

왜곡된 전원 전압 하에서 단상 PWM 컨버터의 제어기법

안창현, 김상훈
강원대학교

Control of a Single-Phase PWM Converter under Distorted Source Voltage

Chang Heon Ahn, Sang Hoon Kim
Kangwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 왜곡된 단상 전원 전압 하에서도 교류 입력 전류를 정현적으로 제어할 수 있도록 하는 제어기법을 제안하였다. 단상의 물리량을 가상의 삼상 물리량으로 변환하여 이를 d q축 동기좌표계로 변환된 물리량으로 제어하는 동기좌표계 전류제어기법을 적용하였으며, 왜곡된 전원 전압에 의한 왜곡된 위상각 성분을 추출하여 이를 d q축 동기좌표계 지령전류에 보상하는 방법을 제안하였다. 제안한 기법으로 왜곡된 전원 전압 하에서도 교류 입력 전류의 고조파를 5%이내로 제한할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

1. 서론

전동기 가변속 구동이나 UPS 등의 많은 산업 시스템에서 AC/DC 전력변환장치는 필수적으로 요구된다. 이러한 AC/DC 변환장치로 기존에는 다이오드 정류기 또는 위상제어 정류기를 사용하였다. 하지만 다이오드와 위상제어 정류기를 사용하는 경우 교류 입력 전류가 돌입성 전류로 흐르게 되어 입력 역률의 저하와 전원 전류에 많은 고조파를 함유시키기 때문에 이를 개선하기 위한 해결책으로 입력 역률 제어와 동시에 직류 출력 전압의 제어가 가능하며 회생동작까지 가능한 양방향 PWM 컨버터의 사용이 증가하고 있다.^[1] 본 논문에서는 교류 입력 전류의 정현적인 제어뿐만 아니라 왜곡된 전원 전압 하에서도 교류 입력 전류의 고조파 저감을 위한 제어기법을 제안하였다. 기존의 단상 PWM 컨버터의 제어에서는 교류 물리량을 직접 다루었지만^[2] 제안한 제어기법은 교류 물리량이 아닌 가상의 d q축 물리량을 이용함으로써 3상 PWM 컨버터에서와 같이 동기좌표계 상에서 직류 물리량으로 제어하는 기법^[3]을 적용함으로써 왜곡된 전원 전압 하에서도 교류 입력 전류를 정현적으로 제어할 수 있도록 하였다.^[1]

2. 단상 PWM 컨버터의 동기좌표계 제어기법

2.1 단상 시스템에서의 가상의 d-q축 변환

본래의 3상 물리량에서 정지좌표계로 변환하면 d축과 q축은 서로 90°의 위상차를 가지므로 실제의 단상 입력 전압을 q축으로 기준하고 차단주파수에서 정확히 90°의 위상차를 갖는 APF(All Pass Filter)를 거친 출력이 가상의 d축으로 서로 90°

의 위상차를 갖는 물리량으로 변환한다.

2.2 단상 PWM 컨버터 제어

단상 PWM 컨버터의 동기좌표계 제어기법은 그림 1의 블록도와 같이 수행된다. 블록도에서 전압제어기의 출력은 전류제어기의 q축 동기좌표계 지령전류이고, 3상 PWM 컨버터와 마찬가지로 단위 역률 제어를 위해 d축 동기좌표계 지령전류를 0으로 제어한다.^[1] 이때 좌표 변환에 사용되는 제어위상각은 PLL(Phase Locked Loop)을 통해 구한다.

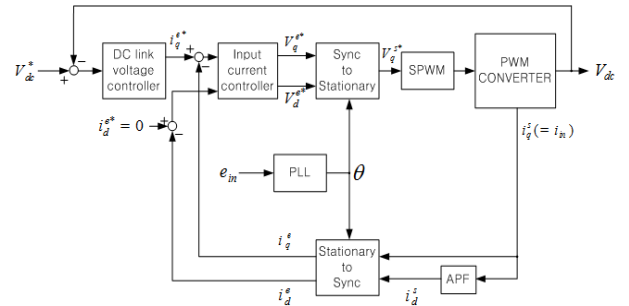


그림 1 단상 PWM 컨버터 제어 블록도
fig. 1 Block diagram of single-phase PWM converter control

2.3 단상 동기좌표계 PLL 기법

동기좌표계 PLL 기법을 사용하기 위해서는 적어도 90°의 위상차를 가지는 2상의 성분이 필요한데 단상 시스템에서는 이를 적용할 수가 없다. 그래서 단상물리량을 가상의 2상의 물리량으로 분리하여야만 동기좌표계 PLL 기법을 적용할 수 있다. 앞 절에서와 같이 APF를 이용하여 가상의 2상을 얻어 그림 2와 같은 동기좌표계 PLL기법으로 위상각을 얻는다.

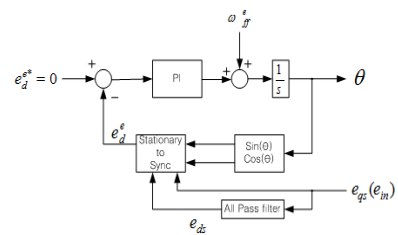


그림 2 단상 시스템에서 동기좌표계 PLL기법
fig. 2 Synchronous PLL method for a single-phase system

3. 왜곡된 전원 전압 하에서의 제어

그림 3에 왜곡된 전원 전압에서의 위상각과 교류 입력 전류가 보인다. 그림 3(a)와 같이 왜곡된 전원 전압에서 얻은 그림 3(b)와 같은 제어 위상각은 왜곡 성분을 포함하고 있고, 이러한 왜곡이 포함된 위상각으로 제어를 수행한다면 그림 3(c)와 같이 교류 입력 전류의 왜곡을 피할 수 없다.

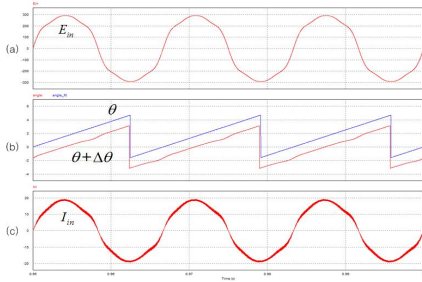


그림 3 왜곡된 전원 전압에서의 위상각과 교류 입력 전류
fig. 3 Current and phase angle under distorted source voltage

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 [1]의 기법을 이용한다. 왜곡된 위상각성분과 저역통과필터를 사용한 동기좌표계 PLL 기법으로 얻은 위상각성분으로 식 (1)과 같이 왜곡된 위상각을 추출하여 식 (2)와 같이 지령전류를 보상한다.

$$T(\theta + \Delta\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta + \Delta\theta) & \sin(\theta + \Delta\theta) \\ -\sin(\theta + \Delta\theta) & \cos(\theta + \Delta\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Delta\theta \\ -\sin\Delta\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_{d,com}^* \\ i_{q,com}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Delta\theta & \sin\Delta\theta \\ -\sin\Delta\theta & \cos\Delta\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

이러한 전류 보상을 추가한 단상 PWM 컨버터의 제어 블록도가 그림 4에 보인다.

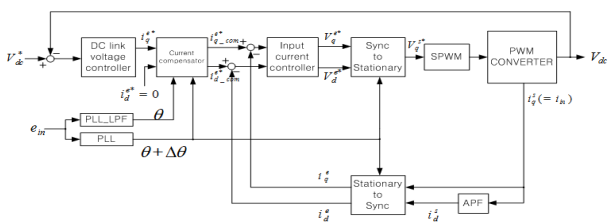


그림 4 제안된 단상 PWM 컨버터의 제어 블록도
fig. 4 Block diagram of the proposed single-phase PWM converter control scheme

4. 시뮬레이션

제안한 기법의 타당성을 확인하기 위해 시뮬레이션 툴인 PSIM의 C_block을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 폴 브릿지 컨버터의 파라미터는 인터페이스 인덕터 2.5[mH], 직류단 커패시터 2200[uF], 스위칭 주파수 10[kHz], 3[kW]의 부하를 사용하였고, 직류 출력 전압은 340[V]로 제어하였다. 그림 5는 왜곡된 전원 전압에서 보상된 교류 입력 전류와 부하 변동에 대한 응답 특성을 나타낸다. 그림 5(a)의 왜

곡된 전원 전압은 3차, 5차, 7차로 각각 10%, 6%, 2%로 상정하였다. 이때 입력 전원 전압의 THD는 11.84%이다. 이러한 왜곡된 전원 전압 하에서 보상이 없는 경우 교류 입력 전류의 THD는 8.05%(그림 3(c))이지만 제안한 기법을 적용하는 경우 그림 5(b)와 같이 3.18%로 감소함을 확인하였다. 또한 그림 5(c)와 (d)에서 보이듯이 3[kW]에서 2[kW]로의 부하변동 시에도 직류 출력 전압이 잘 제어됨을 확인하였다.

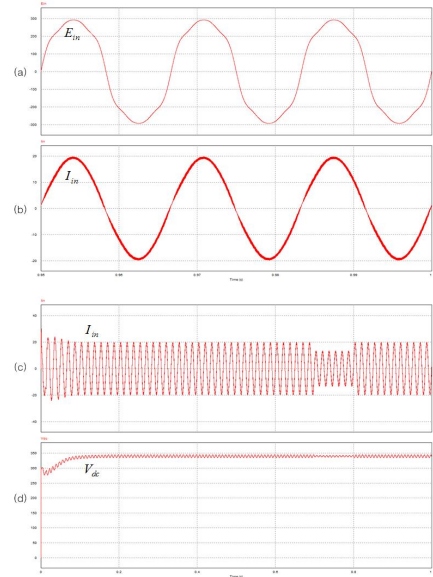


그림 5 왜곡된 전원 전압과 보상된 교류 입력 전류와 부하변동에 대한 응답특성
fig. 5 Compensated current under distorted source and dynamic characteristic for the load change

5. 결론

본 논문은 단상 PWM 컨버터의 제어를 3상 PWM 컨버터와 유사하게 동기좌표계에서 제어하여 왜곡된 전원 전압 하에서 교류 입력 전류의 THD를 IEEE Std. 519 규정인 5%이하로 저감하는 기법을 제안하였고 시뮬레이션을 통해 교류 입력 전류의 THD가 3.18%로 저감되는 것을 확인하였다. 또한 부하변동에도 우수한 동특성을 갖는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Nae Chun Park, Hyung Soo Mok, Sang Hoon Kim, "Reduction of Input Harmonics for Three Phase PWM Converter Systems under Distorted Utility Voltage", *Journal of Power Electronics*, Vol. 10, No. 4, pp. 428-433, Jul., 2010.
- [2] Thanh Hai Nhuyen, 이동춘, 이석규, "왜곡된 전원 전압 하에서 Composite 관측기를 이용한 단상 PWM 컨버터의 정현파 전류 제어", *전력전자학회 논문집*, 제16권, 제5호, 2011. 2, pp. 466-476.
- [3] Richard Zhang, Mark Cardinal, Paul Szczesny, Mark Dame, "A grid simulator with control of single phase power converters in D Q rotating frame", in *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf.* 2002. 2, pp. 1431-1436.