

# 능동전력필터를 위한 확장된 전류 동기 검출 알고리즘

김우용\* 정영국\*\* 임영철\*

\*전남대학교 \*\*대불대학교

## Algorithm of Extended Current Synchronous Detection for Active Power Filters

Yoo-Yong Kim\* Young-Gook Jung\*\* Young-Cheol Lim\*

\* Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University

\*\* Dept. of Electrical Eng. Daebul University

### ABSTRACT

Harmonics and fundamental reactive power of nonlinear loads in serious unbalanced power condition, are compensated by current synchronous detection(CSD) theory which is also acceptable for single phase power system. But, the CSD theory is not suitable any more, in case of controlled independently harmonics and reactive component. Therefore, a new algorithm, the extended current synchronous detection (ECSD)theory, for a three phase active power filter based on decomposition of fundamental reactive, distorted components, is proposed in this paper. The proposed ECSD theory is simulated and tested comparison with a few power theories under asymmetrical condition in power system .

### 1. 서론

3상 전원 시스템의 어느 한 상 이상의 전압이 상승하거나 감소되는 경우, 3상 불평형으로 되며 이러한 불평형은 계통에 정상분, 역상분, 영상분을 발생하여 전력 시스템에 좋지 않은 영향을 미치게 된다.<sup>[1]</sup> 특히 3상 전원의 불평형이 PWM 전력변환기와 같은 비선형 부하에 인가되는 경우, 비선형 부하의 고조파 및 무효전력을 보상하기 위한 능동전력필터의 성능은 전원의 불평형 정도에 따라서 영향을 받게 된다.

최근, 전원전압의 불평형에 무관하게 비선형 부하와 연관된 전원전류를 정현적인 대칭 3상으로 유지시키기 위한 이론으로 전류 동기 검출법<sup>[2-3]</sup>이 제시되었다. 전류 동기 검출법은 3상 불평형 전원 시스템

의 비선형 부하계통의 고조파 및 무효전력을 행렬에 의하지 않고 시간영역에서 빠른 속도로 보상해 줄 뿐 만 아니라 순시전력이론(IPT)<sup>[4]</sup>에 비해서 단상에도 적용 가능한 이론이다. 그러나 종래의 전류 동기 검출법은 비선형 부하전류를 유효성분과 무효성분으로 분해하기 때문에 능동전력필터가 고조파 성분과 기본과 무효성분을 독립 제어하는 경우에는 적용할 수 없다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 불평형 전원 시스템하의 비선형 부하전류를 유효성분, 기본과 무효성분 그리고 왜형성분으로 분해하여 능동전력필터를 제어할 수 있는 확장된 전류 동기 검출법을 제시하였다. 불평형 교류 전원하에서 전류동기검출법과 순시전력이론에 의해 고조파 및 무효전력을 독립적으로 제어할 때의 보상 효과를 비교 분석하였으며, 제안된 방법의 타당성을 입증할 수 있었다.

### 2. 이론

#### 2.1 CSD 이론

각각  $\frac{2}{3}\pi$  위상차 나는 (abc)상의 전압과 전류를  $v_{(abc)}$ 와  $i_{(abc)}$ 로 나타낼 때, a상의 유효전력  $P_a$ 는 다음으로 정의된다.

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^T v_a i_a dt \quad (1)$$

$P_a$ 에 의해 b상과 c상의 유효전력  $P_b, P_c$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_b = P_a \frac{V_b}{V_a} \quad (2)$$

$$P_c = P_a \frac{V_c}{V_a} \quad (3)$$

여기서  $V_{(abc)}$ 는 (abc)상의 전압 실효치이며, 3상 평균

전력  $P_{dc3}(=P_a+P_b+P_c)$ 은 식(4)와 같다.

$$P_{dc3} = P_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (4)$$

$$V_T = V_a + V_b + V_c \quad (5)$$

전압에 대한 유효전류의 이득  $G_{(abc)}$ 는

$$G_{(abc)} = \frac{P_{dc3}}{V_{(abc)} V_T} \quad (6)$$

이며, 따라서 (abc)상의 유효전류  $i_{(abc)a}$ 와 보상기준전류  $i_{(abc)c}^*$ 는 식(7)과 식(8)로 구해진다.

$$\begin{aligned} i_{(abc)a} &= G_{(abc)} v_{(abc)} \\ &= \frac{P_{dc3}}{V_{(abc)m} V_T} v_{(abc)} \end{aligned} \quad (7)$$

$$i_{(abc)c}^* = i_{(abc)} - i_{(abc)a} \quad (8)$$

## 2.2 확장된 CSD 이론(ECSD)

중전의 CSD방법에 의하면 비선형 부하전류는 유효 성분과 무효성분으로 분해가 되므로 능동전력필터가 왜형성분을 제어하는 하이브리드형 능동전력필터 시스템<sup>[5]</sup>의 경우에는 적용할 수 없다. 그러므로 중전의 CSD이론을 하이브리드 능동전력필터 시스템에 적용하고자 할 때는 부하전류를 유효성분, 기본파 무효성분 그리고 왜형성분으로 분해할 수 있도록 중전의CSD이론을 3차원적으로 확장하여야 한다.

(abc)상의 기본파 무효전력  $Q_{(abc)}$ 은  $P_{(abc)}$ 를 구하는 과정과 동일하게 구할 수 있다.

$$Q_a = \frac{1}{T} \int_0^T v_a(t - \frac{T}{4}) i_a dt \quad (9)$$

$$Q_b = Q_a \frac{V_b}{V_a} \quad (10)$$

$$Q_c = Q_a \frac{V_c}{V_a} \quad (11)$$

3상 무효전력  $Q_{dc3}(=Q_a+Q_b+Q_c)$ 은 다음과 같다.

$$Q_{dc3} = Q_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (12)$$

이때  $B_{(abc)}$ 는 전압  $v_{(abc)}$ 에 대한 기본파 무효전류  $i_{(abc)r}$ 의 이득이며

$$B_{(abc)} = \frac{Q_{dc3}}{V_{(abc)} V_T} \quad (13)$$

와 같이 구해진다. 이득  $B_{(abc)}$ 로부터 (abc)상의 기본파 무효전류  $i_{(abc)r}$ 는 다음으로 구해진다.

$$i_{(abc)r} = B_{(abc)} v_{(abc)}(t - \frac{T}{4}) \quad (14)$$

(abc)상의 왜형전력  $D_{(abc)}$ 과 왜형전류  $i_{(abc)d}$ 는 전력의 직교성에 의해서 다음과 같이 구해지게 되며

$$D_{(abc)} = \sqrt{S_{(abc)}^2 - P_{(abc)}^2 - Q_{(abc)}^2} \quad (15)$$

3상 왜형전력  $D_{dc3}(=D_a+D_b+D_c)$ 과 왜형전류는 각각 식(26), 식(27)로 구해진다.

$$D_{dc3} = D_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (16)$$

$$i_{(abc)d} = i_{(abc)} - i_{(abc)a} - i_{(abc)r} \quad (17)$$

## 3. 보상성능 비교검토

본 연구에서 제시한 ECSD이론의 타당성을 입증하기 위해, 불평형 교류 전원하에서 CSD이론과 IPT이론<sup>[4]</sup>을 능동전력필터에 적용하여 고조파와 기본파 무효전력을 독립제어한 결과를 MATLAB/ SIMULINK에 의해 비교 분석하였다. 그림1은 병렬형 능동전력필터와 비선형 부하시스템을 보여주고 있으며, 그림2는 제안된 방법으로 제어되는 능동전력필터를 MATLAB/ SIMULINK에 의해 모델링한 것이다. 전원전압은 a상을 기준으로 하여, b상은 0.7 c상은 1.3의 불평형을 갖도록 하였으며 비선형 싸이리스터 부하의 점호각은 30°로 하였다.

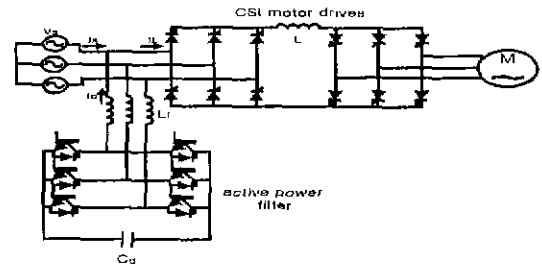


그림1. 능동전력필터와 비선형 부하 시스템  
Fig.1 active power filter and nonlinear load

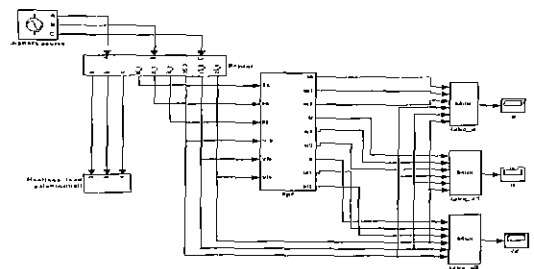
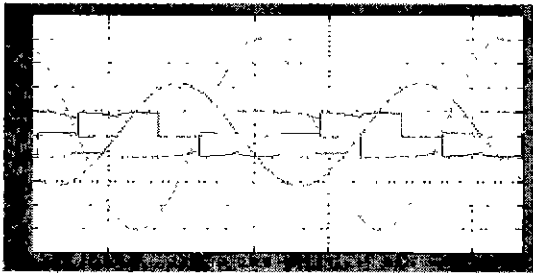


그림2. 제안된 보상 알고리즘의 모델링  
Fig.2 proposed compensation algorithm

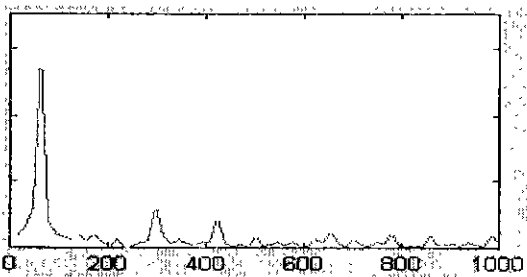
### 3.1 고조파와 무효성분을 모두 보상한 경우

그림3은 3상이 불평형 되었을 때, 정상상태에서 보상 전의 3상 전원전압 및 전원전류 파형 그리고 FFT결과를 나타내고 있고 그림4는 고조파 및 무효전류를 모두 보상하는 경우의 각 방식에 따른 보상결과를 나타내고 있다. 보상 후의 결과를 살펴보면 IPT이론에 의한 방법의 3상 전원전류가 3고조파 성분에 의해 왜형된 파형으

로 된다. 그러나 본 연구에서 제안된 ECSD이론과 중전의 CSD이론은 IPT이론에 비해 3상 불평형 전압과 무관하게 전원전류가 모두 평형이고 또한 전압과 동상의 정현파로 됨을 알 수 있다.



(a)

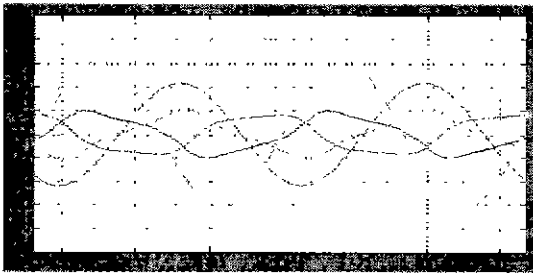


(b)

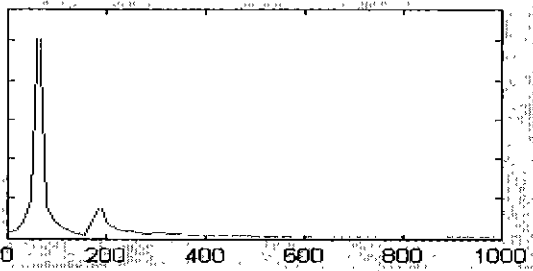
그림3. 보상 전의 전원전압과 전원전류  
a)전원전압과 전류 b)전류의 FFT스펙트럼

Fig.3 source voltage and source current before compensated.

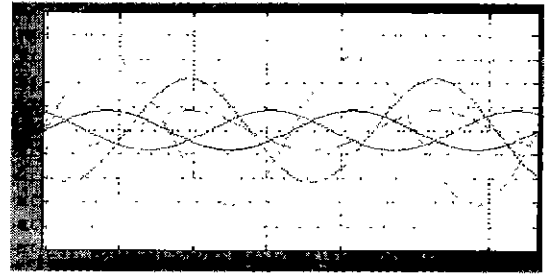
a)source voltage and current b)current FFT spectrum



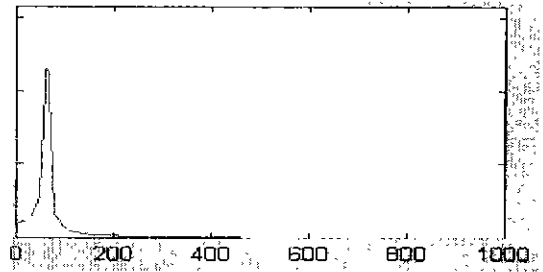
(a)



(b)



(c)



(d)

그림4. 각 방식에 따른 보상 후의 전원전압과 전원전류  
a),b) IPT c),d) CSD와 ECSD

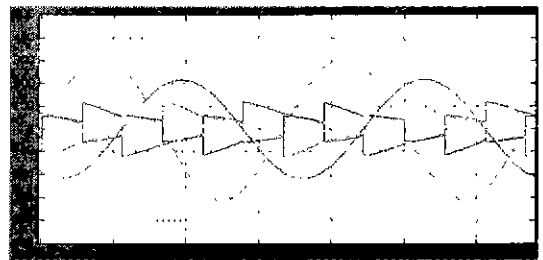
Fig.4 source voltage and source current of each method after compensated

a),b) IPT c),d) CSD and ECSD

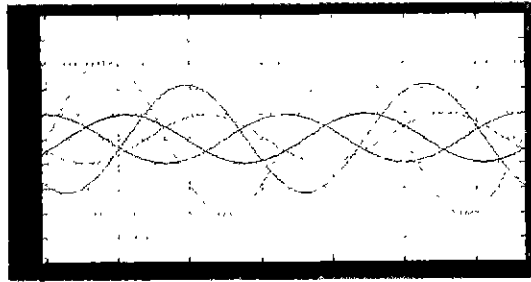
### 3.2 고조파와 무효성분의 독립제어

그림5는 그림3과 동일한 조건하에서 제안된 ECSD를 적용하여 고조파와 무효전류를 독립적으로 제어한 결과를 나타내고 있다. 평형 또는 불평형의 전원조건과 무관하게 그림4의 c), d)에서 나타낸 바와 같이 중전의 CSD는 제안된 방법과 동일한 보상 효과를 보이고 있다. 그러나 고조파와 무효전력을 독립적으로 보상 가능한 하이브리드 능동전력필터의 실제적인 응용<sup>[5]</sup>에 있어서 중전의 CSD이론은 적용할 수 없다.

본 연구에서 제안된 ECSD이론은 고조파와 무효전류 성분을 독립 제어가능 할 뿐 만 아니라 3상 불평형 상태에서 번거로운 위상각을 검출함이 없이 전원전류를 평형으로 제어 가능함을 알 수 있다.



(a)



(b)

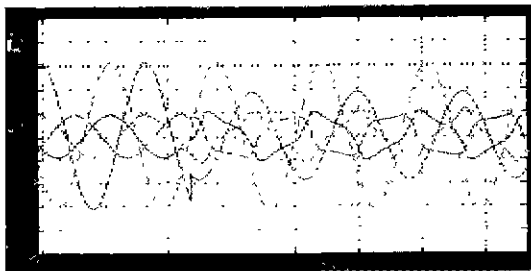
그림5. 고조파와 무효성분의 독립제어

a)무효성분 제어 b)고조파 제어

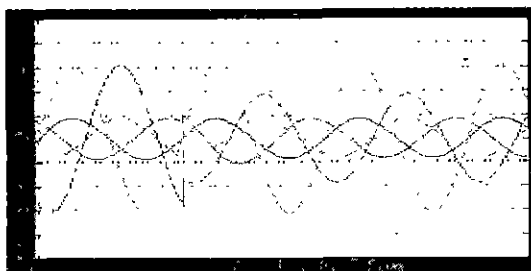
Fig.5 independent control of harmonics and reactive component

a)reactive component control b)harmonics control

### 3.3 과도상태 특성



(a)



(b)

그림6. 제안된 ECSD와 IPT의 과도특성 비교

(a)IPT b)제안된 ECSD

Fig.6 transient characteristics comparison between proposed ECSD and IPT

a)IPT b)proposed ECSD

3상 평형상태에서 b상과 c상을 각각 0.6과 1.4로 불평형을 시켰을 때의 과도상태를 IPT와 비교하여 그림6에 나타내었다. IPT는 전압의 불평형이 발생하면 곧바로 전류는 왜형과 불평형이 되는 데 비하여, 제안된 이론은 전원의 조건과 무관하게 전류를 정현적으로 평형을

유지하고 있음을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 불평형 전원 시스템하의 비선형 부하전류를 유효성분, 기본파 무효성분 그리고 왜형성분으로 분해하여 제어 가능한 ECSD이론을 제시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서 제시한 ECSD이론은 불평형 교류 전원하에서 중전의 CSD이론으로 불가능한 부하전류의 고조파와 무효성분을 독립 제어하였다.
- 2) 불평형 교류 전원하에서 비선형 부하전류의 고조파와 무효성분을 모두 보상하는 경우, 본 연구에서 제안된 ECSD방법은 중전의 CSD이론과 동일하였다.
- 3) 행렬 연산이 필요한 IPT이론과 비교하여, 본 연구에서 제시된 방법은 시간영역에서 산술적인 연산과정의 의해 보상기준전류를 간단하게 검출할 수 있었다.
- 4) 본 연구에서 제시된 ECSD이론은 IPT이론에 비해 불평형이 발생하는 과도상태에서 우수한 전류보상 특성을 갖고 있다.
- 5) 본 연구에서 제시된 방법은 불평형 전원 전압하에서 고조파와 무효성분을 독립적으로 제어 가능하기 때문에 능동전력필터의 실용적인 응용방법중의 하나인 하이브리드 능동전력필터에 적용가능 하리라 생각된다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임.

## 참 고 문 헌

- [1]S.D.Round,D.M.E.Ingram, "An Evaluation of Techniques for Determining Active Filter Compensating Currents in Unbalanced Systems",EPE,pp.4-767~4-771,1997
- [2]Chin.E.Lin,"Operation Strategy of Hybrid Harmonic Filter in Demand-Side System",IEEE IAS ,pp.1862-1866.1995.
- [3]V.Valouch,"Active Filter Control Methods based on Different Power Theories". IEEE ISIE, pp.521-526,1999
- [4]H.Akagi,A.Nabae,"Analysis and Design of an Active Power Filter using Quad-Series Voltage Source PWM Converters", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.IA-26, No.1,1990.
- [5]R.Strzelecki,"Hybrid Filtration in Conditions of Asymmetric Nonlinear Load Current Pulsation",EPE,pp.1-453~1-458,1997