스위칭 상태에 따라 일부 중복된 크기의 전압 벡터가 존재하기 때문에 최종적으로 총 19개의 서로 다른 전압 벡터를 출력할 수 있다.

2.2 3-Level NPC 컨버터의 모델예측제어

3 Level NPC 컨버터에서의 모델예측제어는 매 샘플링 주기마다 현재 측정된 전류 정보를 기반으로 특정 벡터를 인가하였을 때, 다음 샘플링 시점에서의 전류 변화를 계산한다. 그림 3은 모델예측제어에서 실제전류가 지령전류를 추종하는 원리를 보여준다.

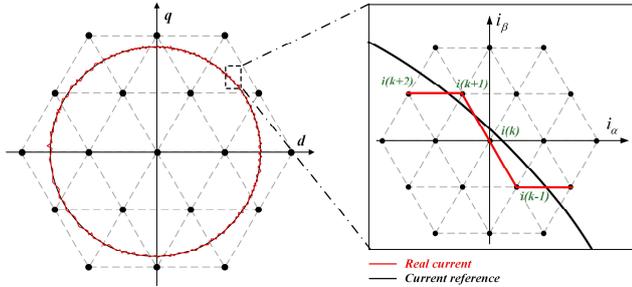


그림 3 모델예측제어의 원리(3-Level NPC)
Fig. 3 Principle of model predictive control

모델예측제어에서는 시스템의 모델링이 제어 성능을 결정하기 때문에 시스템의 정확한 이산시간 모델링이 반드시 수행되어야 한다. 식 (1), (2), (3)은 모델예측제어를 3 Level NPC 컨버터에 적용하기 위한 수식이다.

$$i_{con}(k+1) = \frac{T_s}{L_{con} - L_g} \{e(k) + v_{con}(k)\} + \frac{L_g}{L_{con} - L_g} \{i_c(k) - i_c(k-1)\} + i_{con}(k) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} v_{c1}^p(k+1) &= v_{c1}(k) + \frac{1}{C} i_{c1}(k) T_s \\ v_{c2}^p(k+1) &= v_{c2}(k) + \frac{1}{C} i_{c2}(k) T \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$g = |i_{con_d}^* - i_{con_d}^p| + |i_{con_q}^* - i_{con_q}^p| - \lambda_{dc} |v_{c1}^p - v_{c2}^p| + \lambda_n n_c \quad (3)$$

식 (1)은 시스템의 이산시간 모델링을 통해 유도한 전류예측제어를 위한 기본 수식이며, 식 (2)는 3 Level NPC 컨버터의 DC링크 전압 밸런싱을 위한 수식이다. 식 (3)은 모델예측제어의 전류예측제어를 위한 기본 수식에 지령전류 추종과 DC링크 밸런싱을 위한 가중인자가 추가된 수식이다.

2.3 제안하는 모델예측제어의 연산량 감소 기법

그림 4는 본 논문에서 제안한 모델예측제어의 연산량 감소 원리를 보여준다. 기존의 모델예측제어는 지령전류를 추종하기 위해 3 Level NPC 컨버터에서 출력 가능한 19개의 벡터를 모두 비교하여 지령전류와 가장 가까운 곳의 벡터를 출력한다. 하지만 제안하는 연산량 감소 기법은 그림 4의 왼쪽 그림과 같이 d q 좌표계를 4개의 섹터로 구분하여 각 섹터별로 지령전류를 추종할 수 있는 방향의 벡터만을 선정하여 비교한다. 섹터 1에서 지령전류는 섹터2를 향해 반시계 방향으로 회전하기 때문에 그림 4의 오른쪽 그림에서 19개의 전체 벡터 중 보라색 영역 안의 벡터만 비교해도 지령전류를 추종할 수 있다. 기존의 19개의 벡터를 모두 비교하던 방법에 비해 하나의 섹터당 약 6~7개의 벡터를 덜 비교할 수 있기 때문에 모델예측제어를 구현함에 있어 연산량을 줄일 수 있다.

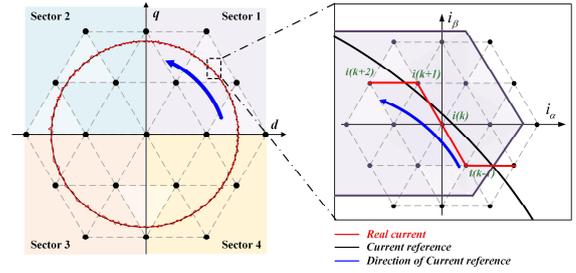


그림 4 모델예측제어의 연산량 감소 원리(3-Level NPC)
Fig. 4 Principle of calculation reduce of model predictive control

3. 시뮬레이션

제안하는 연산량 감소 기법의 제어성능을 검증하기 위하여 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법을 적용하였을 때 과도상태 동특성이 향상되는 것을 그림 5의 시뮬레이션 파형에서 확인할 수 있다.

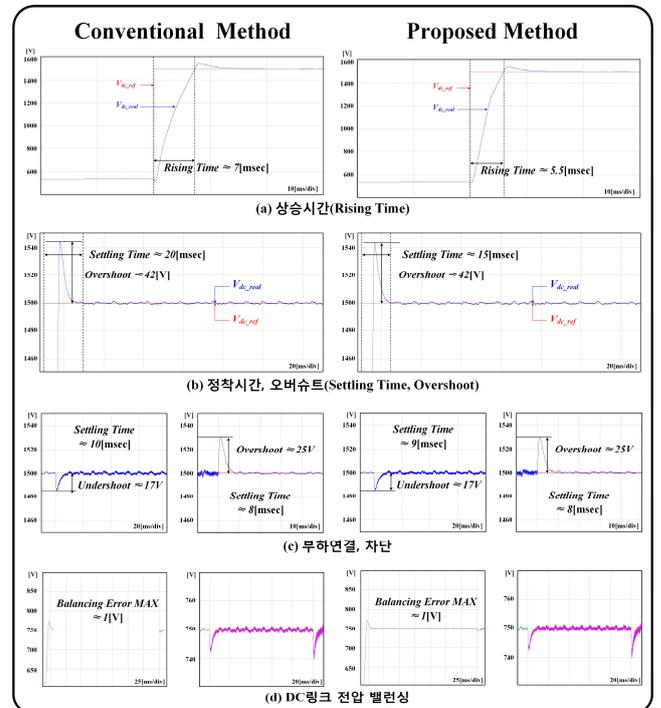


그림 5 모델예측제어 시뮬레이션 파형
Fig. 5 Model predictive control simulation waveform

4. 결론

본 논문에서는 양극성 LVDC 시스템의 동특성 개선을 위한 모델예측제어의 연산량 감소 기법을 제안하였다. 제안한 기법을 3 Level NPC 컨버터에 적용함으로써 과도상태에서의 동특성이 개선되는 것을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20152020105720)