

## 입력전원 센서리스 능동형 전력필터의 구현

정 강 루

순천향대학교 정보기술공학부

### Implementation of a Line-voltage Sensorless Active Power Filter

Gang-Youl Jeong

Division of Information Technology, Soonchunhyang University

#### ABSTRACT

This paper proposes an implementation of a line-voltage sensorless three-phase active power filter. The line synchronization for an active power filter does not require any additional hardware. It can be properly operated under various line-voltage variation. Current compensation is done in the time domain allowing fast time response. All control functions are implemented in software using a single-chip microcontroller, thus simplifying the control circuit. It is shown via experimental results that the proposed controller gives good performance for the line-voltage sensorless active power filter.

#### 1. 서 론

다이오드 컨버터나, 싸이리스터 컨버터, 사이클로 컨버터 등과 같은 비선형 부하의 확산은 전력시스템에 바람직하지 못한 현상들을 다양하게 유발한다. 이러한 현상들에 대해서 전통적으로 수동 LC (inductor-capacitor) 필터들이 선전류의 고조파 성분을 제거하고 부하역률을 증대시키기 위하여 사용되어 왔다. 그러나 수동 LC 필터는 선전류의 고조파 문제를 적절하게 해결하지 못했다. 왜냐하면 이 수동 LC 필터는 전류에서 임의적으로 변하는 주파수 성분을 보상할 능력이 없고 튜닝 문제와 병렬 공진 등의 문제가 있기 때문이다. 따라서 근래 들어 이러한 문제들을 해결하기 위하여 능동형 전력필터 (능동필터, active power filter)가 연구되고 개발되어 왔다[1-3].

본 논문에서는 입력전원 센서리스 능동형 전력필터의 구현이 기술된다. 여기에서의 능동형 전력필

터를 위한 입력전원 동기는 다른 어떠한 추가적인 하드웨어도 필요로 하지 않는다. 전류보상은 빠른 응답성을 위해 시간 영역에서 이루어진다. 또한 제안된 기법은 어떠한 종류의 기존의 전류제어형 동기정류기라 할지라도 간단한 소프트웨어의 수정과 전류센서의 단순한 첨가만으로도 병렬 능동형 전력필터로의 이용이 가능하게 하는 장점을 가지며 어떠한 입력전원의 변동에도 정확하게 동작하는 장점을 가진다. 모든 제어 기능은 단일칩 마이크로콘트롤러를 이용하여 소프트웨어적으로 구현된다.

#### 2. 제어원리와 구현

##### 2.1 일반적인 보상원리

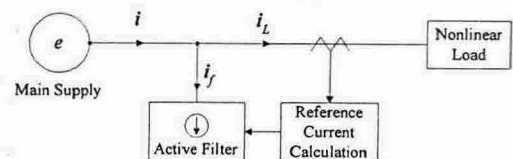


그림 1. 삼상 병렬 능동형 전력필터의 기본적 원리.

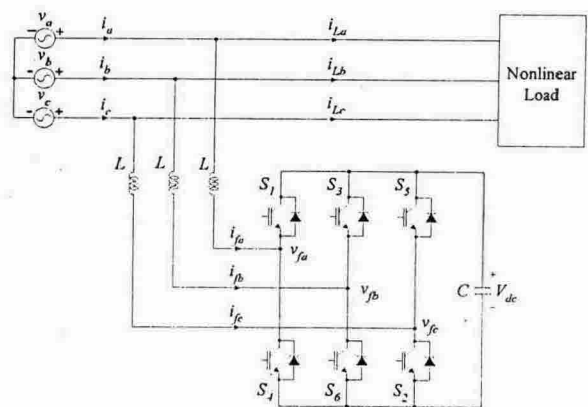


그림 2. 구현된 삼상 병렬 능동형 전력필터.

삼상 병렬 능동형 전력필터의 기본적인 원리는 그림 1과 다음의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{i}_f = \mathbf{i} - \mathbf{i}_L \quad (1)$$

여기서  $\mathbf{i}_f$ 는 필터 입력 전류,  $\mathbf{i}$ 는 전원 전류,  $\mathbf{i}_L$ 은 부하 전류이다. 병렬 능동필터의 제어전략은 필터의 지로로 기준 전류가 강제적으로 흐르도록 제어하는 것이다. 그림 2에 보인 제안된 삼상 병렬 능동필터는 DC 캐패시터에 접속된 삼상 펄스폭변조 (Pulse-Width Modulation; PWM) 방식의 동기정류기 토폴로지에 근거한다.

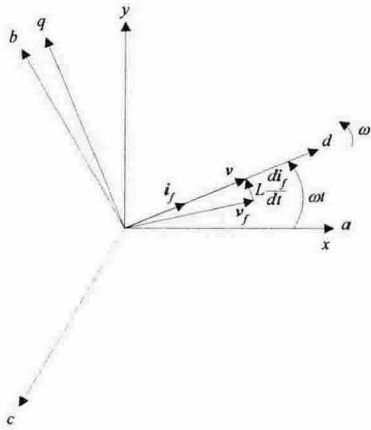


그림 3. 병렬 능동형 전력필터를 위한 좌표계.

구현된 병렬 능동형 전력필터의 제어전략은 선전류의 고조파를 보상하는 하드웨어와 소프트웨어로 구성되는 벡터조정기로 구성된다. 제안된 시스템의 시스템 동작 해석과 무효전력 보상기법은 참고문헌 [4]에 근거하며 그 제어다이아그램은 그림 4와 같다.

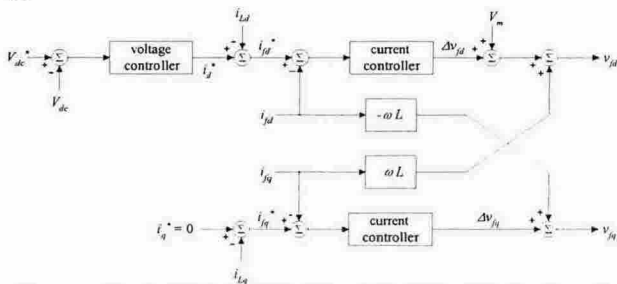


그림 4. 병렬 능동형 전력필터를 위한 상호간섭이 없는 제어 다이어그램.

효과적인 전체 전류제어기가 입력전류를 정현파적으로 잘 제어한다면 이 전류제어기의 인덕터 전압강하 성분을 제거한 각 전압성분은 일반적으로 입력전압 성분을 따르게 되므로 이것은  $d-q$  동기좌표계를 추정하는데 이용될 수 있다. 그림 5는 추정동기좌표계와 입력상에 동기된 실제동기좌표계 사이의 관계를 보인다. 이로부터 오차각  $\Delta\theta$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta\theta = \tan^{-1} \frac{\Delta v_q}{V_m + \Delta v_d} \quad (2)$$

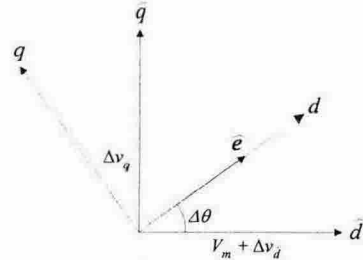


그림 5. 추정동기좌표계와 실제동기좌표계 사이의 관계.

그러면 추정 동기각주파수는  $\hat{\omega}$ 와 상기준  $\hat{\theta}$ 는 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{\omega} = k_{pf}\Delta\theta + k_{if} \int \Delta\theta dt \quad (3)$$

$$\hat{\theta} = \int \hat{\omega} dt$$

여기서  $k_{pf}$ 와  $k_{if}$ 는 입력 각주파수에 동기하도록 하는 주파수 제어기의 비례와 적분 이득이다. 그런데 오차각  $\Delta\theta$  (2)는 각 전압성분이 실제 그 성분을 추종하고 있을 때만 성립한다. 즉 이것은 시스템 동작의 초기 상태가 아니다. 그러므로 시스템 동작 초기  $t=t_s$ 의 상기준  $\hat{\theta}_s$ 의 추정이 필요한데 이것은 초기에 영전압을 인가한 후 다음의 값들을 이용하여 구한다.

$$v_{xs} \approx \frac{L}{T_e} i_{fxs} \quad (4)$$

$$v_{ys} \approx \frac{L}{T_e} i_{fys}$$

여기서 짧은 기간  $T_e$ 동안은 입력전압이 거의 상수이고  $i_{fxs}$ 와  $i_{fys}$ 는  $x-y$ 축의 필터 입력전류이며 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} i_{fxs} \\ i_{fys} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{fas} \\ i_{fbs} \\ i_{fcs} \end{bmatrix} \quad (5)$$

그러므로 초기 상기준  $\hat{\theta}_s$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{\theta}_s \approx \tan^{-1} \frac{i_{fys}}{i_{fxs}} \quad (6)$$

그리고 초기 추정 입력 각주파수  $\hat{\omega}_s$ 는  $t=t_s-T_p$  시간에서의 또 다른 각  $\hat{\theta}_p$ 를 위와 유사한 과정을 통하여 구한 다음, 다음과 같이 구한다.

$$\hat{\omega}_s \approx \frac{\hat{\theta}_s - \hat{\theta}_p}{T_p} \quad (7)$$

이렇게 되면 초기 오차는 거의 영 (0)이 될 것이므로 오차각  $\Delta\theta$ 가 간략화될 수 있어서 최종 주파수 제어기는 다음과 같이 된다.

$$\hat{\omega} = k'_{pf} \Delta v_q + k'_{if} \int \Delta v_q dt \quad (8)$$

여기서  $k'_{pf} = k_{pf}/V_m$  이고  $k'_{if} = k_{if}/V_m$ 이다.

### 3. 실험 결과

구현된 시스템은 Intel 80196MH 제어보드와 IGBT 드라이브보드로 구현되었으며 각각의 실험 파라미터는 다음의 표 1과 같다.

표 1. 실험에 이용된 파라미터.

파라미터	값	파라미터	값
$V_m$	170V	$L$	1.2mH
$C$	2200 $\mu$ F	$\omega_n$	377rad/s
$V_{dc}$	350V		

구현된 시스템의 여러 동작 특성을 보이는 실험 파형은 그림 6~9이다.

### 4. 결 론

구현된 능동형 전력필터는 기존의 삼상 병렬 능동형 전력필터 [4]에 입력전압 센서리스 알고리즘을 첨가하여 구현되었다. 그리하여 입력전압의 여러 변동에 강인한 능동형 전력필터의 구현이 가능하였다. 또한 이것은 실험 파형을 통하여 구현된 시스템의 동작 특성을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. M. Duke and S. D. Round, "The Steady-state Performance of a Controlled Current Active Filter," *IEEE Trans. on Power Elec.*, Vol. 8, No. 2, pp. 140-146, 1993, April.
- [2] H. Akagi, "Trends in Active Power Line Conditioner," *IEEE Trans. on Power Elec.*, Vol. 9, No. 3, pp. 263-268, 1994, May.
- [3] J. Dixon, J. Garcia, and L. Moran, "Control System for Three-phase Active Power Filter Which Simultaneously Compensates Power Factor and Unbalanced Loads," *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, Vol 42, No. 6, 1995, Dec.
- [4] 정강률, "삼상 전력선 인입점에서의 새로운 고조파 무효전류 보상 기법의 구현," 2004년도 전력전자학회 추계학술대회 논문집, 2004. 11., 서울대.

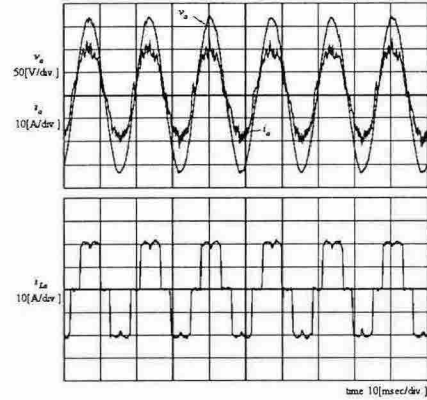


그림 6. 저항에 연결된 다이오드 부하시의 입력전압, 선전류와 부하전류의 정상상태 파형.

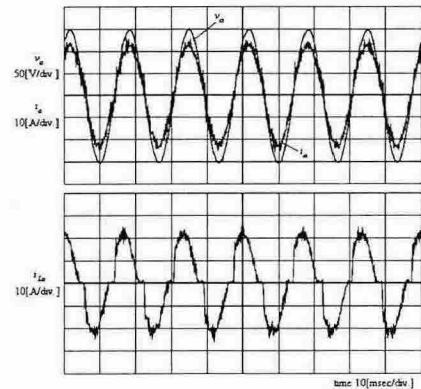


그림 7. 무효전력 보상이 필요한 부하시의 입력전압, 선전류, 부하전류의 정상상태 파형.

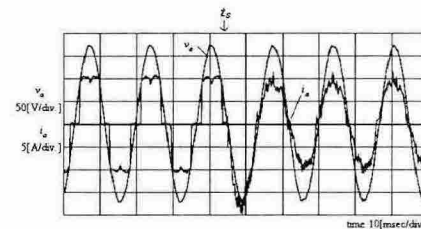


그림 8. 고의적으로 추정 오차를 주고 시스템을 기동하였을 때의 동적 응답 (상오차각=25°).

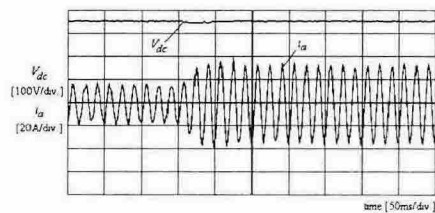


그림 9. 부하전류 변화 (10A→20A)시의 DC링크 전압과 선전류 파형.