

단상시스템에서 벡터적(vector product)에 의한 동기 루프 Synchronization loop by vector product in single-phase system

배기훈* 기상우* 조국춘** 최종목***

ABSTRACT

A Diode bridge rectifier and a phase-controlled thyristor bridge rectifier generate harmonics in power system. Nowadays, power factor and harmonics are important performance in electrical equipment for railway vehicle. Many researchers have been trying to improve the power factor and ac-side harmonics. Therefore the PWM converter has been used to operate at unity power factor and to reduce ac-side current harmonics.

This paper proposes the synchronization loop by vector product in single-phase PWM converter. The proposed control method can realize the sinusoidal input current waveform and the effective unity power factor. The validity of the proposed control method is verified through the experimental result.

1. 서론

전력용 반도체의 발달과 제어기법의 발전은 전력변환장치의 성능 및 효율에 큰 영향을 미치고 있다. 특히 산업 발전에 의해 대량 수송과 수송의 고속화가 요구되는 운송수단에 대한 전력변환장치의 성능 향상 및 효율 향상에 대한 연구는 필수불가결한 것이다.

이러한 취지하에 국책과제로 한국형 고속전철개발이 진행되고 있고, 본 연구는 한국형 고속전철개발의 보조전원장치에 사용되는 단상 AC/DC 전력변환장치에 이용된다. 기존의 사이리스터를 사용한 위상제어방식 대신 자기소호 능력을 가지는 IGBT를 사용하고, 펄스 폭변조방식(PWM)을 이용하여, 입력전류와 입력전압이 동상이 되게 함으로써 단위역률 운전이 가능하다. 단위역률 운전을 하기 위해서는 입력전압에 대한 정보를 제어가 가져야 한다. 제어가 입력전압에 대한 정보를 가지게 하는 방법으로 본 연구에서는 벡터적(vector product) 방법을 제안하고, 실험을 통하여 이에 대한 타당성을 나타내고자 한다.

* 대우중공업 철차연구소 주임연구원, 비회원

** 대우중공업 철차연구소 선임연구원, 비회원

*** 대우중공업 철차연구소 책임연구원, 비회원

2. 컨버터의 동작 및 벡터적에 의한 동기 제어

2.1 컨버터의 동작

단상 PWM 컨버터는 교류입력전압과 교류입력전류의 기본파 성분을 동상(단위역률)으로 제어하면서 안정된 직류링크전압을 얻는 것을 목적으로 한다. 그림1은 단상 PWM 컨버터의 기본 회로도이다. 그림1에서 V_{AC} 는 입력전압, L은 승압용 리액터, C는 평활용 캐패시터이며, 전압방정식은 (식1)과 같다.

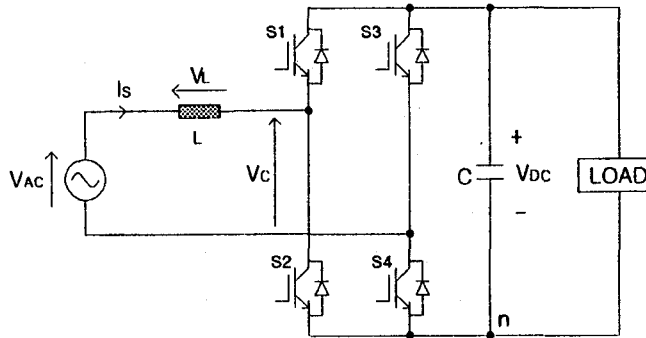


그림 1. 단상 PWM 컨버터 회로도

$$v_{AC} = v_L + v_C \tag{1}$$

단, $v_L = L \frac{di_s}{dt}$

v_C : 컨버터 입력전압

V_{AC} 를 순수한 정현파로 가정하고, V_{AC} 를 기준 페이저 ($\vec{V}_{AC} = V_{AC} \angle 0^\circ$)로 선택하여 기본파 성분에 대한 등가회로를 나타내면 그림2와 같다.

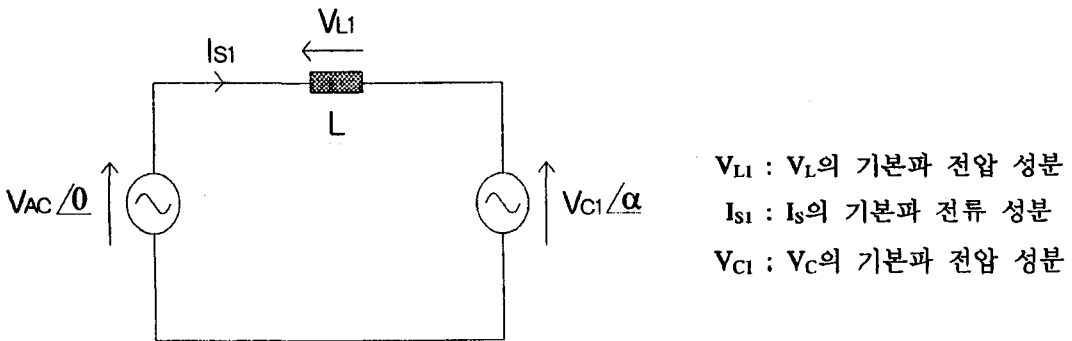


그림 2. 단상 PWM 컨버터 기본파 등가회로

PWM 컨버터의 목적인 단위역률 운전을 하려면 V_{AC} 의 위상과 I_S 의 기본파 성분(I_{S1}) 위상이 같아야 하고, V_{L1} 은 I_{S1} 보다 90° 진상이 된다. 이 때의 페이저도를 나타내면 그림3과 같다. 페이저도에서 나타낸거와 같이 V_{C1} 의 크기와 α 를 제어함에 의해 단위역률 운전이 가능함을 알 수 있다.

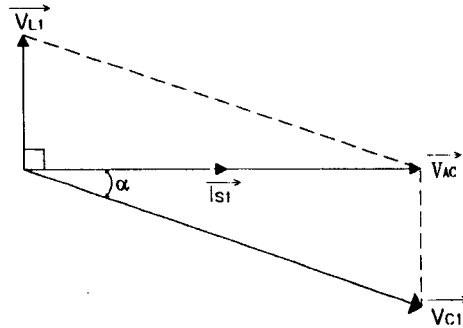


그림 3. 단위역률일때의 전압·전류 페이저도

2.2 벡터적에 의한 동기 제어

입력전압과 입력전류의 위상을 동상으로 하여 단위역률 운전을 하기 위해서는 앞에서 언급한 바와 같이 컨버터의 입력전압 V_{C1} 크기와 입력전압에 대한 위상차 α 를 제어하여야 한다. 위상차 α 를 제어하기 위해서는 입력전압의 정보를 제어기가 알아야 한다. 제어기가 입력전압 정보를 알게 하기 위하여 본 연구에서는 벡터적 방법을 이용하고 있다.

벡터적 정의는 식(2)와 같다.

$$\vec{A} \times \vec{B} = \text{크기} : |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \theta \quad \text{식(2)}$$

방향 : 오른나사의 법칙

θ : A벡터와 B벡터의 사이각

직교좌표계에서는 아래와 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \vec{A} \times \vec{B} &= (A_x \cdot \mathbf{i} + A_y \cdot \mathbf{j}) \times (B_x \cdot \mathbf{i} + B_y \cdot \mathbf{j}) \\ &= k \cdot (A_x B_y - A_y B_x) \end{aligned}$$

벡터적 정의를 사용하여 본 연구에서는 다음과 같이 구현하였다. 먼저 입력 전압을 센싱하여 A/D변환을 하여 제어기에 입력한다. 제어기에서는 이 입력된 값을 미분하여 음수값을 취함으로써 A/D변환을 통하여 읽어들이는 값과 합성하여 가상의 벡터(\vec{A})를 만든다. 그림4는 제어기에서 가상벡터를 만드는 방법을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 가상의 벡터는 반시계방향의 원을 그리는 벡터가 된다.

한편 메모리에 sine값과 $(-1) \times \text{cosine}$ 값을 배열 형태로 저장하고, 앞에서 만든 방법과 같이 또 하나의 가상의 벡터(\vec{B})를 만든다. 따라서 \vec{A} 와 \vec{B} 를 사용하여 벡터적을 행한다. (그림5참조)

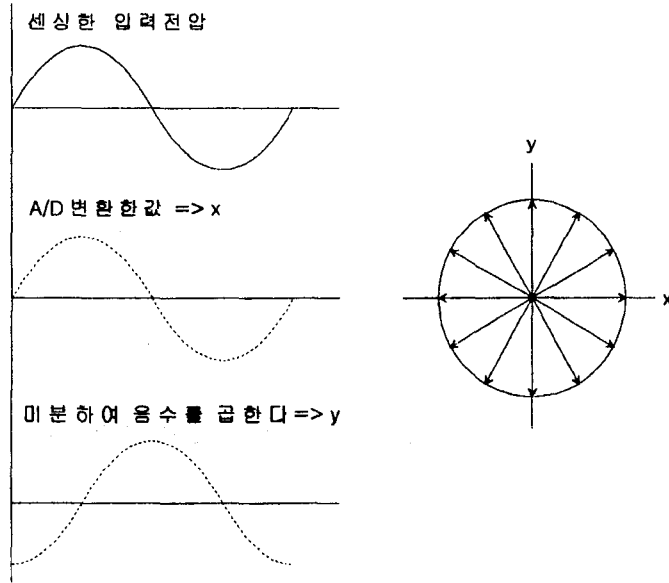


그림 4. 제어기에서 가상 벡터를 만드는 방법

만약 \vec{A} 와 \vec{B} 사이에 위상차가 생기면 벡터적에 의해 면적과 부호가 나타나고, 제어기는 결국 이 면적과 부호를 0이 되도록 제어함으로서, 실제 전원에 동기된 메모리 배열을 제어기가 알 수 있게 된다. 이 전원에 동기된 메모리 배열을 사용하여 제어기가 V_{CI} 의 크기와 α 를 제어함에 의해 단위역을 제어와 출력단 전압 제어가 가능하다.

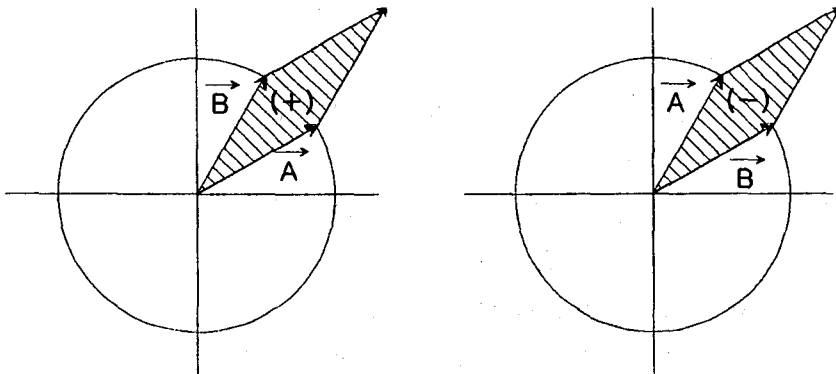


그림 5. 두 벡터의 벡터적

그림 6은 제어기에 사용하는 흐름도를 나타내고 있으며, 제어기는 TI사의 TMS320C31을 사용하였으며, 내부 타이머 인터럽트를 46.3 μ s마다 수행하면서 동기제어를 하고 있다.

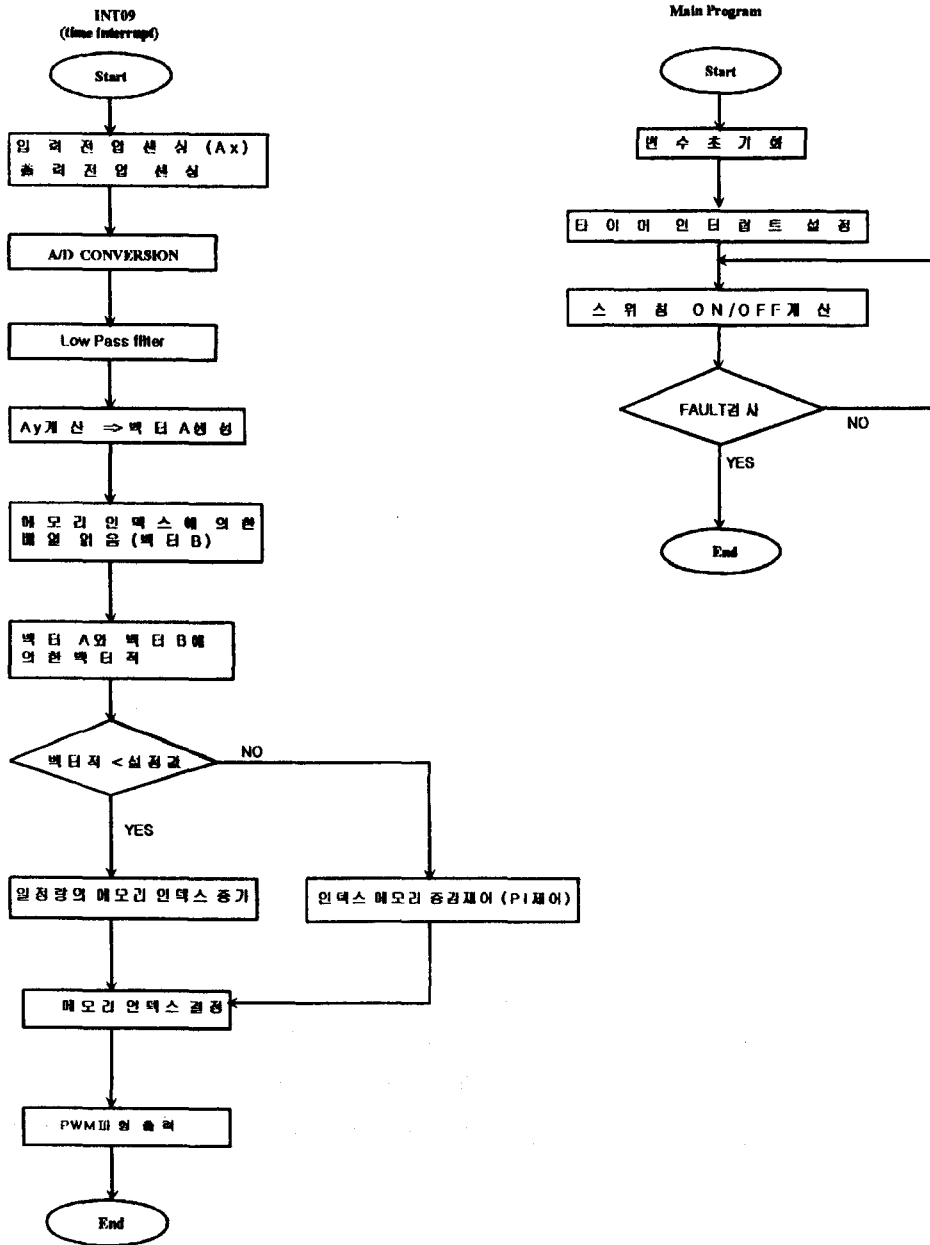


그림 6. 제어기에 사용한 흐름도

3. 실험과형 및 결과

앞에서 언급한 백터적에 의한 동기 제어 방법을 이용한 프로그램을 5KVA 축소모델에 적용하여 실험하였다. 사진1은 실험 셋트를 나타내고 있으며, 실험에 사용한 사양은 아래와 같다.

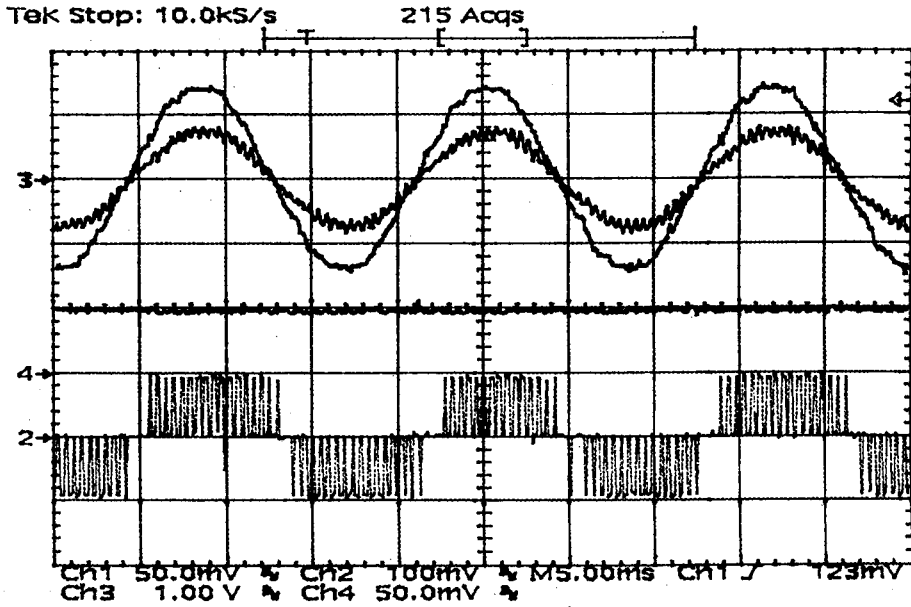
- 1) 입력전압 : 단상 AC 100[V]
- 2) 출력전압 : DC 200[V]
- 3) 최대출력 : 5[KW]
- 4) 부하 : 1000[W]
- 5) 스위칭 주파수 : 900[Hz]



사진 1. 축소형 실험 셋트

그림7은 실험시의 각 부 파형을 나타내고 있다. 그림7에서 보듯이 입력전압파형과 입력 전류파형이 동상을 이루고 있고, 전압은 200[V]에서 조정되고 있다.

향후 입력단 전류의 고조파 감소를 위하여 병렬운전이 가능한 제어기 제작 및 알고리즘을 개발할 예정이다.



- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1 : 입력전압(100V/DIV.) | 2 : 컨버터 입력전압 |
| 3 : 입력전류(20A/DIV.) | 4 : DC링크전압(210V/DIV.) |

그림 7. 5KVA 축소 모델 시험 파형

참고 문헌

- [1] 정구호외, "새로운 백터적 PLL를 이용한 대용량 무효전력 보상기(SVC)의 DSP제어"
대한전기학회 하계학술 대회,1996
- [2] O. Stihl and B. T. Ooi, "A Single-Phase Controlled-Current PWM Rectifier", IEEE Trans. on
Power Electronics, vol.3, No.4, pp.453-459, October, 1988
- [3] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics", Prentice Hall, 1933