

산업용 인버터의 출력전압 보상방법

정세종, 김승환
현대중공업

Voltage Compensation Method of Industrial Inverter for Motor Control

Se-Jong Jeong, Seung-Hwan Kim
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

산업용 인버터에서 출력전압은 소자의 전압강하와 데드타임에 의해 왜곡이 발생되며, 이로 인해 출력 전류의 품질을 저하시키고 전동기 축 토크의 진동을 유발한다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 출력전류에 따라 출력전압을 보상하여야 한다. 하지만 임의의 스위칭 주파수에서 측정된 전압왜곡량으로 보상량을 결정할 경우, 스위칭 주파수가 변경되면 전압 왜곡이 커지게 된다. 따라서, 소자의 전압강하와 데드타임에 의한 전압 왜곡은 스위칭 주파수에 따라 적절히 변경되어야 한다. 본 연구에서는 인버터 전력소자의 전압강하량과 데드타임량을 개별 측정하여 보상하는 방법을 제시하였고, 그 유효성을 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

산업용 인버터는 암단락을 방지하기 위한 데드타임과 전력소자의 전압강하 그리고 DC전압의 변동에 의해 출력전압에 왜곡이 발생한다. 이러한 전압 왜곡은 오픈루프 속도제어시 출력전류와 토크의 품질을 떨어뜨려 진동을 발생시키며, 센서리스 속도제어 방법에서는 속도 추정 오차를 증가시키는 원인을 제공하여 저속 운전 특성을 나쁘게 한다.

이러한 전압왜곡에 대한 보상방법으로 오프라인에서 측정된 보상량을 사용하거나, 전류의 고조파성분을 검출하여 온라인으로 보상하는 방법들이 있다.^[1-2]

본 논문에서는 운전조건에 따라 스위칭 주파수가 변동될 수 있는 산업용 인버터에서 데드타임과 전력소자 전압강하에 의한 전압왜곡에 대해 보상하는 방법을 소개하고자 한다.

2. 본문

2.1 전압 왜곡량 측정

출력전압을 보상하기 위해서는 인버터의 전압 왜곡량을 측정하여야 한다. 이 왜곡량은 두번의 DC전류를 인가하여 전력소자 턴온 저항값, 도선 저항을 포함한 시스템 저항값을 구한 후 전류 제어에 필요한 전압 기준값으로부터 구해질 수 있다.

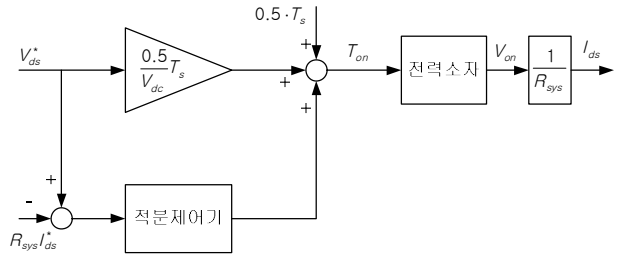


그림 1. DC인가를 통한 보상시간 측정 블록도

$$\Delta V_{an} = V_{an_ref} - R_{system} \cdot I_{as} \quad (1)$$

0보다 큰 DC전류가 A상에 흐르면 턴온시간과 턴오프시간의 차이가 무시할 만큼 작다고 가정할 수 있고, 전력소자의 저항성분은 시스템 저항에 포함되므로 a상 폴전압의 왜곡량은 다음 식과 같이 온드랍과 데드타임의 함수로 간략화 할 수 있다.

$$\Delta V_{an} = V_{drop} + \frac{T_{dead}}{T_s} (V_{dc}) \quad (2)$$

여기에서 V_{drop} 은 IGBT와 다이오드 전압 강하량의 평균값이다. 식 (2)로부터 전력소자 전압 강하량과 데드타임을 각각 구하기 위해서는 최소 두 개의 스위칭 주파수에서 DC전류 인가를 통해 전압 왜곡량을 측정하여야 한다.

2.2 전압 강하량과 데드타임량 계산

2번의 시험으로부터 데드타임과 전력소자 전압 강하량을 계산하는 경우, 측정오차로 인하여 오차가 커질 수 있다. 제안된 방법에서는 이러한 측정오차를 줄이기 위해 5개의 스위칭 주파수를 자동으로 변경해가며 전압왜곡량을 측정하고, 그 결과로부터 최소자승법을 이용하여 전압강하량과 데드타임량을 계산한다. 식 (2)로부터 전압왜곡량을 보상해야 하는 시간의 함수로 표현하면 식 (3)와 같이 표현 가능하며, 여기에서 T_{dead} 는 보상량을 의미하며, 실제값의 1/2이다. 그리고, 식 (4)과 5번의 시험값으로부터 왜곡량을 계산할 수 있다.

$$T_{comp} = T_{dead} + \frac{V_{drop}}{V_{dc}} (T_s) \quad (3)$$

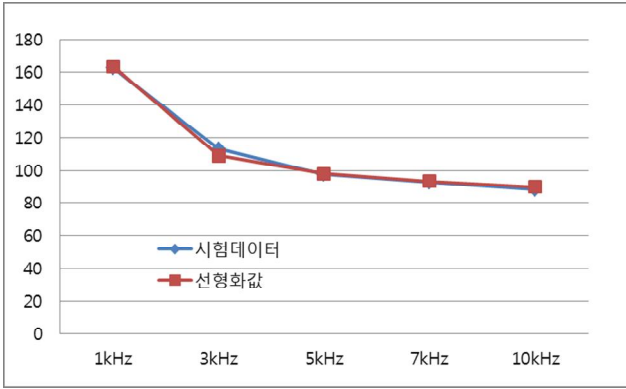


그림 2. 스위칭 주파수별 턴온시간 보상량 추이

그림 2는 스위칭 주파수를 변경시켜가며 측정한 보상시간들과, 최소자승법을 통해 얻은 함수로부터 계산된 값을 보여주고 있다.

시험 데이터로부터 전압강하량을 보상하기 위한 시간 보상량이 스위칭 주기에 비례하여 변동되고 있음을 알 수 있다. 이는 임의의 스위칭 주파수에서 구한 보상량으로 일정하게 보상하는 경우 스위칭 주파수가 변동하면 전압 왜곡이 심해지는 것을 의미한다.

$$Y = X \cdot A$$

$$A = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (4)$$

여기에서,

$$Y = \begin{bmatrix} Tc_{1k} \\ Tc_{3k} \\ Tc_{5k} \\ Tc_{7k} \\ Tc_{10k} \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} Ts_{1k} & 1 \\ Ts_{3k} & 1 \\ Ts_{5k} & 1 \\ Ts_{7k} & 1 \\ Ts_{10k} & 1 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} Vdrop/Vdc \\ Tdead \end{bmatrix}$$

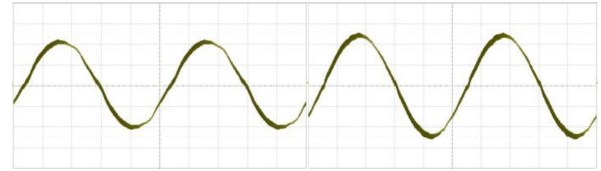
Tc : 스위칭 주파수별 시간 보상량

Ts_1k~Ts_10k : 스위칭 주파수별 타이머 값

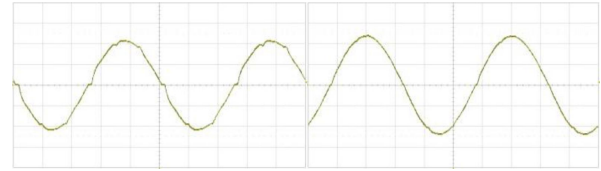
2.3 시험결과

제안된 방법을 검증하기 위해서 7.5kW-220V 인버터와 전동기를 사용하여 오픈루프(V/F)로 2Hz 무부하 운전을 실시하였다. 기존방법과 제안된 방법에서의 전압보상은 전류극성에 따라 소자 턴온 시간에 일정량을 가감하고, 전류의 크기가 작은 구간에서는 전류 크기에 비례적으로 보상량을 줄여주는 방식을 사용하였다. 단 제안된 방식에서는 운전 전 전압강하량과 데드타임량을 스스로 측정하여 운전 중에 스위칭 주파수에 따라 보상시간이 변동되도록 하였고, 기존방식에서는 인버터에 설정된 기본값으로 일정하게 하였다.

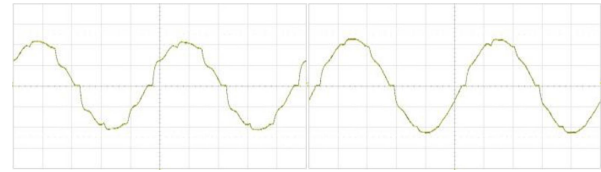
그림 3은 기존방법과 제안된 방법에서의 전류파형을 보여주며, 그림 4에서 두 시험 결과의 전류 THD를 보여주고 있다. 시험 결과에서 기존의 방법에 비해서 전류파형의 왜곡이 줄어들었음을 알 수 있고, 이는 제안된 방법에서의 전압 왜곡량이 줄어들었음을 의미한다. 여기에서 출력전류의 THD값은 1kHz로 샘플링된 전류 데이터를 이용하여 PC에서 250Hz(125차)까지만 계산하여 얻은 결과값이다.



(a) 1kHz



(b) 5kHz



(c) 10kHz

그림 3. 기존 (좌측)과 제안된 방법(우측)의 전류파형

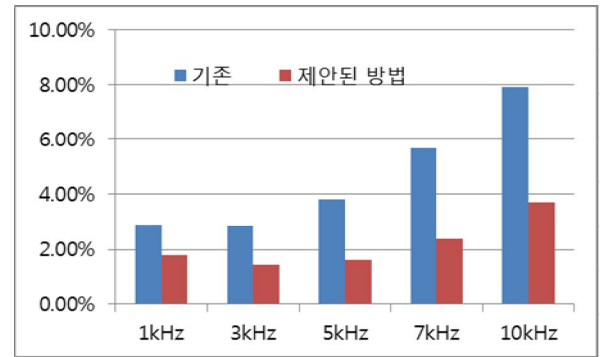


그림 4. 기존과 제안된 방법에서의 전류 THD 비교

3. 결론

본 논문에서는 전동기 구동용 인버터의 출력 전압보상을 위해 DC전류인자로부터 시간 보상량과 전압강하량을 각각 측정하여 보상하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 실험과 THD 분석을 통해 검증되었으며, 스위칭 주파수가 사용자에게 의해 변동되거나 자동 캐리어 조정 기능이 있는 인버터에 효과적인 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 류호선, 김봉석, 이주현, 임익현, 황선환, 김장목 "전압형 PWM 인버터에서의 새로운 데드 타임 보상 기법", 전력전자학회 논문지, Vol. 11, No. 5, pp. 395-403, 2006.10
- [2] Frede Blaabjerg, John K. Pedersen, Paul Thøgersen, "Improved Modulation Techniques for PWM-VSI Drives", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 1, pp. 87-95, Feb. 1997
- [3] 설승기, "전기기기 제어론", 도서출판 브레인 코리아, 2002.