

개선된 순시전류제어 기법을 적용한 단상 능동전력 필터

최재혁\*, 유원호\*, 권혁대\*, 고성훈\*, 이성룡\*, 전철환\*  
 군산대학교\*

Improve Real-Time Detection Method of Current for Single-Phase Active Power Filters

Jae-Hyuk Choi\*, Won-Ho You\*, Sung-Hun Ko\*, Huyk-Dae Kwon\*, Sung-Yong Lee\*, Chil-Hwan Cheon\*  
 Kunsan National University\*

**Abstract** - 계통의 전력품질을 향상시키기 위해서는 비선형부하로 인해 발생하는 무효전력을 보상해야 한다. 이러한 무효전력을 보상하는 알고리즘에서 지령치를 생성하기 위해 평균전력 또는 순시전력을 이용한다. 평균전력을 이용하는 방법은 매 한주기마다 평균전력을 계산하여 지령치를 생성하는 방법으로 필연적으로 지연시간이 발생하게 된다. 이에 반해 순시전력을 이용하는 방법은 매 스위칭 순간에 무효전력을 보상할 수 있어 시스템 응답속도가 빠른 장점을 가진다. 또한 유효전력과 무효전력을 계산하기 위해 디지털 필터를 이용하게 되면 회로구성이 간편하고 제어에 용이한 장점이 있다.

본 논문에서는 계통의 전력품질을 개선시키기 위해 1개의 LPF(Low Pass Filter)와 2개의 곱셈블럭으로 구성되는 디지털 필터를 사용하였다. 이의 유용성을 확인하기 위해 단상 능동전력 필터(active power filter)에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 서 론

급격한 산업의 발달과 문화적 편리성을 추구하는 소비자의 요구에 의해 현대적인 전기전자제품의 보급이 증가하고 있다. 이러한 전기전자제품은 전력을 변환하는 과정에서 역률감소 및 고조파가 발생하게 되어, 계통의 전력품질은 물론 전기기기의 오동작 및 전력변환기의 정격용량 증가 등과 같은 문제점이 발생하게 된다. 이에 따라 한전배전계통 공급기준 및 IEEE-standard 에서는 전력품질 기준을 설정하고 엄격하게 규제하고 있다[1].

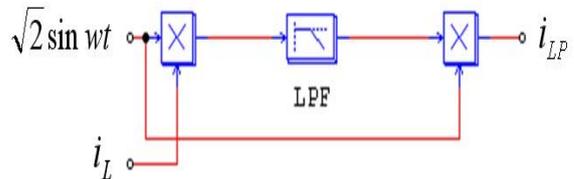
이러한 배전계통의 전력품질을 향상시키는 방안으로 능동전력필터(active power filter) 및 UPQC(Unified Power Quality Conditioner)등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 계통의 전력품질을 향상시키기 위해서는 비선형부하에 발생하는 무효전력을 전력변환기에서 보상하게 된다. 즉 계통은 부하에서 요구하는 유효전력만을 공급하고 전력변환기에서는 무효전력을 보상하게 된다. 이때 계통의 유효전력을 계산하는 방식에 따라 평균전력제어기법 및 순시전력제어기법으로 구분할 수 있다. 평균전력 제어기법은 한주기 또는 반주기동안의 평균전력을 계산하여 계통이 공급해야 하는 유효전력성분을 연산하는 방식으로 지연시간이 발생하게 된다. 또한 시스템의 성능을 향상시키기 위해 성능이 우수한 연산기 및 주변장치가 필요하게 된다. 이와 반면에 순시전력 제어기법은 스위칭 순간에 보상을 할 수 있어 계통 및 부하 변동에도 지연시간 없이 빠르게 추종할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 순시전력 제어기법은 부하전압과 출력캐패시터 전류를 피드백 하여 최종적인 지령전압을 생성하게 된다. 이 방법도 계통에서 요구되는 유효전력을 계산하기 위해 성능이 우수한 연산기가 필요하게 되며 출력캐패시터 전류를 정확하게 측정할 수 있는 우수한 측정기가 필요하게 되는 단점이 있다[2].

그러므로 본 논문에서는 계통 및 부하변동에도 빠르게 추종할 수 있는 순시전력 제어기법을 적용하면서 출력캐패시터 전류를 피드백 하지 않는 디지털 필터를 적용한 순시전력 제어기법을 제시한다. 제안된 디지털 필터는 계통에서 공급해야 하는 유효전력을 계산하기 위해 1개의 LPF(Low Pass Filter)와 2개의 곱셈 블럭만으로 구성이 가능하며, 회로구성이 비교적 간단하고 수학적 연산을 최대한 줄일 수 있는 장점을 가진다. 이의 유용성을 확인하기 위해 단상 능동전력필터에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 디지털 필터를 이용한 순시전력 제어기법

비선형 부하로 인해 발생 되는 무효전력을 보상하기 위해 복잡한 수학적 계산이 필요하게 된다. 이를 위해 성능이 우수한 연산기와 주변장치를 사용함으로써 회로구성이 복잡하고 시스템의 가격이 상승하게 되는 단점이 발생한다. 이러한 단점을 개선하기 위해 본 논문에서는 디지털 필터를 적용한 순시전력 제어기법을 제시한다. 제안된 방법은 계통의

유효전력(유효전류)를 계산하기 위해 계통전압( $V_s$ )와 부하전류( $I_L$ )를 측정한다. 측정된 계통전압을 zero-crossing PLL 회로를 이용하여  $\sin$ 과  $\cos$ 함수를 생성한다. 그림 1은 디지털 필터를 이용한 순시전력 제어기법의 구성도이다. 이는 1개의 LPF와 2개의 곱셈블럭만으로 구성됨으로써 유효전력을 계산하기 위한 연산을 최대한 줄일 수 있으며, 이로 인해 지령치를 생성하는 연산시간이 감소되어 빠르게 무효전력을 보상할 수 있는 장점이 있다.



<그림 1> 디지털 필터를 이용한 순시전력 제어기법의 구성도

계통전압 및 부하전류는 다음과 같다.

$$V_s = \sqrt{2} V_1 \sin \omega t,$$

$$i_L = \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t - \phi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t - \phi_n) \tag{1}$$

피상 전력 및 유효전력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(t) = V_s(t) \cdot i_L(t)$$

$$= 2 V_1 I_1 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \phi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} 2 V_1 I_n \sin \omega t \cdot \sin(n\omega t - \phi_n) \tag{2}$$

$$P = \frac{1}{T_s} \int_{t-T_s}^t V_s(t) \cdot i_L(t) dt \leftarrow \text{detection time: } T_s$$

$$= \frac{2}{T_s} \int_{t-\frac{T_s}{2}}^{t+\frac{T_s}{2}} V_s(t) \cdot i_L(t) dt \leftarrow T_s \text{에서 } T_s/2 \text{로 감소}$$

$$= V_1 I_1 \cos \phi_1 \tag{3}$$

따라서 부하의 유효전류는 다음과 같이 구할 수 있다.

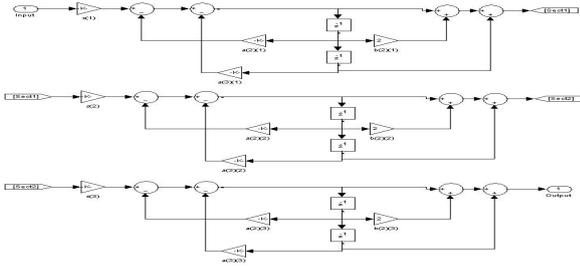
$$I_{LP} = \frac{P}{V_1} = I_1 \cos \phi_1$$

$$\therefore i_{LP}(t) = \sqrt{2} I_1 \cos \phi_1 \sin \omega t \tag{4}$$

여기서, 계통의 전력품질을 향상시키기 위해서는 계통은 항상 유효전력성분만을 공급해야 하며, 능동전력필터는 무효전력성분을 공급해야 한다. 따라서 능동전력필터가 공급해야 하는 지령전류( $i_c^*$ )는 다음과 같이 구할 수 있다.

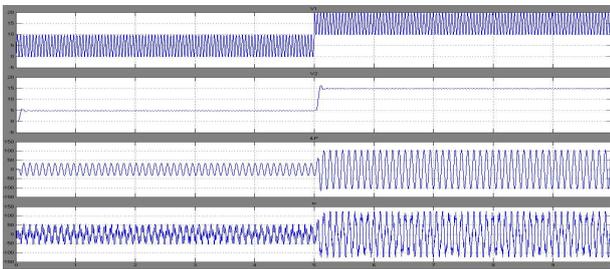
$$i_c^* = i_L - i_{LP} \tag{5}$$

그림 2는 iir구조를 적용한 LPF의 내부구조를 나타낸다. 본 연구에서는 iir 구조로 LPF를 구성하였으며 cut-off frequency 20Hz, 샘플주기는 0.1ms로 설정하였다.



〈그림 2〉 LPF의 내부구조

그림 3은 디지털 필터를 이용한 순시전력 제어기법의 동작파형으로 위 에서부터 첫 번째와 두 번째는 각각 LPF의 입력과 출력을 나타낸다. 세 번째 파형은 계통에서 공급해야 하는 유효전류이며, 마지막 파형은 식 (5)를 이용한 능동전력필터의 지령전류이다.



〈그림 3〉 디지털 필터의 입·출력 파형

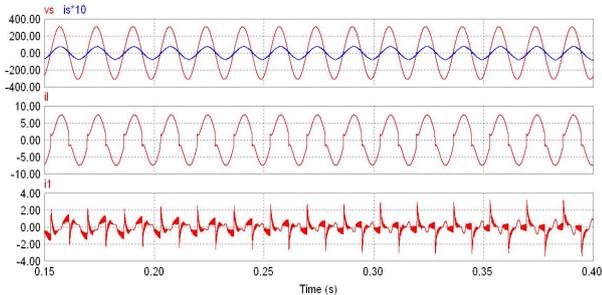
3. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 제안된 디지털 필터를 이용한 순시전력 제어기법의 유용성을 확인하기 위해 단상 능동전력필터에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 조건

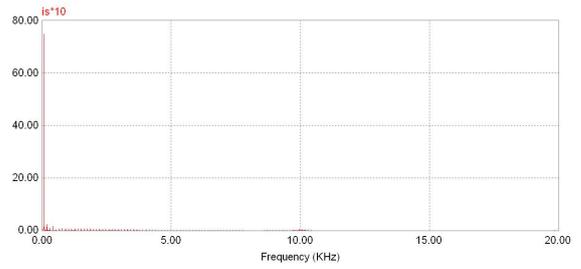
Parameter	Value	Parameter	Value
계통전압	220[Vrms]	인버터입력전압	200[VDC]
기본주파수	60[Hz]	필터인덕터	5[mH]
스위칭주파수	10[KHz]	변압기	1:2

그림 4는 비선형 리액턴스(RL부하)부하조건 일 때의 시뮬레이션 파형으로 위로부터 계통전압(Vs) 및 전류(Is), 부하전류(IL) 그리고 능동전력필터의 출력전류(Ic)이다.



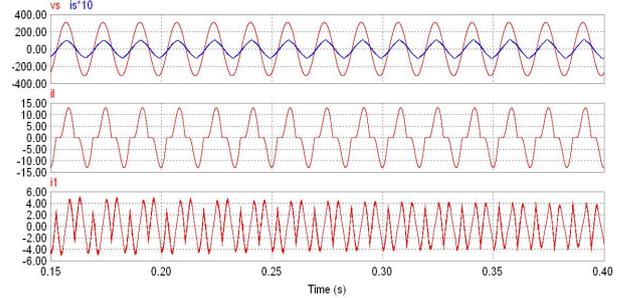
〈그림 4〉 비선형 리액턴스 부하 조건일때의 시뮬레이션 결과

그림 4에서처럼 부하전류는 비선형특성을 나타내고 있지만, 능동전력필터에서 부하에서 발생하는 무효전력을 보상함으로써 계통의 전류 및 전압은 이상적인 정현파임을 확인할 수 있다. 또한 계통의 전압 및 전류의 위상차는 “0”에 근사하여 단위역률제어가 가능함을 알 수 있다. 그림 5는 그림 4에서 계통전류의 고조파분석 결과로 THD는 약 2.9[%]로 측정되었다.



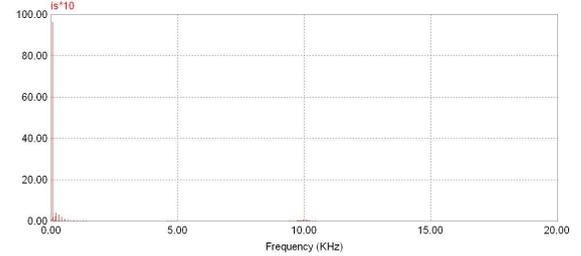
〈그림 5〉 계통전류 고조파 분석결과(RL부하)

그림 6은 전형적인 비선형 부하인 캐패시터 입력형 부하조건일 때의 시뮬레이션 파형으로 계통전압(Vs) 및 전류(Is), 부하전류(IL) 그리고 능동전력 필터의 출력전류(Ic)이다. 능동전력필터에서 무효전력을 보상함으로써 계통의 전류 및 전압은 이상적인 정현파임을 확인할 수 있다.



〈그림 6〉 캐패시터 입력형 부하 조건일때의 시뮬레이션 결과

그림 7은 그림 6의 계통전류의 고조파분석 결과로 THD는 약 3.1[%]로 측정되었다.



〈그림 7〉 계통전류 고조파 분석결과(RLC부하)

4. 결 론

본 연구에서는 디지털 필터를 이용한 순시전력 제어기법을 제안하였고, 이를 단상 능동전력필터에 적용하여 그 유용성을 확인하였다. 제안된 방법은 1개의 LPF와 2개의 곱셈블럭만을 이용하여 계통의 유효전력을 계산할 수 있다. 이는 연산시간을 최소화 할 수 있어 빠르게 무효전력을 보상 할 수 있는 장점이 있다. 또한 회로구성이 비교적 간단하여 시스템의 소형경량화를 이룩할 수 있다. 본 연구에서 제시된 방법은 3상 시스템에 적용이 가능하기 때문에 복잡한 연산을 필요로 하는 3상 시스템의 설계 및 제어에 유용할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

[1] S.R. Lee, C.H. Jeon, S.H. Ko and Y.C. Shin "Implementation for Multi-Function Inverter for Grid-Connective Power System" ICPE2004. 137~140. October, 2004 pp.  
 [2] Toshihiko Tanaka, Yasushi Omura, Masayoshi Yamamoto "A Nover Real-Time Detection Method of Active and Reactive Currents for Single-Phase Active Power Filters" IEEE Power Electronics Specialists Conference. 2007. PESC 2007.