

# 대용량 풍력발전 시스템에서 개선된 DFT를 이용한 능동댐핑 성능 개선 방법

이세호, 이준석, 정해광, 이교범  
아주대학교

## Active damping algorithm for a large-scale wind power system using an improved DFT

Se ho Lee, June seok Lee, Hea Gwang Jeong, and Kyo Beum Lee  
Ajou University

### ABSTRACT

본 논문은 LCL 필터를 사용하는 대용량 풍력 발전 시스템의 간단한 능동 댐핑 알고리즘을 제안한다. L 필터, LC 필터와 비교해볼 때, LCL 필터는 비교적 작은 인덕터 값을 이용하여 계통 전류의 고주파를 제거할 수 있지만, 공진이 발생된다. 따라서 LCL 필터 사용 시 공진보상은 필수적이다. 본 논문에서는 추가적인 센서나 수동소자의 사용 없이 개선된 DFT 알고리즘을 이용하여 능동댐핑을 수행하는 방법을 제한했고, 시뮬레이션을 통해서 성능을 입증한다.

### 1. 서 론

최근, 에너지 자원의 고갈로 인하여 신재생 에너지를 이용한 발전 시스템이 대두 되고 있으며, 그 중 풍력발전시스템은 가장 빠르게 성장하고 있는 발전 시스템이다. 풍력발전 시스템에는 DFIG와 PMSG가 있으며, PMSG는 DFIG와 비교해 볼 때, 구조가 간단하고, 제어가 쉽다는 장점을 가진다. 계통과 연결된 대용량 PMSG 풍력 발전 시스템에서는 LCL 필터가 사용되는데, LCL 필터의 사용은 공진 문제를 발생시키게 된다. LCL 필터의 공진을 보상하기 위한 능동댐핑 기술로는 PQR power transformations<sup>[1]</sup>, a Figital Infinite Impulse Response filter<sup>[2]</sup>, Genetic algorithm이 제안되었지만, 위에서 언급한 방법들은 추가적인 센서나 정교한 계인 및 파라미터 설정이 필요하다. 본 논문은 back to back 컨버터를 사용한 3병렬 PMSG 풍력발전 시스템에서 발생하는 공진을 개선된 DFT 알고리즘을 이용하여 감소시키는 방법을 제안 하였으며, 시뮬레이션을 통해서 제안된 방법의 타당성을 보인다.

### 2. 개선된 DFT를 이용한 능동댐핑

#### 2.1 3병렬 back-to-back 컨버터 시스템

본 논문에서는 back to back 컨버터를 이용하여 시스템을 구성하였으며, back to back 컨버터의 커패시터를 1/3로 줄이기 위해서 3병렬 시스템을 구성하였다. 전체 시스템의 구성도는 그림 1과 같다.

#### 2.2 개선된 DFT 알고리즘

DFT 알고리즘을 FFT 알고리즘과 비교하면 DFT 알고리즘은 원하는 주파수의 크기와 위상을 모두 알 수 있다.

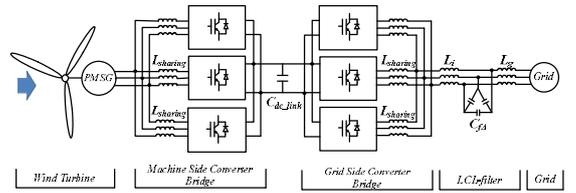


그림 1 3병렬 시스템의 전체 구성도  
Fig. 1 A three-parallel power converter for a wind turbine

또한 개선된 DFT 알고리즘은 기본적인 DFT 알고리즘보다 더 적은 계산과정을 가지게 된다.<sup>[3]</sup> 따라서 개선된 DFT 알고리즘을 이용할 경우 적은 계산과 추가적인 센서나 소자 없이 LCL 필터의 공진 보상을 할 수 있다. 개선된 DFT 알고리즘의 출력을 이용하여 신호의 크기와 위상을 계산하면 아래식과 같다.

$$|y_k(n)|^2 = v^2(n-1) + v^2(n-2) - v(n-1) \cdot v(n-2) \cdot 2 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad (1)$$

$$\angle y_k[n] = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \cdot v(n-2)}{v(n-1) - v(n-2) \cdot \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right)} \right\} \quad (2)$$

#### 2.3 제안된 방법을 이용한 능동댐핑

L 필터에서 LC부분이 추가됨에 따라서 생성되는 극점과 영점으로 인하여 공진이 발생하게 된다. 발생된 공진은 시스템의 안정도 문제를 야기 시킨다. 따라서 3상전류에서 변환된 d, q 축 고정 좌표계 전류는 기본과주파수 성분, 저차 주파수성분 그리고 공진에 의한 주파수 성분이 존재하게 되며. 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$i_{dq}^s = i(e^{j\omega_{dc}}) + i(e^{j\omega_{low\_order\_freq}}) + i(e^{j\omega_{res}}) \quad (3)$$

개선된 DFT 알고리즘을 이용하여 공진 성분만을 검출하고 검출된 성분으로 공진 보상을 해줌으로 시스템의 안정성 문제를 해결 할 수 있으며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$i_{dq}^e(dc, low\_order\_f) = i_{dq}^e(dc, low\_order\_f, res\_f) - i_{dq}^e(res\_f) \quad (4)$$

그림 3은 제안된 알고리즘을 적용한 공진보상을 나타낸다.

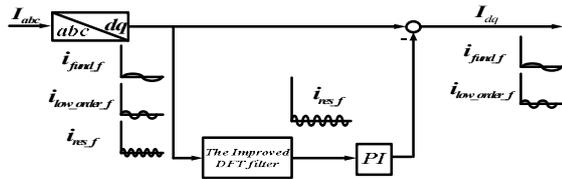


그림 2 전류의 공진성분 보상 블럭도  
Fig. 2 Current control block diagram

개선된 DFT 알고리즘을 이용하여 공진보상을 위해서는 3개의 값이 결정되어야 한다.

- 첫 번째, 알고자 하는 신호의 주파수
- 두 번째, 개선된 DFT 알고리즘의 샘플링 주기
- 세 번째, 개선된 DFT 알고리즘 계산을 위한 샘플링 개수

첫 번째, 공진 성분의 크기와 위상을 알아야 하기 때문에 첫 번째는 신호의 주파수는 공진주파수로 결정한다.

두 번째, 샘플링 주기는 첫 번째 결정된 주파수에 의해서 결정된다. 결정된 주파수의 주기보다 더 큰 샘플링 주기를 가질 경우 개선된 DFT 알고리즘은 결정된 주파수의 올바른 크기와 위상을 나타 낼 수가 없다. 따라서 샘플링 주기는 결정된 주파수의 주기보다 작게 선택하는 것이 맞다.

세 번째, 샘플링 된 값이 버퍼에 저장되는데 DFT 계산을 위한 샘플링의 개수의 크기는 서로 다른 장점을 나타낸다. 샘플링 개수가 커진다면 개선된 DFT 알고리즘의 계산에 더 많은 정보가 사용되기 때문에 결정된 주파수의 크기를 좀 더 정확하게 알아 낼 수 있다. 하지만 샘플링 개수가 크게 되면 응답특성이 느려진다는 단점이 있다. 개선된 DFT 알고리즘에 의해서 계산 되는 크기와 위상은 버퍼에 저장된 이전 값들에 의해서 결정되기 때문에 주파수의 크기가 바뀌는 순간부터 버퍼에 모든 값이 바뀌기 전까지는 올바른 크기가 출력된다고 볼 수 없다. 또 느린 응답으로 인해 잘못 검출된 신호는 시스템의 공진 보상을 위해서 사용되므로 시스템을 더욱더 불안정하게 만들 수 있다. 즉, 샘플링 개수가 작을수록 응답속도가 빠르다는 장점이 있다.

### 3. 시뮬레이션

제안된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 PISM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 표 1과 표 2에 제시된 환경에서 수행하였다.

그림 3은 개선된 DFT 알고리즘이 적용 되지 않은 출력전류를 나타내며, 공진이 발생함을 확인 할 수 있다. 반면 그림 4는 DFT 알고리즘을 적용한 출력전류 파형으로 공진성분이 저감된 것을 확인 할 수 있다.

표 1 10kW 풍력발전 시스템 파라미터  
Table 1 Simulation parameter of the 10kW Wind System

정격출력	10 [kW]
계통전압	220 [V]
스위칭주파수	2000 [Hz]
샘플링주파수	4000 [Hz]

표 2 개선된 DFT 알고리즘 설정 값  
Table 2 Design specification of the improved DFT

샘플링주기	100 [us]
샘플링갯수	50
공진주파수	825 [Hz]

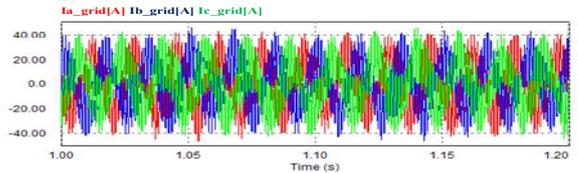


그림 3 제안된 능동댐핑이 적용되지 않은 출력전류  
Fig. 3 Simulated waveform of output current without proposed active damping

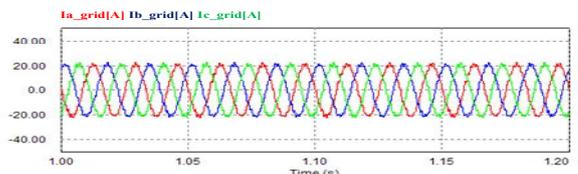


그림 4 제안된 능동댐핑이 적용된 출력전류  
Fig. 4 Simulated waveform of output current with proposed active damping

### 4. 결론

본 논문에서는 대용량 시스템에서 LCL 필터의 사용으로 발생할 수 있는 공진을 개선된 DFT 알고리즘을 이용하여 능동댐핑을 수행하는 방법을 제안 하였다. 개선된 DFT를 이용한 능동댐핑 방법은 추가적인 센서나 소자를 사용하지 않고도 공진 보상을 수행 하였으며, 이를 시뮬레이션을 통해서 확인 했다

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20110004685)

### 참고 문헌

[1] H. G. Jung, K. B. Lee, S. Choi, and W. Choi, "Performance Improvement of LCL Filter Based Grid Connected Inverters Using PQR Power Transformations," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 25, no. 5, pp. 1320-1330, 2010, May.

[2] C. P. Dick, S. Richter, M. Rosekeit, J. Rolink, and R. W. De Doncker, "Active Damping of LCL Resonance with Minimum Sensor Effort by Means of a Digital Infinite Impulse Response Filter," *European conference, Power Electronics and Application*, pp. 1-8, 2007, September.

[3] E. Jacobsen, R. Lyons, "The sliding DFT," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 20, no. 2, pp. 74-80, 2003, March.