

위상 검출기 편차 보상 알고리즘을 이용한 PWM컨버터 성능개선

이근호*, 윤길문, 정연우, 김한중, 이제필

LG산전 빌딩시스템 연구소

A study of improving PWM converter performance using the compensation algorithm of phase detector deviation

G.H. Lee*, K.M. Yoon, Y.W. Jung, H.J. Kim, J.P. Lee

LGIS Building System R & D Dept.

Abstract

In the 3-phase PWM converter, accurate detection of the supplied voltage phase is very important. But a detecting circuit cannot avoid generating the deviation of phase detector so that we need to compensate it. In this paper, an accurate and simple compensating method of deviation of phase detector is proposed.

1. 서론

대부분의 AC-DC전력변환 시스템은 제어할 수 없는 다이오드 정류기 또는 위상제어 싸이리스터로 구성되어 진다. 그러나, 다이오드 정류기는 저차 고조파를 포함하고 있기 때문에 전원계통의 장애는 물론 역률도 비교적 좋지 않다.

최근 전원 고조파에 대한 규제와 에너지 절감의 필요성이 크게 대두됨에 따라 AC전원을 DC로 변환하는 컨버터는 다이오드 정류형에서 PWM제어식으로 급속히 대체되고 있다. PWM 컨버터는 전원단 전류의 THD 뿐만 아니라 회생운전이 가능하고 전원단 역률제어 측면에서 매우 우수하다.

PWM 컨버터는 전원단의 역률을 자유롭게 제어할 수 있는데, 역률을 "1"로 제어하기 위해서는 전원전압의 위상을 정확하게 검출해야만 가능하다. 그러나 위상검출회로의 부품오차 및 편차로 인하여 정확하게 위상을 검출하는데는 많은 어려움이 따른다. 특히 noise분제로 인하여 위상검출회로에 강한 low pass filter가 사용되고 높은 전압을 검출전압으로 낮추는 PT(Potential Transformer)

등은 검출기의 지연 뿐만 아니라 그 부품의 편차가 상당히 크게 발생한다.

위상검출기의 필터로 인한 위상지연은 기본적으로 보상하지만 검출기(트랜스) 및 수동소자(저항, 콘덴서)등의 부품편차를 정확하게 보정하지 않으면 역률 및 THD등에서 PWM 컨버터의 성능저하를 피할 수 없다. 특히 입력전압이 과도하게 상승하거나 PWM컨버터의 입력전압 사양을 광범위하게 사용할 때 전원전압의 위상오차가 존재하면 컨버터는 제기능을 수행할 수 없다.

전원전압의 위상을 검출하는 방법에는 Zero Crossing에 의한 방법, 전원전압을 A/D하여 계산하는 방법[2], PLL회로를 이용하는 방법, Sensorless에 의한 방법[1]등이 있으나 일반적으로 구현이 간단한 PLL법과 Zero Crossing에 의한 방법이 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 기본적으로 PWM 컨버터에 사용되고 있는 전압제어기, 전류제어기, 전류검출기를 이용하여 위상 검출기의 검출오차를 효과적으로 보상할 수 있는 방법을 제시한다.

2. 3상 PWM 컨버터

2.1 3상 PWM 컨버터

그림1에 3상 PWM 컨버터의 구조를 나타내었는데 전원전압의 위상을 검출하여 유효전력과 무효전력을 분리하여 제어하므로 우수한 역률 특성을 얻는다. 또한 모터가 발전 운전할 경우 발생하는 에너지를 전원단으로 회생하므로 에너지 손실

을 최소화하며, 또한 다이오드컨버터의 경우 회생 시 발생하는 에너지를 저항으로 소비할 때 발생하는 DC전압의 과도한 변화가 발생하지 않으므로 인버터의 전류제어 특성이 개선된다.

교류 전원이 3상 평형이고 그 크기가 E라고 하면 전원전압과 동기 되어 회전하는 d-q축으로 변환된 전압형 PWM 컨버터의 전압 모델은 식 (1)~(4)로 쓸 수 있다.[3]

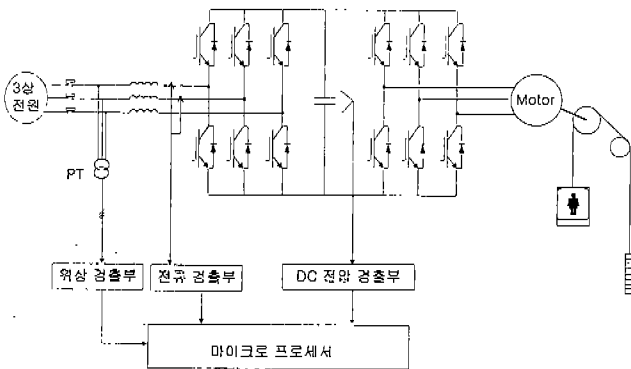


그림1. 엘리베이터 시스템 전력 변환 구조

$$V_{qe} = E_{qe} - (Ls + R)I_{qe} - \omega LI_{de} \quad (1)$$

$$V_{de} = (Ls + R)I_{de} + \omega LI_{qe} \quad (2)$$

$$C \frac{dV_{dc}}{dt} = I_i - I_l \quad (3)$$

$$V_{dc}I_i = \frac{3}{2} (V_{de}I_{de} + V_{qe}I_{qe}) \quad (4)$$

여기서, I_{qe} , I_{de} 는 동기 좌표계 상에서의 입력전류의 q축과 d축 성분, V_{qe} , V_{de} 는 동기 좌표계 상에서의 컨버터 출력전압, V_{dc} 는 직류 link의 전압, ω 는 전원의 각 주파수, L 은 전류 제어용 리액터의 인덕턴스를 나타낸다. 또한, I_i , I_l 은 DC link의 입출력 전류, C 는 DC link 콘덴서의 정전용량을 나타내고 이 방정식을 벡터로 표현하면 그림2 과 같이 나타낼 수 있다.[3]

전원전압과 동상인 q축을 유효전류 축으로 하면 전압제어기의 출력이 q축 전류제어기 지령치가 되고, d축을 무효 전류 지령치가 되도록 전류제어를 수행하므로써 DC link전압과 역률을 동시에 제어 할 수 있다.

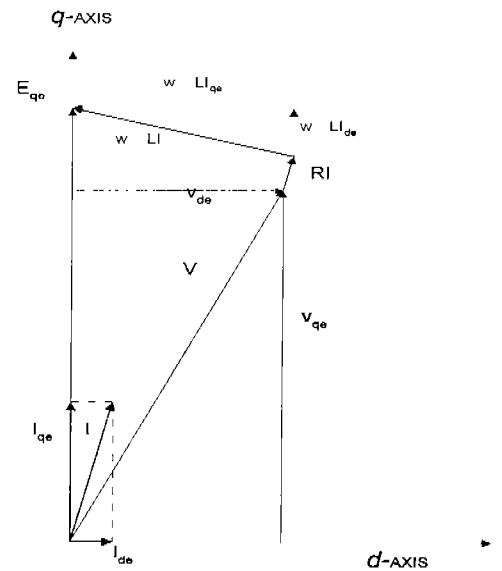


그림2. PWM 컨버터 벡터도

2.2 위상 검출기의 오차의 영향

컨버터의 전압과 역률제어를 위해서는 전원전압의 위상을 검출하거나 추정 해야 하는데, 위상 검출을 위해서는 전압검출기에 의해 전압을 Down해서 Zero Crossing하거나 A/D변환해야 하며, 전원에는 고조파 및 Noise에 의한 영향이 있으므로 검출기 자체에 저역 필터가 필수적이다. 위상 검출 경로상에는 수동소자로 인하여 약3~5%의 위상 검출 오차가 발생할 수 있다.

위상검출의 오차는 전원전압과 동기된 제어연산을 할 수 없으므로 전원전압의 역률이 저하되며, 전압전압의 상승시 일정 DC link전압에서는 컨버터 출력전압 부족현상으로 인하여 회생운전 특성이 나빠지고 전류의 THD 및 직류 link 전압 제어 특성이 나빠져 시스템의 신뢰성이 저하된다. 특히 위상이 전원전압 보다 앞서 계산될 경우는 식(1)의 wLI_{de} 의 값이 음이 되어 V_{qe} 값이 커지므로 전압 부족현상은 심화되어 그림3과 같은 전압지령과 전류파형이 발생되어 THD가 커진다. 그림3은 DC전압이 645V로 제어할 경우 440V전원이 투입될 때 컨버터의 스위칭 전압 지령과 전류 파형을 나타내었는데, 전압지령은 삼각파Peak치를 초과하여 Peak부에서 limit되었으며 이때 전류의 THD는 약 15%에 달한다.

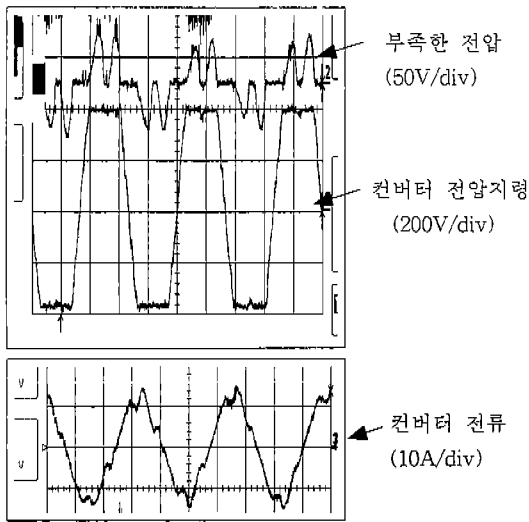


그림3. 전압부족시의 전압지령 및 전류파형

3. 위상오차 추정

3.1 무효전력과 위상지연의 관계

$$I_{qe_vdc} = I_{de} \cdot \sin \theta_{err} \quad (5)$$

$$I_{qe}^* = \frac{I_{qe_vdc}}{\cos \theta_{err}} \quad (6)$$

식(5)에서 I_{qe_vdc} 는 위상오차가 θ_{err} 일 경우 DC전압의 변동을 일으키는 전류가 된다. I_{qe}^* 는 I_{qe_vdc} 에 의하여 변동된 DC전압을 일정 전압으로 제어하기 위하여 전압제어기가 I_{qe}^* 의 전류지령을 발생하여야 한다.

따라서, d축 전류지령을 I_{de}^* 를 발생하면 q축 전류가 I_{de} 이 흐르게 되어 전압제어기는 일정 DC전압제어를 수행하기 위하여 I_{qe}^* 를 발생한다. 따라서, DC전압제어를 수행하면서 d축 전류지령을 발생시켜 제어를 수행하였을 때 소비하는 에너지가 없기 때문에 I_{qe}^* 가 Zero가 되어야 하고 이때의 위상이 전원전압의 위상과 일치하는 것으로 판단할 수 있다. 단 이 때의 DC link에서 부하 측으로 소모되는 에너지는 없다는 가정이 필요한데, DC분압 저항에서의 소비가 있지만 적은 량이므로 무시하기로 한다.

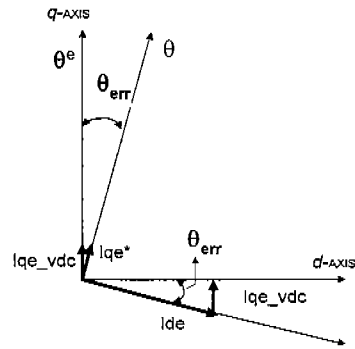


그림4. 위상 검출 오차가 있을 때 벡터도

3.2 위상지연 검출 알고리즘

본 연구에서는 위상검출기의 오차를 보완하기 위한 알고리즘으로 컨버터가 초기 운전을 시작하기 전에 미리 검출기의 지연을 검출할 수 있는 방법으로, 컨버터가 무부하인 상태로 운전을 하고 일정전압으로 승압된 상태에서 d축 전류지령을 발생하여 제어를 수행하고 이때 위상보상기(PI제어기)가 동작하여 전압제어기 출력인 I_{qe}^* 가 0이 되도록 θ_{err} 을 조정한다.

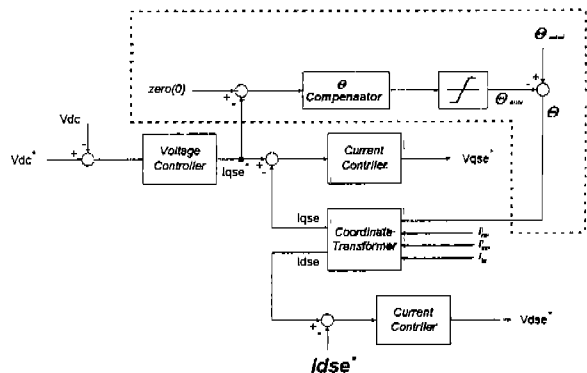


그림5. 위상 보상 알고리즘

3.3 Simulation

Matlab의 simulink를 이용하여 simulation 하였다. 위상검출 오차를 -15deg도로 하여 Simulation하였을 때 그림과 같이 전압제어기 출력인 I_{qe}^* 가 0으로 추종되면서 위상 보상 값이 -15deg로 관측됨을 알 수 있다.

표1. 컨버터 사양

항 목	사 양
DSP	TMS320C32
IGBT	IPM
리액터	3mH
컨버터 인터럽트	125uSEC

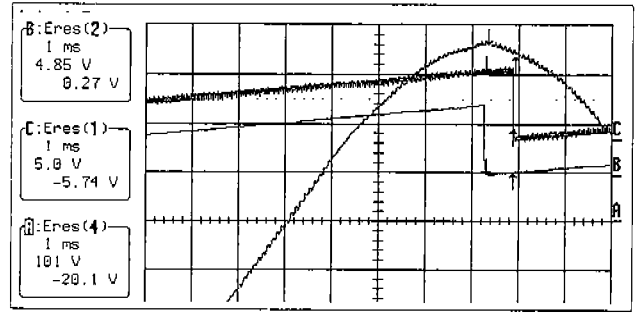


그림8. 보상전 위상각C, 보상후 위상각 B, 상전압 A

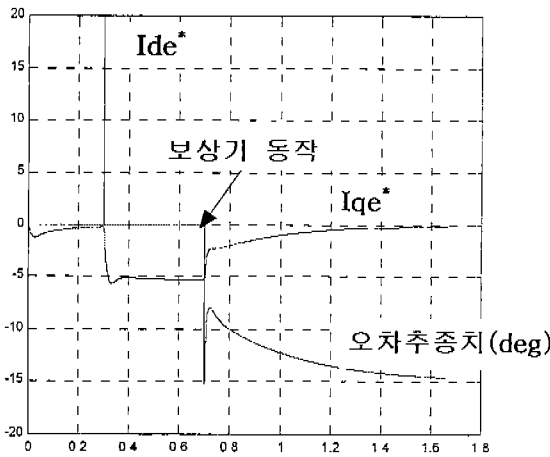


그림6. Simulation 결과

4. 시험결과

현재 LG산전의 인버터 에스칼레이터에 본 연구 결과를 적용하였다. 위상검출 방식은 PT를 통하여 전원전압을 낮추고 PCB상에서 RC필터를 사용하고 Zero Crossing을 검출하여 전원전압 위상으로 이용하는 방식이다. 이용된 인버터의 사양은 아래 표와 같다.

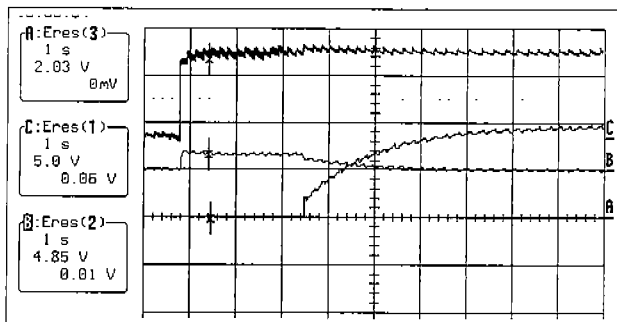


그림7. 위상 보상기의 추종 파형 (A: θ_{err} , B: I_{qe} , C: I_{de})

그림7은 d축 전류, q축 전류 및 위상검출 오차 추종 값을 나타내었는데 약 10.8deg의 추종 값을 나타내고 있다. 그림8에는 추종 값을 보상하였을 경우와 수동 보정을 하지 않은 경우의 위상을 전원전압과 비교하였는데 우수하게 보상됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 위상 검출의 오차를 보정할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 구현이 매우 간단하고, 종래의 가변저항에 의한 오차조정을 필요로 하지 않아서 매우 편리하였으며, 검출 정도는 DC전압 검출정도에 의존하여 약 1%이하로 줄일 수 있어서 효과적인 방법으로 판단된다. 본 알고리즘 적용결과 컨버터의 허용입력전압이 350V ~ 480V 까지 확장할 수 있었으며 전류THD 5% 이내 까지 성능을 확보할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] Youichi. Ito의 '直流電壓檢出器お 用いな い 三相 PWM ンバ-タの 制御', 平成6年 電機學會 産業應用部門 全國大會
- [2] 김경덕의, '電源高調坡의 影響お 最小化した PWM 콘바-타의 制御', 平成10年 電機學會 産業應用部門 全國大會
- [3] 김충혁의 '비선형 부하전류관측자를 이용한 전압형 컨버터의 고성능 전압제어', 전기학회 논문지