

3상 불평형 전원 조건하의 능동전력필터를 위한 새로운 평균전력 알고리즘

정광식*^o 정영국** 김영철** 임영철*

*전남대학교 전기공학과 **대불대학교 전기공학과

A New Average Power Algorithm for Active Power Filters Under Unbalanced Source Condition

*^oKwang-Sik Jung **Young-Gook Jung **Young-Cheol Kim *Young-Cheol Lim
*Chonnam National University **Daebul University

ABSTRACT

본 연구에서는 3상이 불평형된 전원 조건하에서 비선형 부하전류를 유효성분, 기본파 무효성분 그리고 왜형성분으로 분해한 후, 능동전력필터를 제어할 수 있는 새로운 평균전력 알고리즘을 제시하였다. 제안된 방법의 타당성을 입증하기 위해, 15% 불평형된 3상 전원 전압하에서 실험을 수행하였으며, 종전의 평균전력 알고리즘에 비하여 새로운 평균전력 알고리즘의 유용성을 입증할 수 있었다

1. 서 론

최근 전압변동 및 고조파 문제등 전력 외란에 민감한 장비가 급증함에 따라 전력품질(Power quality)에 대한 관심이 높아져 가고 있다.[1-2] 능동전력필터는 전력품질을 개선하기 위한 가장 효과적인 방법이며, 순시전력 이론(p-q Theory)[3]과 평균전력이론(average power theory: APT)[4-5]은 능동전력필터의 보상제어를 위해 널리 알려진 이론이다.

순시전력이론은 행렬에 의하여 해석되므로 보상 알고리즘의 전개과정이 구조화되어 있으나, 3상에만 적용가능한 이론이다. 또한 3상이 불평형인 경우, 저차 고조파로 말미암아 보상 후의 전원전류는 왜형이 된다. 한편 시간영역에서의 평균전력이론은 간단하며 쉬운 알고리즘으로 3상과 단상 시스템에 구현 가능하다. 그러나 일반적으로 평균전력이론은 전압의 왜형과 불평형등 전원전압의 조건에 의해 보상기준전류가 결정적으로 영향을 받는 문제점이 있기 때문에 3상이 평형인 전원조건에만 제한되어져 왔다.

따라서 본 연구에서는 3상이 불평형된 전원 조건하에서 비선형 부하전류를 유효성분, 기본파 무효성분 그리고 왜형성분으로 분해한 후, 능동전력필터를 제어할 수 있는 새로운 평균전력 알고리즘을 제시하였다. 2마력의 3상 능형 유도모터와 가변속 장치(인버터)를 비선형 부하로 하였으며 독립형 TMS320C31 DSP보드에 의해 모터구동장치의 전력을 분석하였다. 이를 바탕으로 하여 모터구동장치의 각 상의 입력전류의 유효성분, 기본파 무효성분 그리고 왜형성분을 D/A변환기로 출력

하였다. 본 연구에서 제시한 방법의 타당성을 입증하기 위해, 15% 불평형된 3상 전원 전압 하에서, 실험을 수행하였으며, 종전의 평균전력 알고리즘에 비하여 제안된 평균전력 알고리즘의 유용성을 입증할 수 있었다.

2. 제안된 평균전력 알고리즘

각각 $\frac{2}{3}\pi$ 위상차 나는 (abc)상의 전압과 전류를 그림 1과 같이 $v_{(abc)}$ 와 $i_{(abc)}$ 로 나타낼 때, a상의 유효전력 P_a 는 다음으로 정의된다.

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

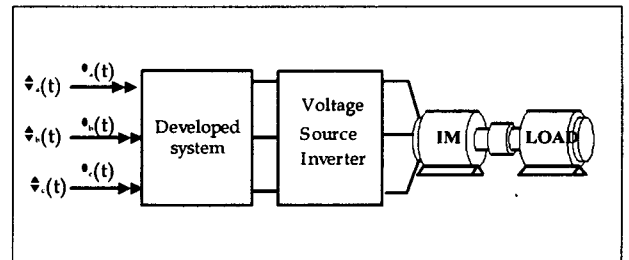


그림 1 3상 모터구동장치의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of three phase motor drives

P_a 로 나타낸 b상과 c상의 유효전력 P_b, P_c 는 보상 후의 3상 전원전류가 모두 동일하다는 가정 하에 다음과 같이 표현 가능하다.

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

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

여기서 $V_{(abc)}$ 는 (abc)상의 전압 실효치이며, 3상 평균전력 P_{ac3} 은 (4)와 같다.

$$P_{ac3} = P_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (4)$$

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

전압에 대한 유효전류의 이득 $G_{(abc)}$ 는

$$G_{(abc)} = \frac{P_{d3}}{V_{(abc)} V_T} \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} i_{(abc)a} &= G_{(abc)} v_{(abc)} \\ &= \frac{P_{d3}}{V_{(abc)} V_T} v_{(abc)} \end{aligned} \quad (7)$$

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

(abc)상의 기본과 무효전력 $Q_{(abc)}$ 는 보상 후의 3상 기본과 무효전류가 모두 동일하다는 가정 하에서 $P_{(abc)}$ 를 구하는 과정과 동일한 방법으로 구할 수 있다.

$$Q_a = \frac{1}{T} \int_0^T v_a(t - \frac{\pi}{2}) i_a dt \quad (9)$$

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

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

3상 무효전력 Q_{d3} 은 다음과 같다.

$$Q_{d3} = Q_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (12)$$

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

$$B_{(abc)} = \frac{Q_{d3}}{V_{(abc)} V_T} \quad (13)$$

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

$$i_{(abc)r} = B_{(abc)} v_{(abc)} (t - \frac{\pi}{2}) \quad (14)$$

(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 $D_{d3} (= D_a + D_b + D_c)$ 과 왜형전류는 각각 (16), (17)로 구해진다.

$$D_{d3} = D_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (16)$$

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험장치 구성

그림 2와 표 1은 제안된 이론의 타당성을 검토하기 위한 시스템의 블록선도와 사양을 나타내고 있다. 비선

형 부하로는 2마력의 3상 농형 유도모터와 인버터로 구성된 가변속 장치를 채택하였다

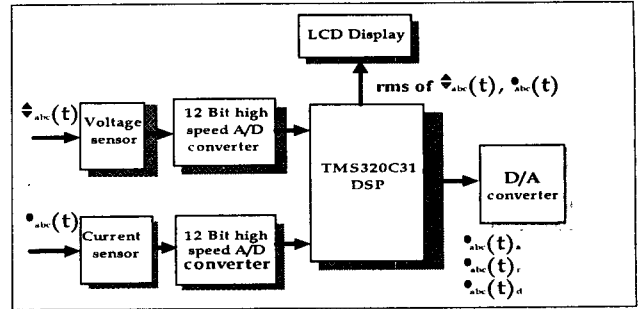


그림 2 실험 시스템의 블록선도

Fig. 2 Block diagram of experimental system

표 1 모터와 인버터의 사양

Table 1 Specifications of motor and inverter

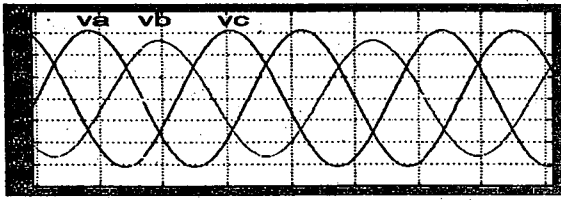
Driver	· 3phase voltage source inverter (commercial inverter: MIMOCON)
Motor	· 3 phase, squirrel cage type induction motor · 1.5kw(2HP), 4pole, 220v/380v, 5.9A/3.4A · Torque : 0.85N-m · Speed : 1730rpm(slip=3.8%)
Load	· 3phase, squirrel cage type induction motor · 4pole, 0.75KW(1HP), 220v/380v, 3.5A/2.0A

제안된 알고리즘은 TMS320C31의 독립형 DSP보드에 의해 수행되고 있다. DSP보드는 4채널의 고속 A/D 변환기와 4채널의 고속 D/A 변환기를 가지고 있으며, A/D 변환기는 12비트 분해능과 채널당 $8\mu\text{sec}$ 의 A/D 변환시간을 가지므로 4채널을 모두 사용할 경우에는 29KHz까지의 샘플링이 가능하다.

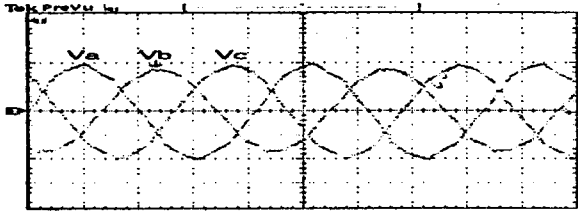
전압과 전류의 샘플링 주기는 0.1msec이며, 60Hz 전원의 한 주기 동안 167개 가량의 샘플링을 하여 전압과 전류의 실효치를 계산한다. 샘플링은 DSP의 내부 타이머 인터럽트에 의하며, DSP보드에 의해 모터구동장치의 전력품질을 분석한 후, 이를 바탕으로 하여 모터구동장치의 각상의 입력전류에 포함된 유효성분, 기본과 무효성분 그리고 왜형성분을 D/A 변환기에 의해 출력하였다.

3.2 결과 및 고찰

비선형 부하에 인가되는 a상과 c상의 전압이 110v인 경우, b상의 전압이 15% 정도 저하되는 불평형인 전원 조건 하에서 전원전압과 전류를 그림 3에 나타내었다. 평형된 전압 조건하에서의 전압형 비선형 부하의 3상 입력 교류전류는 2개의 스파이크를 갖는 파형이다. 그러나 전압이 불평형으로 되면 전압형 비선형 부하의 입력 교류전류는 그림 3(b)와 같이 1개의 스파이크 형태로 된다.



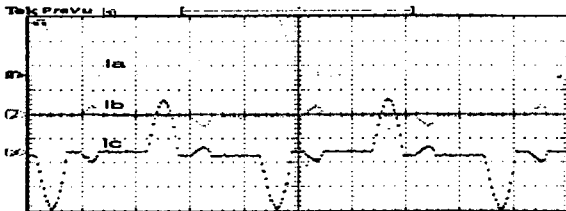
(simulation result)



(a) source voltage (experimental result)



(simulation result)



(b) source current
(experimental result)

그림 3 전원전압과 전원전류 파형
(80V/div. 2A/div. 4ms/div.)

Fig. 3 Source voltage and source current
(80V/div. 2A/div. 4ms/div.)

3.2.1 중전의 평균전력 알고리즘

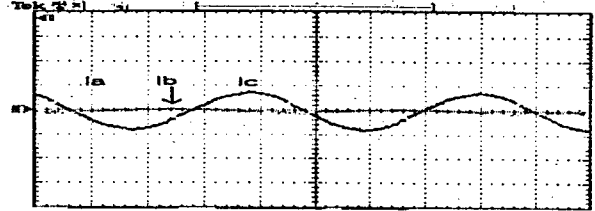
그림 4는 중전의 평균전력이론에 의해 검출된 전류성분을 나타내고 있다. b상 전압이 15%불평형 되어 있기 때문에 이 전압 정보를 기반으로 전류성분을 검출하는 평균전력이론의 경우, 입력전류의 유효성분 및 기본파 성분은 불평형이 된다.

3.2.2 제안된 평균전력 알고리즘

그림 5는 제안된 이론에 의해서 검출된 능동전력필터의 보상기준전류를 나타내고 있다. 3상 전원이 불평형 되어있는 조건에서도 검출된 유효전류 성분과 기본파 무효전류 성분은 모두 평형이며 또한 기본파 무효전류 성분과 왜형성분은 서로 독립적으로 분해된다.



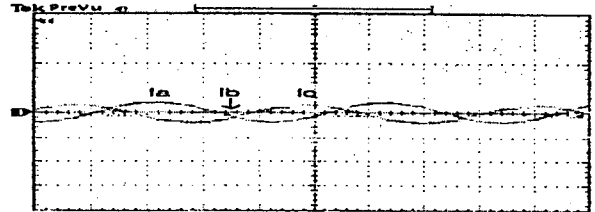
(simulation result)



(a) active component(experimental result)



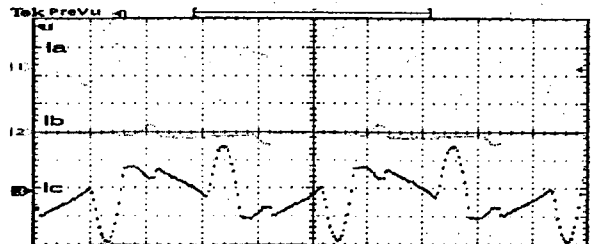
(simulation result)



(b) fundamental reactive component
(experimental result)



(simulation result)



(c) distorted component(experimental result)

그림 4 APT에 의한 전원전류 파형 (2A/div. 4ms/div.)
Fig. 4 Source current components by APT
(2A/div. 4ms/div.)

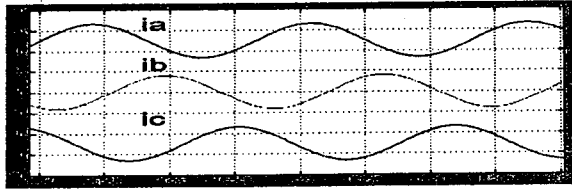
4. 결 론

본 연구에서는 종래의 평균전력이론의 문제점을 해결하기 위한 3상 불평형 전원전압 조건하에서도 능동전력 필터에 적용 가능한 새로운 평균전력이론을 제안하였다. 제안된 이론은 전원이 불평형 되어있는 조건에서도 검출된 유효전류 성분과 기본파 무효전류 성분은 모두 평형이며, 기본파 무효전류 성분과 왜형성분은 독립적으로 분해가 가능하였다. 제안된 알고리즘을 산업현장에 실제적으로 응용되고 있는 하이브리드 능동전력필터에 적용되면, 불평형 전원조건에 무관하게 전원전류를 제어 가능하리라 사료된다.

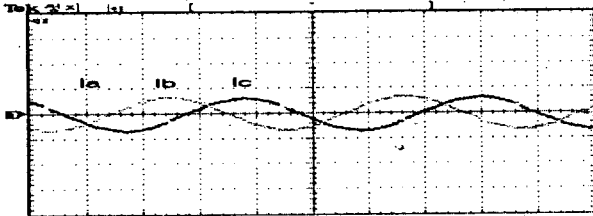
본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과임.

참 고 문 헌

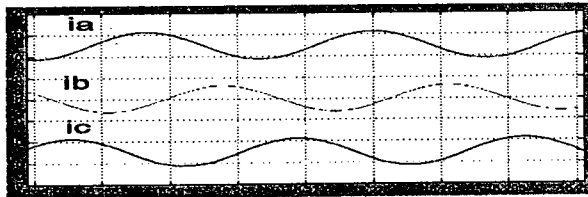
- [1] Y.G.Jung, Y.C.Lim, S.H.Yang, "Single-Phase Active Power Filter based on Three-Dimensional Current Coordinates", IEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 147, no. 6, November, pp. 572~578, 2000.
- [2] A. Abellan, J. M. Benavent, "A New Control Method for Obtaining Reference Currents of Shunt Active Power Filters in Unbalanced and Nonsinusoidal Conditions", IEEE ISIE, pp. 831~836, 1999.
- [3] H. Akagi, H. Fujita, "Control Strategy of Active Power Filters using Multiple Voltage Source PWM Converter", IEEE Trans., IA-22, pp. 460~465, 1986.
- [4] F. Harashima, H. Inaba, "A Closed-Loop Control System for the Reduction of Reactive Power Required by Electronic Converters", IEEE Trans. on Industrial Electronics and Control Instrumentation, vol. IECI-23, no. 2, pp. 162~166, 1976.
- [5] J.H.R. Enslin, 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.



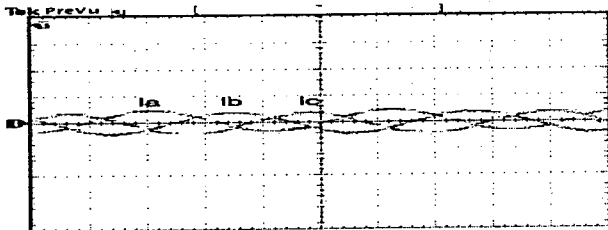
(simulation result)



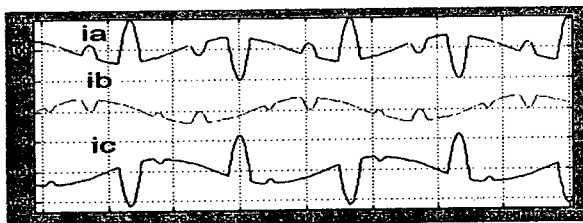
(a) active component (experimental result)



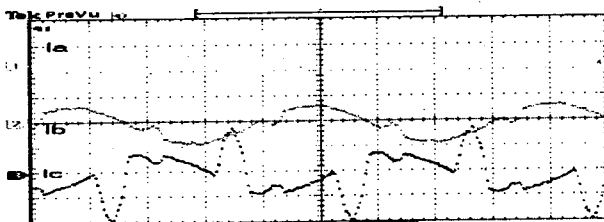
(simulation result)



(b) fundamental reactive component (experimental result)



(simulation result)



(c) distorted component (experimental result)

그림 5 제안된 이론 의한 전원전류 파형 (2A/div. 4ms/div.)
 Fig. 5 Source current components by proposed theory
 (2A/div. 4ms/div.)