

# 누설변압기가 부착된 전원 불평형 3상 전압형 PWM 컨버터 운전법

전지용<sup>o</sup> 김영춘\* 조유환\*\* 이근홍\*\*  
 아주자동차대학<sup>o</sup> 공주대학교\* (주)두산 인프라코어\*\*

## Operating Method of 3 Phase Voltage type PWM Converter for Unbalanced Voltage with Leakage Transformer

Ji yong Chun<sup>o</sup> Young Chun Kim\* Yu Hwan Cho\*\* Keun Hong Lee\*\*  
 Ajou Motor College<sup>o</sup> Kongju University\* Doosan Infra-core\*\*

### ABSTRACT

In this paper, the control algorithm of DC source device for inverter starting is proposed and the control method for compensating unbalance system source on operating time in the voltage type PWM converter with driving and regenerative faculty is suggested. The maintaining way of balancing condition for converter of AC source is used the compensating unbalanced status by current control loop. Because it is possible that the unbalanced System control is used to leakage transformer not equaled reactance by each phase in rectifier system, the proposed H/W and control algorithm of rectifier system is contributed to minimize of device and rising efficiency.

### 1. 서론

근래들어 AC-DC PWM 컨버터는 주로 IGBT 소자를 사용하고 있으며 전동기 구동용 인버터를 부하로 하는 경우 전류의 형태를 정현파로 제어, 단위역률 제어가 가능하도록 설계되고 있다. 근간 전압 불평형시의 문제점을 분석한 연구<sup>[1]</sup>와 전압의 크기를 판단하여 각상의 듀티를 제어하는 buck 컨버터 제어 기법<sup>[2]</sup> 및 입력 전압을 정상성분과 역상 성분으로 나누어 각각의 전류를 제어하는 연구<sup>[3-4]</sup>가 발표되었다. 컨버터의 리액터 양단전압은 전원 전압과 전력변환기의 교류측 전압의 차가 되므로 전원의 전압이 불평형의 경우에 있어서는 전원 전압을 검출하여 전력변환기도 똑같은 불평형 성분을 갖도록 하면 불평형이 상쇄되어 전원에는 평형전류가 흐르게 할 수 있다. 실제의 경우 전원의 불평형

은 수전설비에 사용하는 변압기의 탭조절로 해결이 가능하다. 그러나 전원 전압이 평형상태라 할지라도 제작상의 제약에 따라 입력측 3상 리액터의 리액턴스가 다를 경우, 각상에 흐르는 전류는 불평형 상태가 된다. 불평형 전류는 교류전원 설비의 운영 면에서 좋지 않은 영향을 주므로 전력변환기의 설계에 있어서 불평형을 보상하도록 제어에 추가되는 적절한 방법을 사용하여야 한다.

본 논문에서는 각 상의 리액턴스가 다른 조건에서 불평형 상태에 대하여 전류의 정상성분과 역상분을 분리하고 각각에 대하여 제어루프를 갖는 제어방법을 사용하여 전류의 평형을 유지하는 방법을 제안하였으며 이를 이용할 경우, DC-link 전압이 입력전압에 비하여 낮은 경우에 있어 고려할 수 있는 각 상의 누설 리액턴스가 다른 누설 승압용 변압기의 사용도 가능하게 하여 기기의 외형과 제작비용의 감소가 가능하다.

### 2. 제안된 컨버터 제어기법

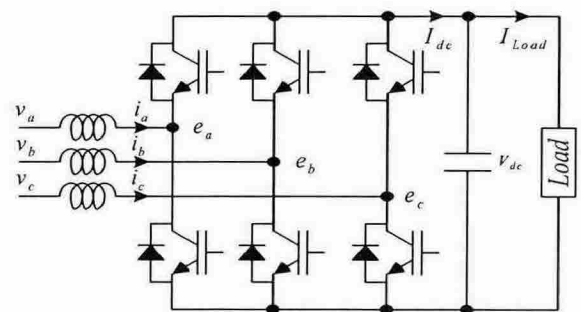


그림 1 3상 전압형 PWM 컨버터 주회로  
 Fig. 1 Main circuit of 3 phase Voltage type PWM Converter

전압형 컨버터는 그림 1과 같이 교류 입력전원과 리액턴스로 결합하는 구조를 하고 있으며, 불평형 전류의 경우 평형상태를 유지하기 위하여 컨버터 전류를 정상분 전류와 역상분 전류로 분해하고 각

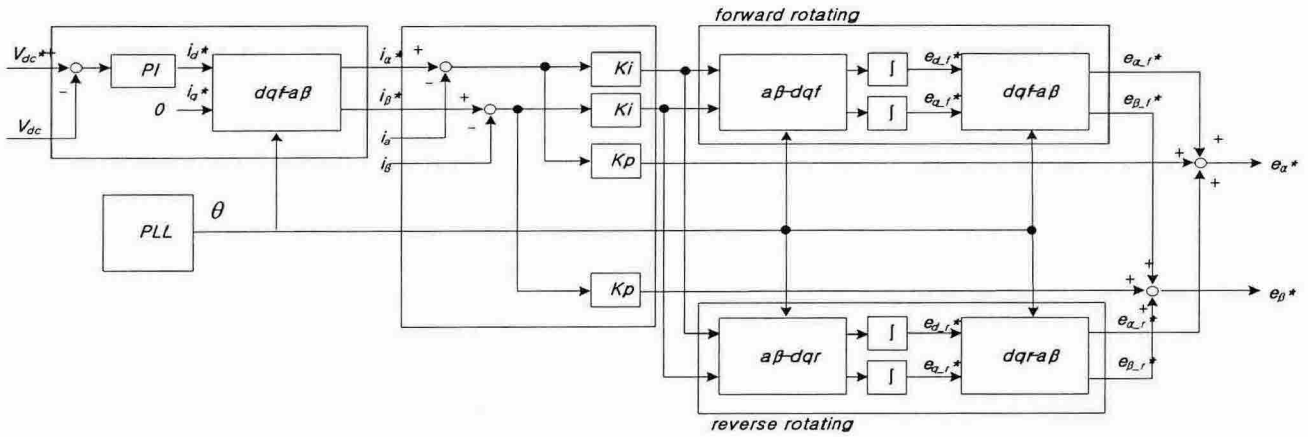


그림 2 제안된 제어기 블록도  
Fig. 2 Block diagram of proposed controller

각에 대하여 불평형을 보상하기 위한 제어방법이 필요하게 된다. 전원전압과 리액터 양단전압 ( $V_L$ ), 컨버터전압의 정상분 성분 ( $E^f$ )과 역상분 성분 ( $E^r$ )의 관계를 나타내면 식(1)과 같다.

$$V = X \cdot I + (E^f + E^r) \quad (1)$$

식 (1)에서 우변 제 2항의  $E^f$ 는 설정한 정상전류의 크기가 흐르도록 하는 리액턴스전압의 정상전압이며  $E^r$ 은 평형전류가 되기 위하여 보상되어야 할 리액턴스의 역상전압이다. 따라서 검출된 전류가 설정전류와 같게 유지될 경우 전원전류는 평형을 유지하게 되므로 식 (2)와 같이 설정된 전류와 검출된 전류를 비교하여 오차를 보상하도록 한다.

$$\Delta i_{a\beta} = i_{a\beta}^* - i_{a\beta} \quad (2)$$

식 (2)에서  $\Delta i_{a\beta}$ 는 정좌표계인  $a\beta$  축으로 표현한 설정전류와 검출된 전류의 오차이며 보상해야 할 정상성분과 역상성분의 합성으로 되어 있으므로 식 (3)과 같이 서로 회전방향이 다른 두 회전좌표계로 나타내어 정상분과 역상분으로 분해한다.

$$\begin{cases} \Delta i_{dq}^f = F \cdot k_i \Delta i_{a\beta} \\ \Delta i_{dq}^r = R \cdot k_i \Delta i_{a\beta} \end{cases} \quad (3)$$

여기서

$$F = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}, \quad R = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

이다.

식 (3)에서  $\Delta i_{dq}^f$ 와  $\Delta i_{dq}^r$ 은 회전좌표축  $dq^f$ 와  $dq^r$ 축으로 나타낸 정상분과 역상분의 오차로 각각의 좌표계에서 전류 제어를 적용하면 적분제어부 식 (4)로 나타낼 수 있으며 식 (5)를 통하여 식 (6)과 같이 전류 제어를 구성할 수 있다. 따라서 제안된 전류제어기는 그림 2와 같이 구성이 되며, 전압 제어를 포함한 제안된 컨버터의 제어블럭도를 나타내면 그림 3과 같다.

$$e_{dq}^{fr} = \frac{1}{s} \Delta i_{dq}^{fr} \quad (4)$$

$$\begin{cases} e_{a\beta}^f = R \cdot e_{dq}^f \\ e_{a\beta}^r = F \cdot e_{dq}^r \end{cases} \quad (5)$$

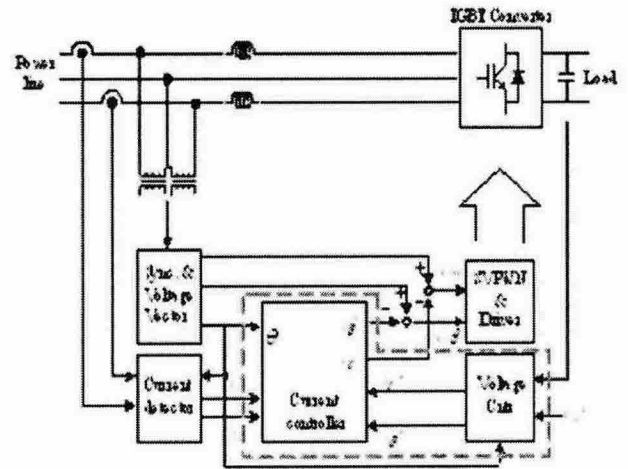


그림 3 제안된 전력변환기의 블록도  
Fig. 3 Block diagram of proposed system

### 3. 실험 및 고찰

제안된 전류제어기의 타당성을 검증하기 위해 그림 4와 같이 IGBT 모듈과 3상용 누설변압기 및 3.3[mH]의 인덕터, 입출력부의 전압 및 전류를 검출하기 위한 회로, TMS320LF240x를 이용한 제어부로 구성된 3상 전압형 PWM컨버터를 구성하였으며 제안된 알고리즘을 적용하여 시험한 결과 그림 5와 그림 6은 한상분 리액터를 완

전히 제거한 불평형 조건에서의 운전시 전압벡터분의 궤적을 보여주고 있으며, 그에 따른 부하전류를 5[A]에서 10[A]로 다시 5[A]로 변경하였을 경우 출력측 직류전압이 안정적으로 일정하게 유지됨을 확인할수 있었다.

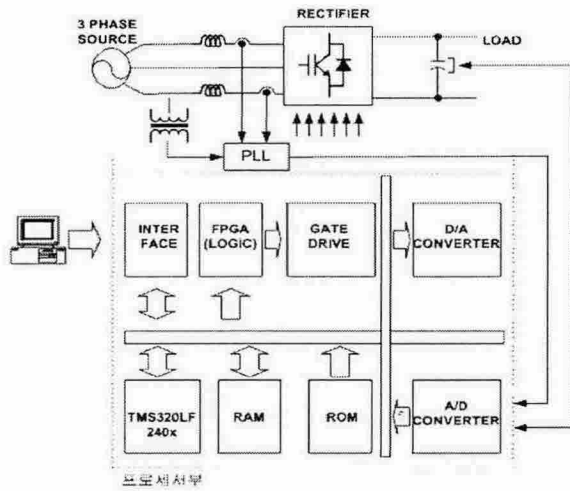


그림 4 제안된 컨버터의 시스템 구성도  
Fig. 4 Block diagram of proposed converter system

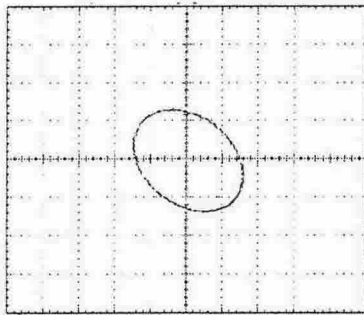


그림 5 컨버터 전압 벡터궤적 ( $e_{a\beta}^* = e_{a\beta}^f + e_{a\beta}^r$ )  
Fig. 5 Vector locus of converter output voltage

출력 전압을 350[V]로 유지하도록 제어하였을 경우 출력 전압이 일정하게 제어됨을 확인할 수 있었으며 리액터의 불평형에 대하여 보상이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 또한 제안된 제어방식에 의해 시스템 운전시 역률특성을 고찰하여 부하전류가 증가함에 따라 전원전류가 전원전압과 동상의 정현파로 개선되어 고품질로 유지됨을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

인버터를 구동하는 용도의 직류전원장치에 대한 제어 알고리즘 개발을 위하여 구동과 회생 기능을 갖는 전압형 PWM 컨버터에서 운전시 전원 및 전원측 리액터의 불평형으로 인하여 발생하는 시스템 불평형 현상을 보상하는 제어방법을 제안하였으며 다음과 같은 연구결과를 얻을 수 있었다.

1. 교류전원에 대하여 컨버터가 항상 평형상태를 유지하는 방법은 전류제어 루프에 의하여 리액터 불평형 상태

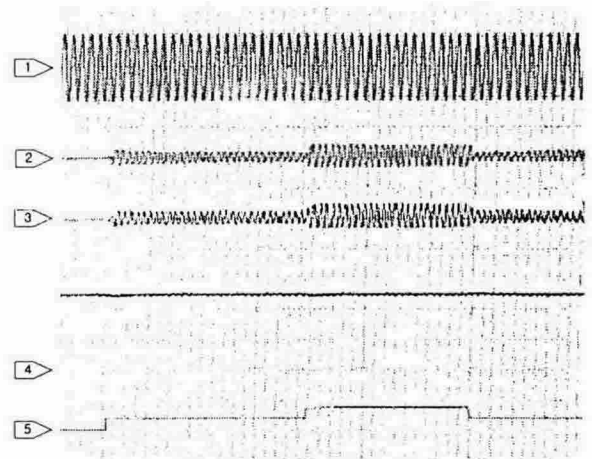


그림 6 부하 가변에 따른 시스템 과도응답특성  
Fig. 6 System characteristics of transient response by load variation ( $i_{dc} : 5A \rightarrow 10A \rightarrow 5A$ )  
ch 1 :  $v_{ac}$  (300V/div)      ch 2 :  $i_a$  ( 10A/div)  
ch 3 :  $i_c$  ( 10A/div)      ch 4 :  $V_{dc}$  (150V/div)  
ch 5 :  $i_{dc}$  ( 10A/div)      time base : 10msec/div

를 보상하는 방법을 사용하였으며, 설정전류에 대한 컨버터 전류의 오차인 정상분과 역상분을 0이 되도록 제어하여 전원측 리액터의 불평형현상에 대하여 안정된 평형제어가 됨을 확인할 수 있었다.

2. 전원측 리액터에 의한 불평형의 제어는 전력변환기의 구성면에 있어서 각상의 리액턴스가 같지 않은 누설 변압기 등의 사용이 가능하게 되었으며 제안된 전력변환기의 하드웨어와 제어 알고리즘은 장치의 소형화와 효율향상에 기여할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] Olorunfemi Ojo, Ishwar Bhat, "Influence of input supply voltage unbalances on the performance of AC/DC buck rectifiers" IEEE Transactions on Power Electronics, 77 7~784, 1994.
- [2] Prasad N. Enjeti, Shamin A. Choudhury, Herve Pouliquen, and Jean-Paul Louis, "A new control strategy to improve the performance of a PWM AC to DC converter under unbalanced operating conditions", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.X. No.3. October 1993.
- [3] Pascal Rioual, Herve Pouliquen, and Jean-Paul Louis, "Regulation of a PWM rectifier in the unbalanced network state using a generalized model", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 11, No. 3, MAY 1996.
- [4] Sung-Chan Ahn, Dong-Seok Hyun, "New Control Scheme of Three-Phase PWM AC/DC Converter without angle detection under the Unbalanced input voltage conditions", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 17 No5, September, 2002.