

# 개선된 DFT를 통한 LCL 필터의 능동댐핑 성능 개선

김길훈, 강덕홍, 이교범  
LIG 넥스원(주), 아주대학교

## Performance improvement of LCL-filter using improved DFT

Kil Hun Kim, Duk Hong Kang, Kyo Beum Lee  
LIG Nex1 Co., Ltd., Ajou University

### ABSTRACT

본 논문은 개선된 DFT인 Goertzel 알고리즘을 이용한 3병렬 대용량 풍력 발전시스템의 LCL 필터 공진 보상을 제안한다. 최근에는 수동소자에 의한 손실이 없고, 추가적인 센서가 필요 없는 능동 댐핑 기법이 활발히 연구되어 지고 있다. 개선된 이산푸리에 변환인 Goertzel 알고리즘을 적용한 공진 보상 기법은 제어입력에 공진 성분이 제거된 전류 지령 값으로 제어하기 때문에 공진 저감 성능이 우수하다. 본 논문은 10kW급 대용량 풍력발전 모의 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘의 성능과 유용성을 입증하였다.

### 1. 서론

풍력 발전 시스템은 생산 가격의 감소에 의해 태양광 등 다른 신 재생에너지 중에서 최근에 가장 빠르게 성장하고 있다. 또한 대체에너지 개발 및 보급에 대한 법률이 시행되면서 풍력 발전 단지 건설이 활발하게 추진되고 있다. 현재의 풍력 발전 시스템은 사용된 교류 발전기에 따라 영구자석형 동기발전(PMSG)시스템과 이중여자형 유도발전(DFIG)시스템으로 양분된다. PMSG는 가용풍속범위가 넓고 DFIG를 이용한 시스템에 비해 구조 및 제어가 간단하다. 또한 별도의 여자 회로가 없어 효율이 높고, 다극으로 구성이 용이하며 작은 크기와 적은 무게 등으로 기어리스 방식의 대용량 풍력발전 시스템에 적합하기 때문에 최근 연구 개발 및 수요가 증가하고 있다<sup>[1]</sup>.

최근에는 수동소자에 의한 손실이 없을뿐더러, 추가적인 센서 및 비용이 발생하지 않는 능동 댐핑 기법이 활발히 연구되고 있으며, H.G. J의 PQR-능동 댐핑기법, Christian P.Dick의 IIR Filter를 이용한 능동 댐핑 기법, Robin C. Redfield의

Low-bandwidth Semi-active Damping, Marco Lieserre의 Genetic algorithm을 이용한 능동 댐핑 기법 등이 발표되었다. 하지만 위의 방법들은 주로 디지털 필터가 사용되기 때문에 필터의 설계에 따라 댐핑 성능이 결정되는 단점을 가지고 있다. 또한 계통의 왜곡에 의해서 발생하게 되는 기본파에 가까운 저차의 고조파에 위상지연이 발생하여 시스템의 출력이 증가할수록 출력 전류에 악영향을 미치게 된다.

### 2. LCL 필터 설계 및 Goertzel 알고리즘

#### 2.1 LCL 필터 설계

본 논문의 LCL 구조는 그림 1에서와 같이  $\Delta$ -결선으로 커패시터를 결선하였다. 일반적으로 사용하던 Y-결선 LCL 필터와 비교하면 커패시터가 선간에 연결되므로  $\sqrt{3}$  배 높은 내압을 갖는다. 또한 단상 등가회로에서의 용량이  $3C_f$ 가 되므로 Y-결선 LCL 필터의 커패시터 용량보다 1/3배 적은 용량으로 Y-결선과 동일한 성능의 필터를 설계할 수 있다. 이러한 여러 장점 때문에 본 논문은  $\Delta$ -결선으로 LCL 필터를 설계하였다. 그림 2는 설계된 LCL 필터를 보여 준다. LCL 필터는 그림 2와 같이 두 개의 인덕턴스와 병렬 연결된 커패시터로 이루어져 있으며 각 파라미터 설계는 파라미터가 시스템에 미치는 영향에 따라 설계된다. LCL 필터는 계통 측으로 흐르는 전류의 고조파 제거한다. 하지만 잘못된 필터 설계는 감쇠율을 저하시킬 수 있으며 왜곡을 만들 수 있다. 식 (1)은 전달함수를 나타낸다.

$$G(s) = \frac{i(s)}{v(s)} = \frac{1}{Ls} \frac{(s^2 + R_d C_f z_{LCs}^2 + z_{LCs}^2)}{s^2 + R_d C_f \omega_{res}^2 s + \omega_{res}^2} \quad (1)$$

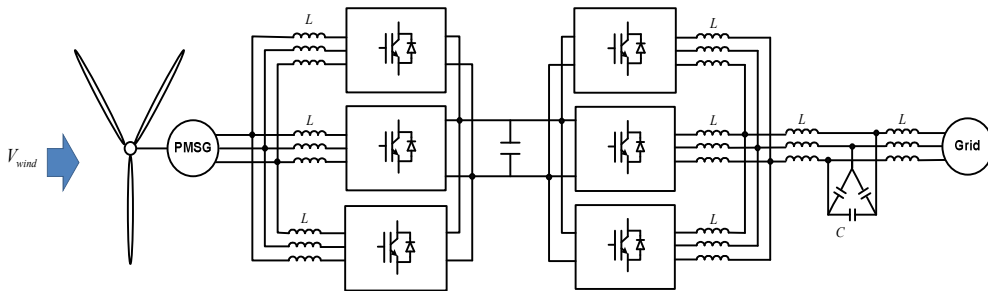


그림 1 대용량 풍력 발전 시스템 블록도  
Fig. 1 A three-parallel power converter for a wind turbine

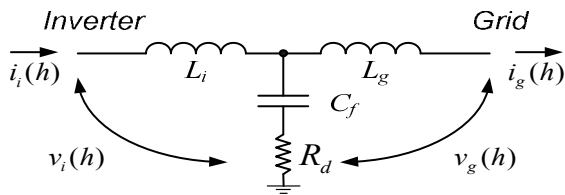


그림 2 LCL 필터 단상 등가회로  
Fig. 2 Equivalent single-phase LCL-filter

식(1)에서 공진 보상을 위한 댐핑 저항을 연결하지 않는다면 식(1)은 식(2)과 같다.

$$G(s) = \frac{i(s)}{v(s)} = \frac{1}{Ls} \frac{(s^2 + z_{LC}^2)}{(s^2 + \omega_{res}^2)} \quad (2)$$

추가적인 댐핑 저항이 없을 때 식 (2)에서와 같이 극점과 영점이 극좌표상의 허수축에 위치하여 공진 주파수(\$\omega\_{res}\$)의 공진 때문에 안정성에 문제가 발생한다. 따라서 LCL 필터 설계 시 커패시터에 저항을 직렬로 연결함으로써 극점과 영점을 극좌표상의 좌반면으로 이동시켜 안정성을 확보한다<sup>[2]</sup>.

### 2.2 Goertzel 알고리즘

Goertzel 필터는 일반적으로 이산푸리에변환(Discrete Fourier Transform; DFT) 스펙트럼의 계산에 사용되어 왔다. 또한 적어도 \$N \log\_2 N\$의 연산이 요구되는 빠른 푸리에 변환(Fast Fourier Transform; FFT) 보다 계산 량이 적어 더욱 효율적이다. 기본적인 Goertzel 필터는 일반적인 DFT나 FFT와 마찬가지로 실수 및 허수의 주파수 구성요소들을 제공하고 실수, 허수 쌍으로부터 크기와 위상을 계산 할 수 있다.

그림 3은 Goertzel 알고리즘을 블록도를 보여 준다.

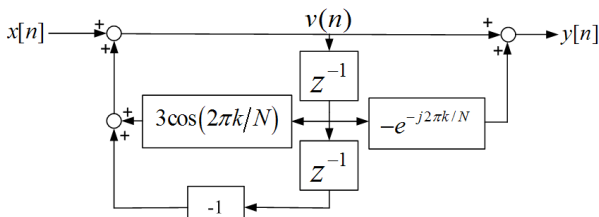


그림 3 Goertzel 알고리즘을 이용한 추정 블록도  
Fig. 3 Presumptive block diagram using Goertzel algorithm

위에 설명된 Goertzel 필터를 통하여 입력 전류에 포함된 공진 성분을 추출하여 공진보상에 사용한다<sup>[3]</sup>.

### 3. 시뮬레이션

Goertzel 알고리즘의 공진 보상 성능을 확인하기 위해서 10kW급으로 시뮬레이션 하였다. 표 1은 시뮬레이션 파라미터를 보여준다.

표 1 10kW급 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 simulation parameter of the 10kW wind system.

정격 전력	10 [kW]
계통 선간 전압	220 [Vrms]
DC-link 전압	600 [V]
정격 전류	26.2 [Arms]
스위칭 주파수	2500 [Hz]
계통 주파수	60 [Hz]

그림 4는 1.5초에 공진 보상된 상전류와 d, q축 전류파형을 보여 준다.

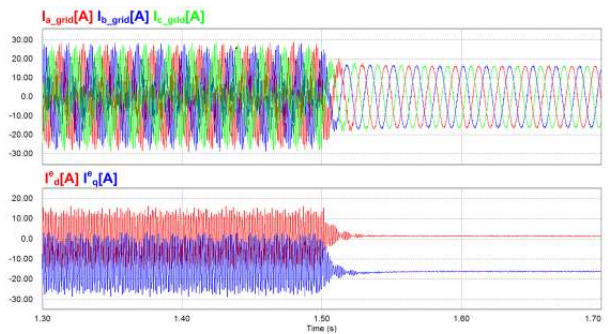


그림 4 상전류와 d,q 축 전류  
Fig. 4 Simulated waveform of output current and input d-q axis current

### 3. 결론

본 논문에서는 개선된 이산푸리에 변환인 Goertzel 알고리즘을 적용한 공진 보상 기법을 제안한다. 제안된 보상 기법은 추가적인 센서 없이 구현이 가능하며 간단한 제어로 적용이 용이하다. 또한 제어입력에 공진 성분이 제거된 전류 지령 값으로 제어하기 때문에 공진 저감 성능이 우수하다. 본 논문은 10kW급 대용량 풍력발전 모의 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘의 성능과 유용성을 입증하였다.

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2008T100100062) 주관으로 수행된 과제임.

### 참고 문헌

- [1] A. O. Di Tommaso, R. Miceli, G. Ricco Galluzzo, and M. Trapanese, "Optimum Performance of Permanent Magnet Synchronous Generators Coupled to Wind Turbines," in *conf. Rec. IEEE PES2007*, pp. 1-7, June, 2007.
- [2] M. Liserre, A. Dell'Aquila, and F. Blaabjerg, "Genetic Algorithm-Based Design of the Active Damping for an LCL-Filter Three-Phase Active Rectifier," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 19, no. 1, pp. 76-86, Jan. 2004.
- [3] E. Jacobsen, R. Lyons, "The sliding DFT", *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 20, no.2, pp.74-80, March. 2003.