

MATLAB/SIMULINK에 의한 순시전력이론의 α - β 전류 및 전력성분 해석

(α - β Current and Power Components Analysis of Instantaneous Power Theory Using MATLAB/SIMULINK)

정영국* · 임영철**

(Young-Gook Jung · Young-Cheol Lim)

요 약

순시전력이론은 수학적으로 이해가 용이하며, PWM 전력변환기를 α - β 정지 좌표에서 비교적 쉽게 제어할 수 있기 때문에 많은 연구가 되어 오고 있다. 그런데 순시전력이론은 보상기준전류 계산과정에 있어서 많은 전류 성분과 전력성분이 얻어지며 이는 순시전력이론의 물리적인 해석에 영향을 주고 있다. 특히 순시전력이론을 처음 접하는 초보 연구자들은 이와 같은 순시전력의 직류 및 교류성분 그리고 순시전류의 α - β 성분의 표준 파형에 대한 정보가 부족하기 때문에 각 성분들의 계산이 맞는지 확인하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 MATLAB/SIMULINK에 의하여 순시전력이론의 전류성분과 전력성분을 파형과 α - β 공간계적으로 나타내어 초보 연구자들의 이해를 돕도록 하였다. 또한 순시전력 성분 보상에 따른 보상기준 전류 파형이 비선형 부하 계통의 전원전류 파형에 미치는 영향을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

Abstract

The instantaneous power theory have been considered as efficient theory in recent years, because it is easier to understand numerical representation and more soft to control PWM power converter on α - β stationary reference frame. From the forgoing theory, with regard to the calculating process of compensating reference current, there are many induced components of current/ power, and these components have consequently influence on physical interpretation of instantaneous power theory. Especially, beginners for studing the instantaneous power theory don't have enough informations for standard waveform of induced α - β components. Therefore, this paper describes simulation works using MATLAB/SIMULINK for α - β space trajectories and waveforms of α - β current and power components, induced from the instantaneous power theory. It is respected that the results in this paper are serviceable as basic information to assist beginner for studing the instantaneous power theory.

* 정회원 : 대불대 정보공학부 전임강사, 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC) 연구원
 ** 정회원 : 전남대 전기공학과 교수, 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC) 소장
 접수일자 : 2000년 4월 19일

1. 서 론

대부분의 산업현장에는 전동기 구동장치, 정보통신 기기등 전력전자장치들이 널리 보급되어져 있다. 그런데 이들 장치들은 비선형적인 특성으로 말미암아 관련 전력계통에 고조파 및 무효전력을 발생하여 교류 전원계통의 역률을 저하시키는 등 여러 가지 악영향을 주고 있다[1].

능동전력필터는 이러한 문제점을 효과적으로 해결할 수 있는 방법중의 하나이다. 능동전력필터란 비선형 부하에 의해 왜형된 전원계통의 전류를 전압과 동상의 정현파로 만들어주는 전력전자 변환장치를 말하는데, 최근에 와서는 원래의 기능 외에 전력분석[1], UPS기능[2], 전압보상[3]등 다양한 기능들이 추가되고 있다. 능동전력필터에 의해 고조파 및 무효전력을 제어하기 위해 시간영역[4]과 주파수 영역의 알고리즘이 연구되고 있는 데, 특히 Akagi에 의해 제안된 α - β 변환p-q이론[5-6]이라고 불리는 순시전력이론은 3상 3선식 능동전력필터를 α - β 정지 좌표계에서 비교적 쉽게 제어할 수 있기 때문에 현재 많은 연구[7]가 진행중이다. 이와 같은 순시전력이론은 행렬에 의해 해석되므로 전개과정이 구조화되며 따라서 수학적 인 이해가 용이하다. 또한 해석과정에 있어서 대단히 많은 전류성분과 전력성분이 얻어지며 이들 성분들을 각기 제어하면 섬세한 제어가 가능한 능동전력필터를 구현할 수도 있다.

3상4선식 전력계통으로 순시전력이론을 확장하고자 할 때, 전력 및 전류성분에 대한 계산과정을 파형으로 확인해 보는 것은 순시전력이론을 이해하고 해석하는데 중요한 역할을 한다. 특히 순시전력이론을 처음 접하는 초보 연구자들에게 전류성분과 전력성분의 중간과정을 파악한다는 것은 순시전력이론의 이해를 돕는데 큰 도움이 된다.

따라서 본 연구에서는 MATLAB/ SIMULINK에 의하여 순시전력이론의 전류성분과 전력성분을 파형과 α - β 공간계적으로 나타내어 초보 연구자들의 이해를 돕도록 하였다. 또한 순시전력 성분 보상에 따른 보상기준 전류 파형이 비선형 부하 계통의 전원전류 파형에 미치는 영향을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

2. 순시전력이론

그림1은 능동전력필터와 비선형 부하의 전력회로를 나타내고 있다. 전력전자 변환장치등과 같은 비선형 부하에서 발생하는 고조파 및 무효전력은 병렬로 연결되어 있는 능동전력필터에 의해 보상된다.

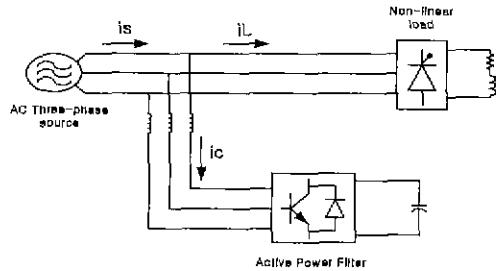


그림 1. 능동전력필터와 비선형 부하
Fig. 1. active power filter and nonlinear load

그림2는 3상 전원전압 v_{abc} 와 부하전류 i_{abc} 공간벡터의 abc기준좌표를 α - β 기준좌표로의 변환을 나타내고 있으며 이 두 기준좌표와의 관계는 식(1)과 식(2)로 표현 된다.

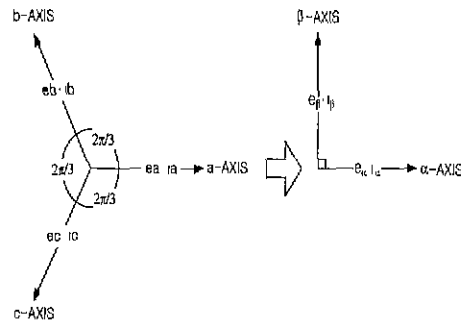


그림 2. abc와 α - β 기준좌표계
Fig. 2. abc and α - β reference frame

$$\begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)로 부터 순시유효전력 p 및 순시무효 전력 q 는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

식(3)은 순시전력이론을 이해하는데 중요한 식이며, 식(3)의 p 와 q 는 고역통과필터(HPF)를 거치면 다음과 같은 성분들로 분해된다.

$$p_{3\varphi} = p + q = \bar{p} + \tilde{p} + \bar{q} + \tilde{q} \quad (4)$$

$p_{3\varphi}$ = 3상 순시전력

$p = p_{3\varphi}$ 의 순시유효성분 $q = p_{3\varphi}$ 의 순시무효성분

\bar{p} = p성분의 직류성분 \tilde{p} = p성분의 교류성분

\bar{q} = q성분의 직류성분 \tilde{q} = q성분의 교류성분

p 와 q 로 나타낸 α - β 좌표에서 전류표현은 식(5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ q \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$= \begin{bmatrix} i_{\alpha p} \\ i_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{\alpha q} \\ i_{\beta q} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$e_{\alpha\beta^2} = e_\alpha^2 + e_\beta^2 \quad (7)$$

식(5),식(6),식(7)로 부터 α - β 좌표에서 순시전류는 다음과 같이 p 와 q 의 함수로 표현된다.

$$\alpha \text{상 순시유효전류 } i_{\alpha p} = \frac{e_\alpha}{e_{\alpha\beta^2}} p \quad (8)$$

$$\alpha \text{상 순시무효전류 } i_{\alpha q} = \frac{-e_\beta}{e_{\alpha\beta^2}} q \quad (9)$$

$$\beta \text{상 순시유효전류 } i_{\beta p} = \frac{e_\beta}{e_{\alpha\beta^2}} p \quad (10)$$

$$\beta \text{상 순시무효전류 } i_{\beta q} = \frac{e_\alpha}{e_{\alpha\beta^2}} q \quad (11)$$

또한 식(3)의 순시전력 p 는 식(12)와 같이 α - β 성분으로 나타내지며 p 의 각각의 성분은 식(13)-식(16)로 구성되어져 있다.

$$\begin{bmatrix} p_\alpha \\ p_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_\alpha i_\alpha \\ e_\beta i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_\alpha i_{\alpha p} \\ e_\beta i_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_\alpha i_{\alpha q} \\ e_\beta i_{\beta q} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\alpha \text{상 순시유효전력 } p_{\alpha p} = \frac{e_\alpha^2}{e_{\alpha\beta^2}} p \quad (13)$$

$$\alpha \text{상 순시무효전력 } p_{\alpha q} = \frac{-e_\alpha e_\beta}{e_{\alpha\beta^2}} q \quad (14)$$

$$\beta \text{상 순시유효전력 } p_{\beta p} = \frac{e_\beta^2}{e_{\alpha\beta^2}} p \quad (15)$$

$$\beta \text{상 순시무효전력 } p_{\beta q} = \frac{e_\alpha e_\beta}{e_{\alpha\beta^2}} q \quad (16)$$

능동전력필터는 식(4)로 표현된 \tilde{p} , \bar{q} 또는 \tilde{q} 중에서 각 성분을 선택적으로 보상할 수 있다. 고조파 및 무효성분을 전부 보상하기 위해서 능동전력필터는 식(17)로 표현된 보상전류를 α - β 좌표에서 발생하면 된다.

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\tilde{p} \\ -(\bar{q} + \tilde{q}) \end{bmatrix} \quad (17)$$

식(17)에서 \tilde{p} , \bar{q} 또는 \tilde{q} 을 0으로 하여 α - β 좌표로 표현된 보상전류는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha\tilde{p}} \\ i_{c\beta\tilde{p}} \end{bmatrix} = \frac{1}{e_{\alpha\beta^2}} \begin{bmatrix} -e_\alpha \tilde{p} \\ -e_\beta \tilde{p} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha\tilde{q}} \\ i_{c\beta\tilde{q}} \end{bmatrix} = \frac{1}{e_{\alpha\beta^2}} \begin{bmatrix} e_\alpha \tilde{q} \\ -e_\beta \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha\bar{q}} \\ i_{c\beta\bar{q}} \end{bmatrix} = \frac{1}{e_{\alpha\beta^2}} \begin{bmatrix} e_\alpha \bar{q} \\ -e_\beta \bar{q} \end{bmatrix} \quad (20)$$

α - β 기준좌표에서 abc 기준좌표로 변환된 식(18)-식(20)의 보상전류는 식(21)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} \quad (21)$$

3. MATLAB 시뮬레이션

그림3은 이상에서 살펴본 순시전력이론에서 도출된 여러 전류 및 전력성분과 이들이 전원전류에 미치는 영향을 살펴 보기 위해 MATLAB/SIMULINK로 시뮬레이션을 하였다. 비선형 부하는 싸이리스터 변환기와 $L=7.8mH$, $R=28\Omega$ 부하로 구성되어 있으며, 접호각은 30° 로 선정하였다. p 와 q 를 \bar{p}, \tilde{p} 그리고 \bar{q}, \tilde{q} 로 분해하기 위한 고역통과필터(HPF)는 2차 버터워스 필터이며 차단주파수 $f_c = 0.1Hz$ 이다.

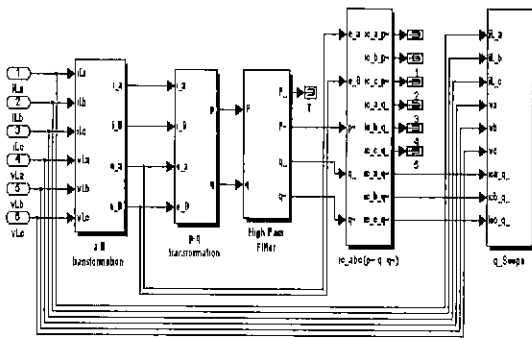


그림 3. MATLAB에 의한 능동전력필터의 모델링
Fig. 3. active filter modeling using MATLAB

3.1. 순시전류 및 순시전력성분

그림4는 비선형 부하로 동작하는 싸이리스터 제어 정류기의 입력전류를 α - β 기준좌표로 보여주고 있다. 그림4를 보면 i_α 와 i_β 는 서로 90° 위상 차이이며 α - β 공간상에서의 궤적은 피크가 있는 6각형임을 알 수 있다. 식(8)-식(11)의 $i_{\alpha p}$ 와 $i_{\beta p}$ 그리고 $i_{\alpha q}$ 와 $i_{\beta q}$ 는 그림5와 그림6에서 보여주는 바와 같이 α - β 공간상의 궤적은 서로 반대의 반원형을 갖는 6개의 꽃잎형태이다.

식(3)과 식(4)는 순시유효전력 p 과 순시무효전력 q 를 나타내는 식이며 그림7에서 그 파형을 보여주고 있다. p 는 일정한 (+)값을 중심으로 우측이 반원형의 맥동을 하고 있고, q 는 0을 중심으로 (-)와 (+)사이를 좌측이 반원인 맥동을 하고 있음을 알 수 있다. 여기서 얻어진 p 와 q 가 고역통과필터(HPF)를 거치면 직류와 교류성분인 \bar{p}, \tilde{p} 그리고 \bar{q}, \tilde{q} 이 구해진다. 식(3)의 p 는 식(13)-식(16)과 같이 α - β 기준좌표로 분해가능하며 그림8과 그림9에서 보여주는 파형과 α - β 공간궤적⁵⁾ 갖는다.

3.2. 순시보상전류의 α β 성분

그림10은 식(17)에서 보여주는 바와 같이 $\bar{q}, \tilde{q}, \tilde{p}$ 을 모두 보상하기 위한 보상기준전류를 나타낸 것으로 α - β 공간궤적은 작은 6각형 중앙에 위치한 6개 꽃잎 모양으로 된다. 그림11, 그림12, 그림13, 그림14는 각각 $\bar{p}, \bar{q}, \tilde{q}, \tilde{p}$ 을 선택적으로 보상하기 위한 보상기준전류이며 기본파 무효성분 \bar{q} 를 보상기준전류로 하였을 때의 그림12를 제외하면 모두 12개의 피크치를 갖는 별 모양 또는 꽃잎 모양과 같다.

3.3. 순시보상과정

능동전력필터가 $\bar{q}, \tilde{q}, \tilde{p}$ 을 모두 보상하는 경우를 살펴보면, 그림4의 i_α 와 i_β 공간 궤적에 의해 형성된 6각형 궤적은 그림15에 나타낸 원형의 i_α, i_β 공간 궤적이 된다. 이러한 보상과정은 그림4의 6각형 i_α, i_β 공간 궤적과 그림10의 i_α, i_β 공간 궤적과의 차이로 표현된다.

그림16, 그림17, 그림18, 그림19는 선택적인 보상과정을 설명하고 있다. 그림16은 $i_{c\bar{p}} \sim q$ 만이 보상되었을 때 보상후의 전원전류를 나타내고 있다. 전원전류 공간궤적이 원형으로 접근함을 알 수 있으나 $i_{c\tilde{q}}$ 성분을 보상하지 않았으므로 기본파 무효성분이 보상되지 않는다. 그림4에서 나타낸 육각형의 α - β 공간 궤적과 비교하여 보면, $i_{c\tilde{q}}$ 만 보상하였을 경우의 궤적은 그림17과 같은 피크치를 갖는 육각형이다. 그림18은 보상전류 $i_{c\tilde{q}}$ 를 보상하였을 때, 보상전류가 전원전류에 미치는 영향을 나타낸다. 이것은 부하전류의 고조파 무효성분에 해당하는 q 의 교류 성분만을 보상하는 것을 의미한다. 그림4의 육각형 α - β 공간궤적으로 부터 그림13의 별모양의 궤적을 제거하면 $i_{c\tilde{q}}$ 만이 보상된 그림18의 공간 궤적이 얻어지게 된다.

끝으로 부하전류의 고조파 유효성분 $i_{c\tilde{p}}$ 성분만을 보상하였을 때, 전원전류 파형에 미치는 영향을 그림19에 나타내었다. 그림4의 육각형 α - β 공간 궤적에서 그림14에서 보여준 별 모양의 궤적 제거하면, 그림19의 $i_{c\tilde{p}}$ 만이 공간궤적이 얻어진다.

MATLAB/SIMULINK에 의한 순시전력이론의 α - β 전류 및 전력성분 해석

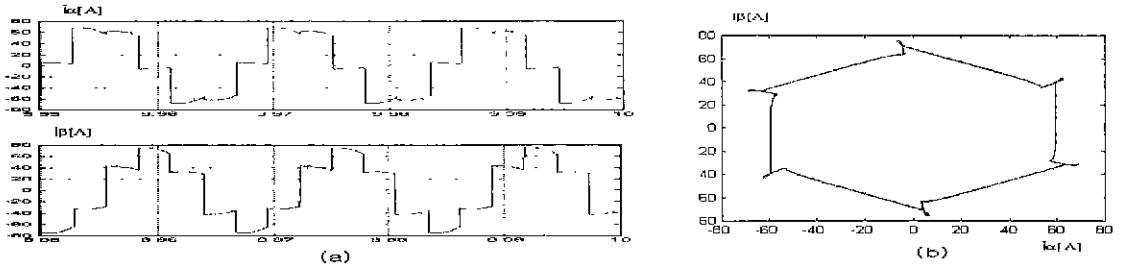


그림 4. i_α 와 i_β 성분 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 4. i_α and i_β components : (a) time domain (b) α - β space trajectory

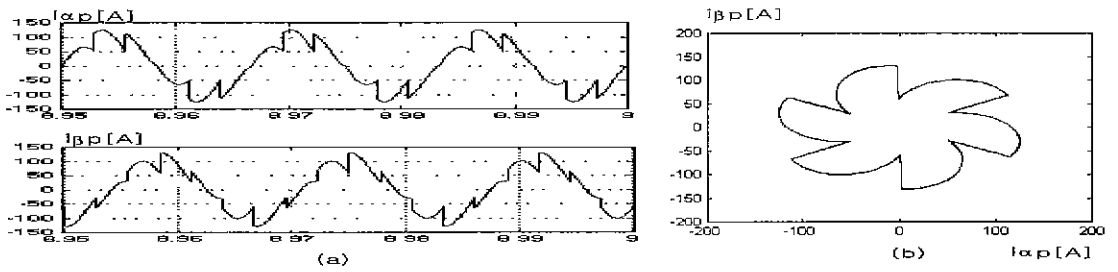


그림 5. $i_{\alpha p}$ 와 $i_{\beta p}$ 성분 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 5. $i_{\alpha p}$ and $i_{\beta p}$ components : (a) time domain (b) α - β space trajectory

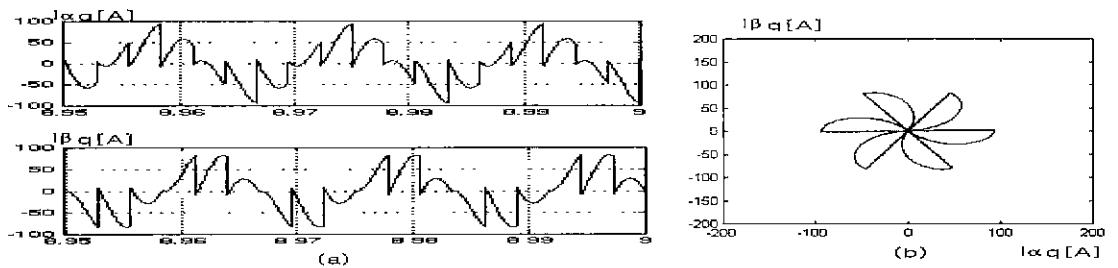


그림 6. $i_{\alpha q}$ 와 $i_{\beta q}$ 성분 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 6. $i_{\alpha q}$ and $i_{\beta q}$ components : (a) time domain (b) α - β space trajectory

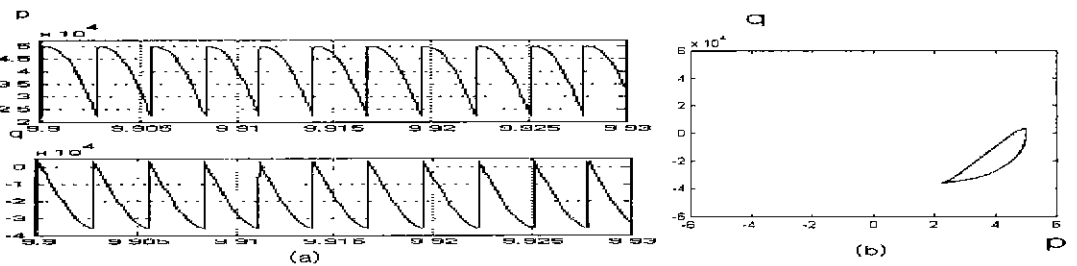


그림 7. p와 q 성분 : (a) 시간영역 (b) p-q 공간궤적

Fig. 7. p and q components : (a) time domain (b) p-q space trajectory

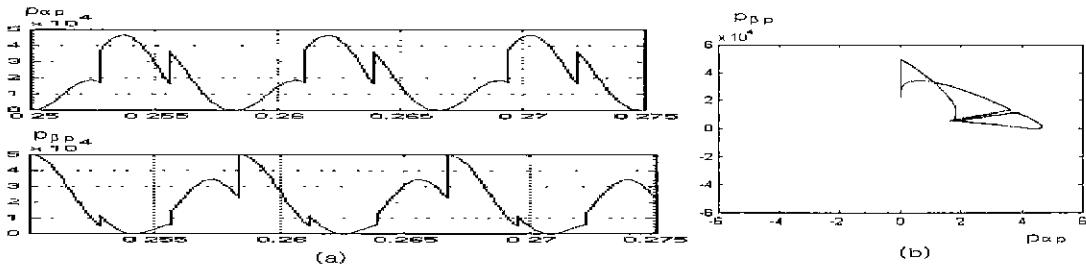


그림 8. $p_{\alpha\beta}$ 와 $p_{\beta\beta}$ 성분 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간계적

Fig. 8. $p_{\alpha\beta}$ and $p_{\beta\beta}$ components : (a) time domain (b) α - β space trajectory

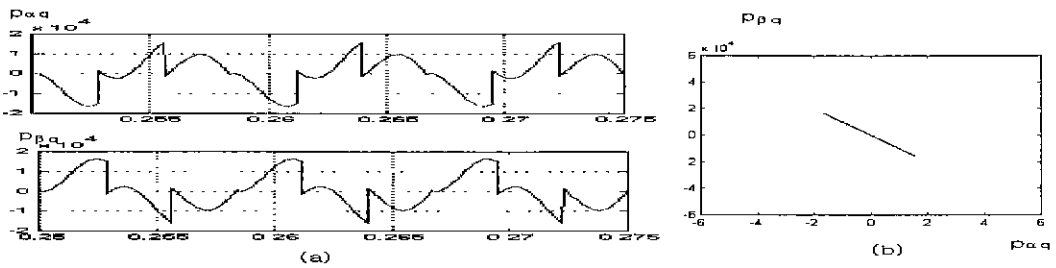


그림 9. $p_{\alpha q}$ 와 $p_{\beta q}$ 성분 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간계적

Fig. 9. $p_{\alpha q}$ and $p_{\beta q}$ components : (a) time domain (b) α - β space trajectory

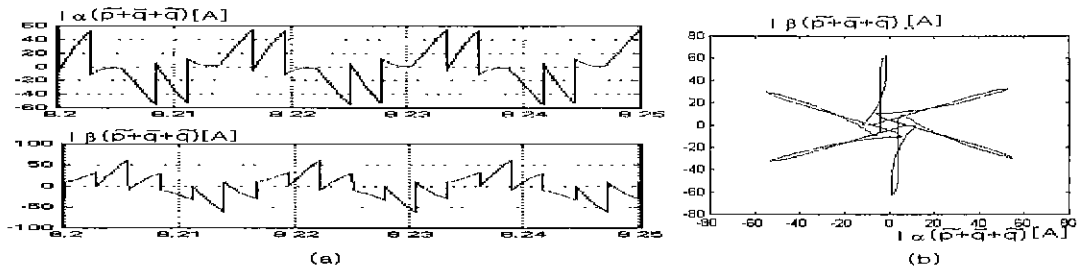


그림 10. $i_{c\overline{p}\overline{q}}$ 보상기준전류 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간계적

Fig. 10. $i_{c\overline{p}\overline{q}}$ compensating reference current : (a) time domain (b) α - β space trajectory

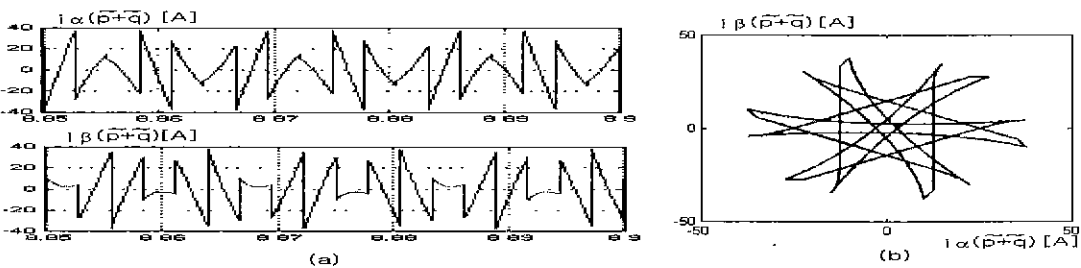


그림 11. $i_{c\overline{p}\overline{q}}$ 보상기준전류 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간계적

Fig. 11. $i_{c\overline{p}\overline{q}}$ compensating reference current : (a) time domain (b) α - β space trajectory

MATLAB/SIMULINK에 의한 순시전력이론의 α - β 전류 및 전력성분 해석

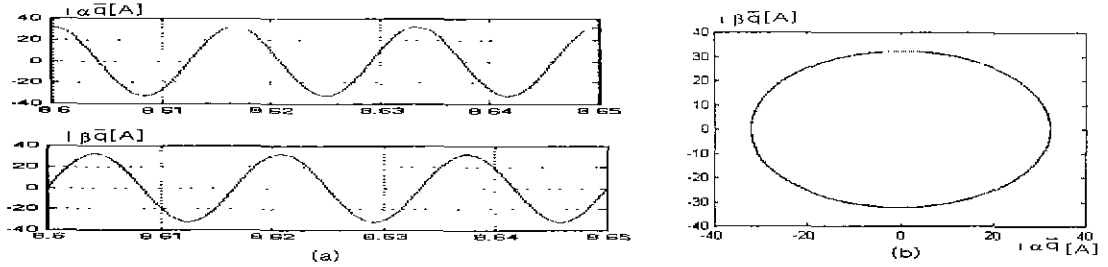


그림 12. i_{cq} 보상기준전류 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 12. i_{cq} compensating reference current : (a) time domain (b) α - β space trajectory

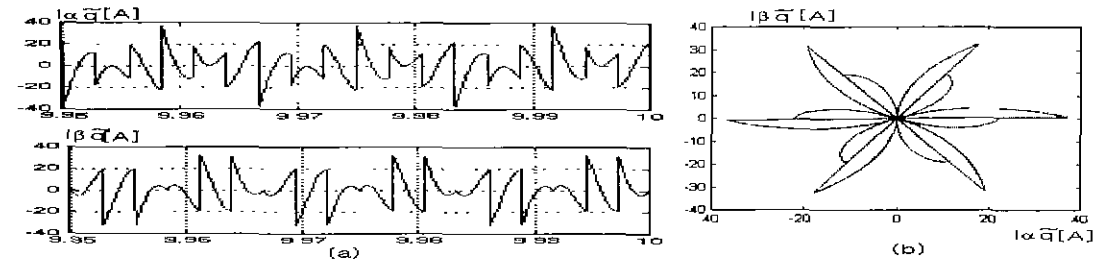


그림 13. i_{cq} 보상기준전류 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 13. i_{cq} compensating reference current : (a) time domain (b) α - β space trajectory

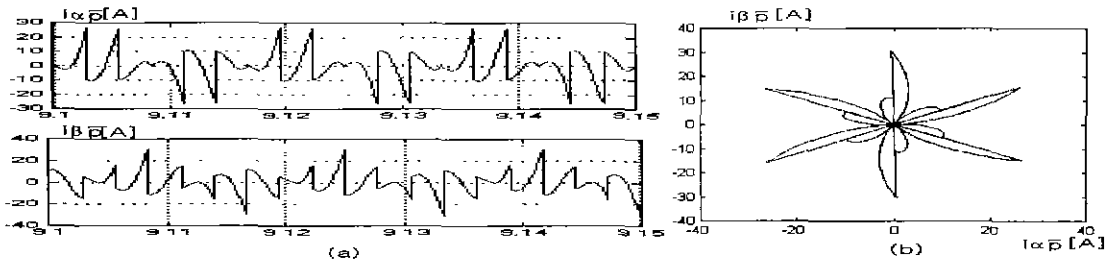


그림 14. i_{cp} 보상기준전류 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 14. i_{cp} compensating reference current : (a) time domain (b) α - β space trajectory

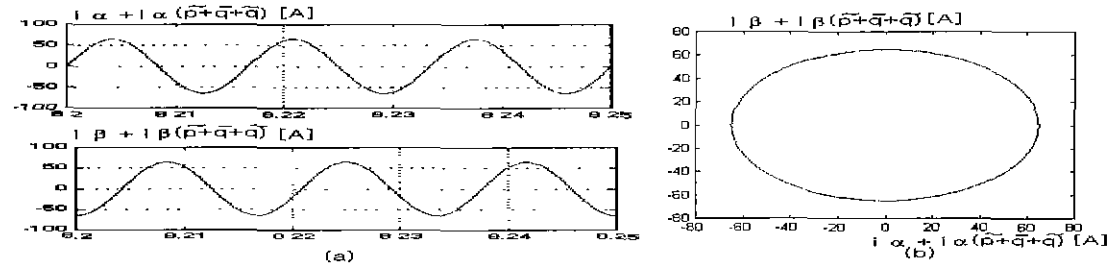


그림 15. $i_{c\cancel{p}\cancel{b}}$ 이 전원전류에 미치는 영향 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 15. source current of after $i_{c\cancel{p}\cancel{b}}$ compensated : (a) time domain (b) α - β space trajectory

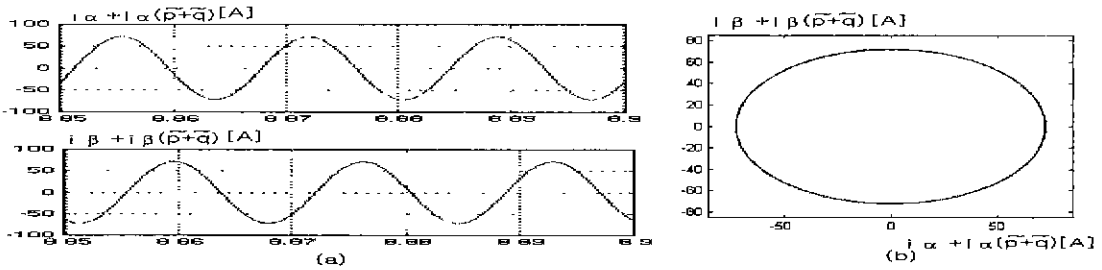


그림 16. i_{cp-q} 이 전원전류에 미치는 영향 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 16. source current of after i_{cp-q} compensated : (a) time domain (b) α - β space trajectory

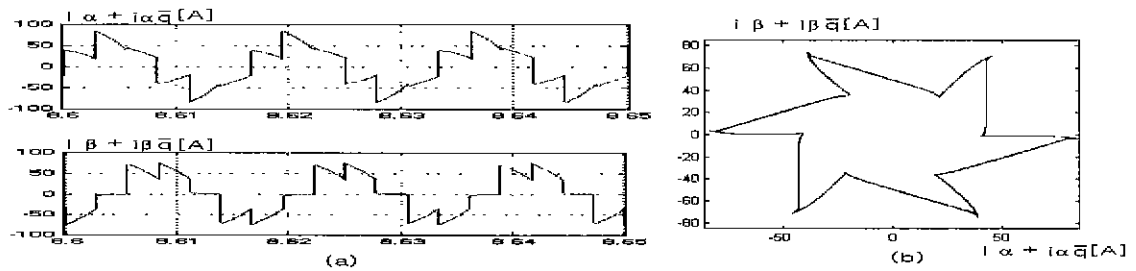


그림 17. i_{cq} 이 전원전류에 미치는 영향 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 17. source current of after i_{cq} compensated : (a) time domain (b) α - β space trajectory

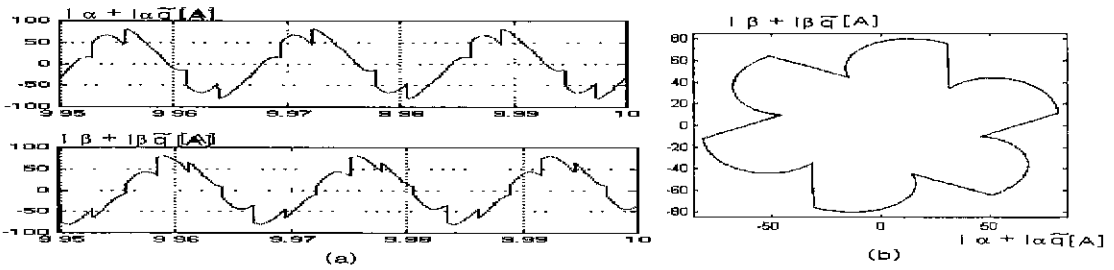


그림 18. $i_{cq-tilde}$ 이 전원전류에 미치는 영향 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 18. source current of after $i_{cq-tilde}$ compensated : (a) time domain (b) α - β space trajectory

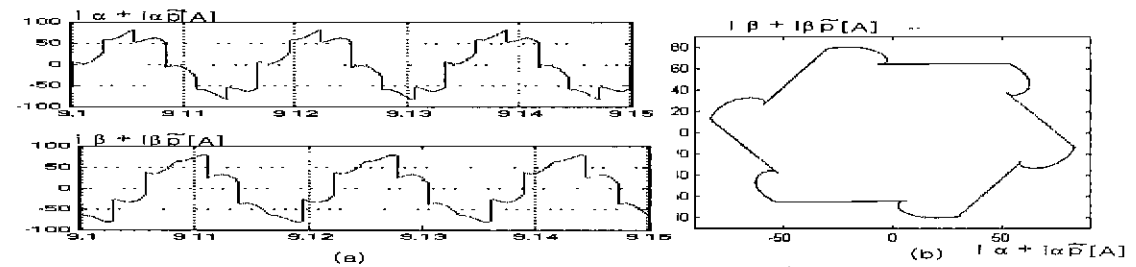


그림 19. $i_{cp-tilde}$ 이 전원전류에 미치는 영향 : (a) 시간영역 (b) α - β 공간궤적

Fig. 19. source current of after $i_{cp-tilde}$ compensated : (a) time domain (b) α - β space trajectory

4. 결 론

본 연구에서는 능동전력필터 제어에 널리 이용되고 있는 순시전력이론을 초보 연구자들이 쉽게 이해 할 수 있도록 하기 위한 전류 및 전력성분에 관한 데이터를 제시하였다. 또한 순시전력의 직류 및 교류성분의 보상에 따른 보상기준 전류파형과 비선형 부하 계통의 전원전류 파형의 변화를 α - β 기준좌표에서 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 순시유효전력 p 는 일정한 (+)값을 중심으로 우측 이 반원형의 맥동을 하며, 순시무효전력 q 는 0을 중심으로 (-)와 (+)사이를 좌측이 반원형의 맥동을 하고 있음을 알 수 있다. 또한 α - β 공간 궤적은 물고기 형태를 갖고 있다.
- 2) 비선형 부하전류의 α - β 공간상의 궤적은 6각형이며, $i_{c\alpha} \sim i_{c\beta}$ 를 모두 보상하는 경우, 보상 후의 전원전류의 궤적은 원형이다. 또한 보상기준전류의 공간궤적은 작은 6각형이 중앙에 위치한 6개 꽃잎 모양과 같다.
- 3) $i_{c\alpha} \sim i_{c\beta}$ 를 선택적으로 보상한 경우는 전원전류의 궤적이 유사 원형 궤적이거나 보상 정도에 따라 6각형의 모양을 갖게 된다.
- 4) 보상기준전류의 α - β 공간 궤적은, $i_{c\alpha}$ 를 보상 전류로 하였을 때의 공간궤적을 제외하면, 위상이 이동된 작은 6각형 모양 또는 6개 꽃잎 또는 12개의 피크를 갖는 별 모양이다.

참 고 문 헌

- (1) Y.C.Jung, Y.C.Lim, "A DSP Based Power Analyzing and Control System Using 3-Dimensional Current Coordinates", IEEE IECON, (TAIWAN), pp.1094-1099,1996.
- (2) S.Silva,P.Cortizo, "A Three Phase Series-Parallel Compensated Line-Interactive UPS System with Sinusoidal Input Current and Sinusoidal Output Voltage", IEEE IAS, pp.826-832,1999.
- (3) 이우철,현동석,이택기, "무효전력제어에 의한 PCC전압보상을 갖는 상상 병렬형 능동전력필터", 대한전기학회, 49B권, 3호, pp.211-218,2000.

- (4) J.HREnslin, J.D.Van Wyk, "A New control Philosophy for Power Electronic Converters as Fictitious Power Compensators", IEEE Trans. on Power Electronics, vol.5, no.1, pp.88-97, 1990.
- (5) H.Akagi,A.Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices without Energy Storage Components", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-20, No.3,1984
- (6) 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.
- (7) S.Bhattacharya,A.Veltman, "Flux based Active Filter Controller", IEEE IAS, pp.2483-2491,1995.

◇ 저자소개 ◇

정 영 국 (鄭榮國)

1963년 11월10일생. 1986년 전남대 전기공학과 졸업. 1988년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년 일본 오카야마 대학 연구방문. 현재 대륜대 정보공학부 전임강사. 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC) 연구원.

임 영 철 (任永徹)

1953년 4월22일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 오스트레일리아 모나시대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수. 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC) 소장