

DC Microgrid 연계형 PMSG 기반 풍력에너지 변환 시스템의 전력 품질 개선을 위한 가변 샘플링 시간이 적용된 모델예측제어

이재형*, 추경민*, 정원상*, 원충연+
성균관대학교*

Model Predictive Control with Variable Sampling Time for Improving Power Quality of PMSG-based Wind Energy Conversion System in DC Microgrid

Jae-Hyung Lee*, Kyoung-Min Choo*, Won-Sang Jeong*, Chung-Yuen Won+
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

This paper proposes a method for improving the power quality of PMSG-based wind energy conversion system based on model predictive control in DC Microgrid. The MPC has a fast dynamic response. However, a large torque ripple deteriorating power quality is generated by a large and fixed switching period. On the other hand, the proposed method improves the power quality by setting the sampling time having zero torque error. The validity of the proposed method is verified through PSIM simulation.

1. 서 론

DC Microgrid에서 풍속을 이용한 풍력에너지 변환 시스템은 태양광 발전과 더불어 중요한 신재생에너지 발전시스템으로 주목받고 있다. 풍속은 수 십초의 간격으로 변화하기 때문에 풍력에너지를 최대로 이용하기 위한 우수한 동특성을 갖는 전력변환장치의 제어기와 최대 전력점 추종 (Maximum Power Point Tracking, MPPT)제어기의 역할이 중요하다.

기존 연구는 풍속 변화에 대한 우수한 동특성을 갖는 모델 예측제어 (Model Predictive Control, MPC)를 적용하였다[1]. MPC가 적용된 풍력에너지 변환 시스템은 우수한 동특성을 갖지만, 큰 토크 리플이 발생하여 전력 품질에 악영향을 미친다. 전력 품질을 개선하기 위해 샘플링 시간을 짧게 설정하는 경우, 스위칭 변경 횟수가 크게 증가하여 스위칭 손실이 증가하게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 가변 샘플링 시간이 적용된 MPC[2],[3]가 연구가 되었다. 기존 연구는 고정 샘플링 시간을 적용한 MPC에 비해 스위칭 변경 횟수를 크게 줄일 수 있지만, 늘어난 연산량으로 인해 가변 샘플링의 적용 불가능한 구간이 증가하며, 이는 전력 품질 개선 효과를 제한한다.

본 논문은 기존 기법과 달리 가변 샘플링 시간이 적용 불가능한 구간을 제거하여 전력 품질을 개선하였다. 제안하는 기법은 기존 샘플링 시간 이후 다음 샘플링 시간 범위까지 토크 오차 0이 되는 시점이 존재하는지 판단하고, 존재하는 경우 그 시점을 샘플링 시간으로 설정한다. 따라서 최소 연산 시간과 관계없이 가변 샘플링 시간의 적용 불가능한 구간이 제거되어, 전력 품질 개선 효과 제약이 사라지게 된다. 제안하는 기법은 PSIM 시뮬레이션을 통해 증명되었다.

2. 본 문

2-1. 풍력에너지 변환 시스템

풍속에 대한 바람 에너지 (P_{wind})는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있고, 바람 에너지로부터 얻을 수 있는 출력 전력 (P_{out})은 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_{wind}^3 \quad \dots(1)$$

$$P_{out} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p(\lambda, \beta) V_{wind}^3 \quad \dots(2)$$

여기서 ρ 는 공기밀도, R 는 블레이드의 반경, β 는 블레이드 피치각, $C_p(\lambda, \beta)$ 는 출력 전력 계수, V_{wind} 는 풍속이다. 이때, 가변 속 운전 구간에서 블레이드 피치각은 0°이다.

식 (2)에 나타난 출력 전력 계수는 풍력 발전기의 기계 파라미터에 의해 풍속으로부터 최대 출력할 수 있는 전력을 결정하며, 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda} - C_3 \beta - C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda}} + C_6 \lambda \quad \dots(3)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad \dots(4)$$

여기서 λ 는 주속비 (Tip Speed Ratio, TSP)이며, 풍속, 블레이드의 반경과 회전자의 회전속도 (ω_r)와 관련된 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{V_{wind}} \quad \dots(5)$$

PSIM에서 제공하는 기계 파라미터를 적용할 경우, 최대 출력 전력 계수 (C_{max})는 0.49이며, 최대 출력 전력 계수를 출력하기 위한 최적 주속비 (λ_{opt})는 8.18이다. 결과적으로 풍력 에너지 변환 시스템에서 최대 출력할 수 있는 전력은 바람 에너지의 49%이며 최대 전력점이 된다. 최대 전력을 출력하기 위한 회전자의 회전속도 (ω_{opt})와 토크 (T_{opt})는 식 (6)과 (7)과 같다.

$$\omega_{opt} = \frac{\lambda_{opt} V_{wind}}{R} \quad \dots(6)$$

$$T_{opt} = \frac{P_{wind} C_{max}}{\omega_{opt}} \quad \dots(7)$$

2-2. 가변 샘플링 시간이 적용된 모델예측제어

그림 1은 기존[3] 및 제안하는 기법이 적용된 PMSG의 토크 파형이다. 그림 1. (a)는 샘플링 시간 $[t_k \sim t_k + t_s]$ 에 토크 오차가 0

