

FFT를 이용한 선택적 고조파 제거 기능을 가지는 계통연계형 인버터

이경준*, 이종필**, 신동설*, 김태진**, 유동욱**, 김희제*
부산대학교*, 한국전기연구원**

A selective harmonic suppression method using FFT for Grid-connected inverter

Kyoung Jun Lee*, Jong Pil Lee**, Dongsul Shin*, Tae Jin Kim**, Dong Wook Yoo**, Hee Je Kim*
Pusan National University*, Korea Electro-technology Research Institute**

ABSTRACT

본 논문은 계통 연계형 인버터에서 FFT를 이용한 선택적 고조파 제거 알고리즘을 제안한다. 제안하는 FFT 기법은 별도의 게인 튜닝 없이 직접제어가 가능하며, 노이즈에 강인한 특징을 가진다. 기본적으로 신재생 에너지를 통해 계통 연계 인버터는 계통에 전력 공급할 뿐만 아니라 계통 전원 전류에 나타나는 저차 고조파를 선택적으로 제거할 수 있다. 제안된 제어 전략의 타당성을 실험을 통하여 검증하였다.

1. 서론

전 세계적으로 태양광 발전, 풍력발전, 연료전지, 마이크로 가스터빈과 같은 대체에너지를 기반으로한 분산형 전원의 보급이 확대되고 있다. 증가하고 있는 분산형 전원은 주파수 변동, 전압 변동, 고조파 왜곡과 같은 전력 품질에 영향을 줄 수 있으며, 분산형 전원 계통 연계 인버터에 전력 품질 향상 기능이 추가로 요구 되고 있다.

특히, 계통 공통 접속점 (PCC : Point of common coupling)에 따라 비선형 부하의 특성이 달라지며, 이에 따른 선택적 고조파 제거 기능이 필수적으로 탑재되어야 한다^[1, 2].

일반적으로 선택적 고조파 제거를 위하여, 5차, 7차와 같은 저차 고조파를 로패스 필터 (Low Pass Filter) 및 하이패스 필터 (High Pass Filter) 를 통하여 고조파 성분을 추출한 후 동기좌표축 상에서 PI 제어를 이용한다. 하지만, 차수별 필터 설계 및 게인 튜닝 과정을 통한 고조파 성분 추출은 가변적인 계통 상황에서 매우 번거롭다고 할 수 있다.

본 논문에서는 간단한 FFT 알고리즘을 이용하여 직접 고조파 성분을 선택적으로 추출하는 방법을 제시하고, PSIM 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안하는 방법을 검증하였다.

2. 본론

2.1 시스템 구성

3상 능동 전력 필터는 직렬, 병렬, 하이브리드 타입 등 여러 가지 형태 가지 토폴로지(Topology)에 대한 연구가 진행 되었다. 본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 검증하기 위하여 그

림 1과 같이 병렬형 능동 전력 필터 타입을 사용하였다. 분산형 전원을 기반으로 하여 능동 전력 필터를 사용할 경우에 병렬형 타입이 효과적이다^[3]. 비선형 부하에 의한 고조파 성분을 검출하여 보상 전류를 주입하는 방식이다.

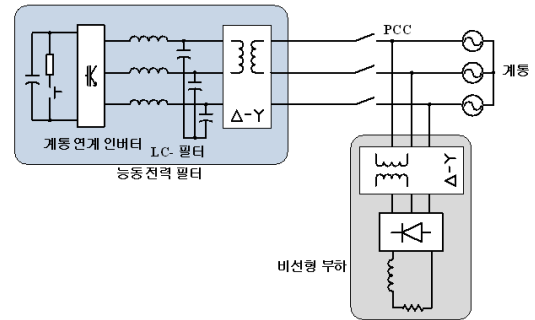


그림 1 전압형 능동 전력 필터 구조
Fig. 1 System configuration of shunt active power filter

2.2. FFT를 이용한 고조파 추출 방법

기본적으로 대체 에너지로부터 분산 전원 계통 연계 인버터를 통해 계통의 주파수와 위상이 동일한 상태로 전류를 주입하게 된다. 본 논문에서는 일반적인 SRF PLL(Synchronous Reference Frame Phase Locked Loop)를 사용하지 않고, FFT(Fast Fourier Transform)방법을 이용하여 위상을 추종한다. 계통 전압의 불평형, 고조파, 스위칭 노이즈 등에 강인한 PLL이라고 할 수 있다^[4]. 이와 같은 방법으로 n 차 고조파 성분을 FFT 방법을 이용하여 추출할 수 있다.

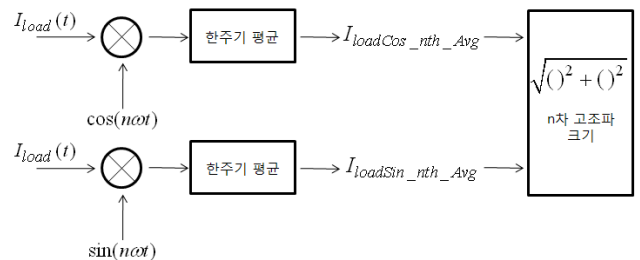


그림 2 FFT를 이용한 n-차 고조파 성분 추출 방법
Fig. 2 Extraction of n-th harmonic component using FFT

그림 2와 같이 n 차 고조파 위상에 일치시키기 위하여 수식 (1)과 같이 발생시킨 후 두 기준 신호를 비선형 부하에 흐르는 전류에 곱한 후 한주기 평균을 하게 되면 고조파 성분에 해당하는 성분만 남고 나머지 성분은 0가 된다.

$$V_{REFCOS}(t) = \cos(nwt), V_{REFSIN}(t) = \sin(nwt) \quad (1)$$

한주기 평균을 위해서 링버퍼(Ring Buffer) 형태의 데이터 저장기가 필요하며, PLL시 사용된 버퍼에 저장된 값을 이용할 수 있다. 식 (2)와 같이 n 차 고조파 성분을 구할 수 있게 된다. 제안하는 방법으로 고조파 성분을 선택적으로 추출할 수 있으며, 각각 PI 제어기를 통해 쉽게 보상할 수 있다.

$$I_n = \sqrt{(I_{loadCos_{nth,Avg}})^2 + (I_{loadSin_{nth,Avg}})^2} \quad (2)$$

2.3 시뮬레이션 및 실험 결과

제안하는 알고리즘 검증을 위하여 비선형 부하에 병렬로 연결된 10kW 급 계통 연계 인버터를 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 실제 계통에서 가장 많이 나타나는 5차 고조파를 선택적으로 제거하는 시뮬레이션을 하였다. 그림 3과 같이 고조파 성분이 선택적으로 제거된 것을 FFT 분석을 통해 알 수 있다.

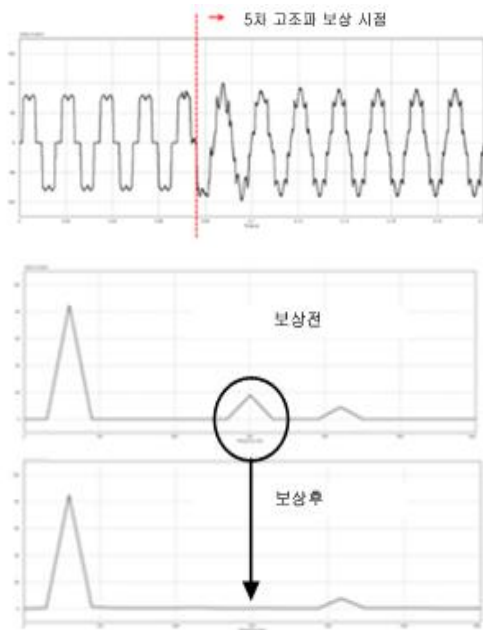


그림 3 제안된 방법을 이용한 시뮬레이션: 5차 고조파 성분 제거
Fig. 3 Simulation waveforms of proposed algorithms : 5th component elimination

그림 4는 제한한 FFT 방법을 이용하여 비선형 부하에 흐르는 5차, 7차 고조파 성분을 보상하는 파형을 나타내고 있다. 병렬형 능동전력 필터에 의해 보상 전류가 계통에 주입되어 계통 전류가 사인파에 가깝게 개선된 것을 알 수 있다. 선택적으로 고조파를 제거한 FFT 분석 결과는 표1에 정리되어 있다. 제안한 알고리즘이 잘 적용되고 있음 보여 주고 있다.

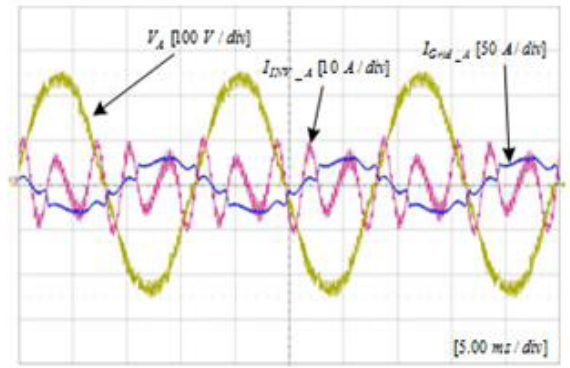


그림 4 FFT를 이용한 5차 & 7차 고조파 성분 제거
Fig. 4 The waveforms of compensating 5th & 7th harmonics

표 1 선택적 고조파 제거 실험 결과 : FFT 분석
Table 1 .FFT analysis of experimental results

	보상전	5차 고조파 보상	7차 고조파 보상	5차, 7차 고조파 보상
기본파	22 468 A	21 609 A	22 191 A	21 506 A
5차	4 174 A	0 458 A	4 102 A	0 614 A
7차	2 320 A	2 075 A	0 599 A	0 877 A
9차	0 188 A	0 206 A	0 147 A	0 250 A
11차	1 824 A	1 783 A	1 714 A	1 787 A
13차	1 175 A	1 063 A	1 122 A	1 060 A

3. 결론

본 논문에서는 분산 전원 계통 연계 인버터의 FFT를 이용한 선택적 고조파 제거 방법을 제안 하였다. 기존의 방법과 달리 측정된 고조파 전류에서 좌표계 변환 없이 선택적으로 고조파 성분 크기 추출이 가능하다. 또한 계통 전원의 불평형, 고조파, 노이즈 등에 강인하며, FFT 연산 알고리즘도 링버퍼를 이용하여 일반적인 마이크로프로세서를 이용하여 쉽게 구현이 가능하다. 제안된 방법은 3상 시스템 뿐만 아니라 단상 능동 전력 시스템에도 적용가능하며, 향후 실험을 통해 검증할 계획이다.

참고 문헌

- [1] Lars Gertmar, Lars Liljestrand, Heinz Lendenmann, "Wind Energy Powers That Be Successor Generation in Globalization", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 22, No. 1, pp. 13-28, Mar. 2007
- [2] Dash, P. K., B. K. Panigrahi, and G. Panda, "Power quality analysis using S transform", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 18, No.2, pp. 406-411, Apr. 2003
- [3] A.M. Al Zamil and D.A. Torrey, "A Passive Series, Active Shunt Filter for High Power Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16, No. 1, pp. 101-109, Jan. 2001
- [4] J. P. Lee, B. D. Min, T. J. Kim, D. W. Yoo and J. Y. Yoo, "Active Frequency with a Positive Feedback Anti Islanding Method Based on a Robust PLL Algorithm for Grid Connected PV PCS", Journal of Power Electronics, Vol. 11, No. 3, pp. 360-368, May. 2011