

데드타임 보상 전압 선정에 대한 연구

주재연, 최승철, 이학준, 홍찬욱, 김영민
LS산전 연구소

A Study for Selecting Dead Time Compensation Voltage

Jaeyeon Ju, Seung-Cheol Choi, Hak-Jun Lee, Chanook Hong and Young-Min Kim
LSIS R&D Center

ABSTRACT

일반적으로 산업체에서 사용되는 전압형 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터는 2개의 스위칭 소자가 직렬 연결된 단상 하프 브릿지 회로를 기본 회로로 사용한다. 보통 극(pole), 암(arm) 또는 레그(leg)라 불리며 상보적으로 스위칭한다. 하지만 게이팅 신호 전달의 시지연과 스위치의 온-오프 시간 차이에 의해 두 스위치가 동시에 켜지는 단락 사고를 방지하기 위해 데드 타임을 사용한다. 데드 타임은 직렬 연결된 두 스위치를 동시에 끄으로써 인버터의 안정적인 동작을 보장하지만 인버터 출력 전압 제어가 불가능하여 전압 및 전류 왜곡과 소음, 진동을 야기한다. 본 논문에서는 데드 타임 보상을 위한 적절한 전압 선정 방법에 대해 알아본다. 데드 타임 보상 전압 선정을 위해 부하 전류의 6고조파 성분을 추출, 비교하여 적절한 데드 타임 보상 전압을 선정하였으며 실험을 통해 그 유효성을 검증하였다.

1. 서론

산업용 전동기 구동에 주로 사용되는 인버터의 경우 한 레그 내에 2개의 스위치가 직렬로 연결되어 있다. 단상 하프 브릿지 인버터의 경우 두 개의 레그에 존재하는 스위치의 온(on), 오프(off) 상태에 따라 출력 전압의 크기 및 극성이 결정된다. 이 때 한 레그의 스위치 2개가 동시에 도통되는 경우 스위치 단락 사고가 발생하여 인버터 고장을 유발한다. 따라서 각 상의 단락을 방지하기 위해 데드 타임을 사용한다. 데드 타임 동안 두 스위치는 모두 오프 상태이므로 인버터의 출력 전압 제어가 불가능하다. 따라서 실제 인버터의 출력 전압은 데드 타임 동안 역병렬(free-wheeling) 다이오드에 흐르는 전류의 방향에 따라 전압 오차가 발생하고 이로 인해 전류 왜곡, 소음, 진동 등의 문제가 발생한다. 이러한 데드 타임은 운전 주파수와 출력 전압이 작을수록 영향이 크다.

본 논문에서는 데드 타임 보상을 위한 적절한 전압 선정 방법에 대해 알아본다. 특히 저속 운전 영역에서 운전 특성을 개선하고자 적절한 보상 전압 선정을 위한 시퀀스(sequence)를 제안한다. 또한 스위치 특성에 의한 영전류 클램핑(clamping) 현상 또한 보상 전압을 사용하여 운전 특성을 개선한다. 적용한 데드 타임 보상 기법은 실험을 통해 그 유효성을 검증하였다.

2. 데드타임 보상 전압 선정

데드 타임 보상을 위해 전류의 순시 측정치를 기반으로 전류 샘플링 방법을 고려하여 출력 전압을 합성한다. 더블 샘플링의 경우 스위칭 순서에 따라 온, 오프 시퀀스를 구분하여 전류 방향에 따른 데드 타임 보상을 수행한다. 전류가 양의 방향인 경우 온 시퀀스에서 게이팅 시점을 앞으로 당겨 데드 타임 구간 동안 지령 전압과 동일한 출력 전압이 합성되도록 한다. 전류가 음의 방향인 경우에는 오프 시퀀스의 게이팅 시점을 앞으로 당겨 동일한 효과를 낸다. 싱글 샘플링의 경우에는 스위칭 시퀀스를 구분하지 않고 방향에 따라 데드 타임을 보상하여 스위칭 한 주기 동안 평균적으로 출력 전압이 지령 전압과 동일하도록 합성한다.

부하 전류가 매우 작은 운전 영역에서는 스위치의 기생 캐패시턴스에 의한 영 전류 클램핑 현상이 발생한다. 이 때 발생하는 전압 오차는 데드 타임 구간에서 스위칭 시점을 조정하여 스위칭 한 주기 동안 지령 전압과 출력 전압이 동일하도록 만들어 보상한다. 마찬가지로 더블 샘플링 시에는 스위칭 순서와 전류 방향을 고려하며 싱글 샘플링 시에는 전류 방향만 고려한다.

데드 타임 보상에 필요한 보상 전압을 선정하기 위해 지령 주파수와 동기된 좌표계의 부하 전류의 6고조파를 이용한다. 지령 주파수와 동기된 좌표계는 본 논문에서는 동기 좌표계로 정의한다. 6고조파를 추출하기 위해 통신에 사용되는 헤테로다인(heterodyne)과 유사한 방법을 사용한다. 주파수가 다른 두 교류 신호를 혼합하여 다른 주파수 신호를 생성하는 것으로 삼각함수를 사용하여 동기 좌표계 상의 6고조파를 계산할 수 있다. 6고조파를 포함한 동기 좌표계의 d축 전류에 6고조파의 주파수를 곱하고 저역 통과 필터를 사용하여 기본파 성분을 제거한다. q축도 동일하게 계산하여 6고조파의 절대값을 계산할 수 있다. 그림 2.1은 부하 전류의 6고조파 추출방법에 대한 블록도를 나타낸다.

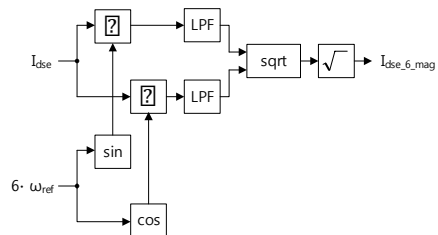


그림 2.1 부하 전류의 6고조파 추출 블록도

그림 2.2는 보상 전압 선정 과정을 위한 과정을 나타낸 순서도다. 먼저 V/f 또는 벡터제어를 전류의 6고조파 성분이

두드러지는 저속의 운전 주파수에 적용하여 무부하 운전한다. 이 때 영전류 클램핑 보상 전압과 전류 방향을 고려한 데드타임 보상 전압을 찾는다.

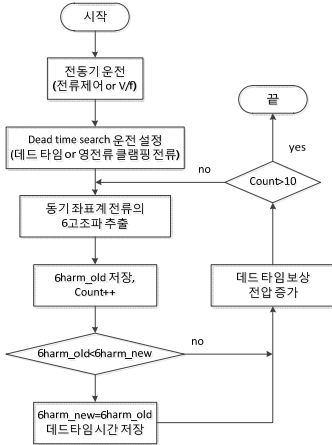


그림 2.2 데드 타임 보상 전압 선정 순서도

3. 실험 및 실험 결과

제안한 데드타임 보상 전압 선정의 유효성을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 전동기 정격은 3.7kW이고 운전 주파수는 3Hz이다. 데드 타임에 의한 동기 좌표계 6고조파는 정지 좌표계에서 5와 7고조파로 나타나므로 데드 타임에 대한 영향은 5와 7 고조파를 측정하여 확인하였다. 그림 3.1과 3.2는 3kHz의 스위칭 주파수에서 데드 타임 보상 전압 제안한 방법을 이용하여 구한 데드 타임 전압을 보상하였을 때 효과를 나타낸다.

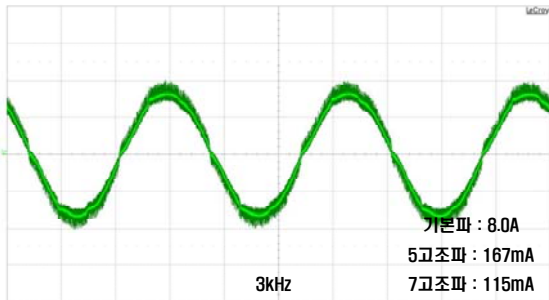


그림 3.1 데드 타임 보상 전 V/f운전의 전동기 상전류

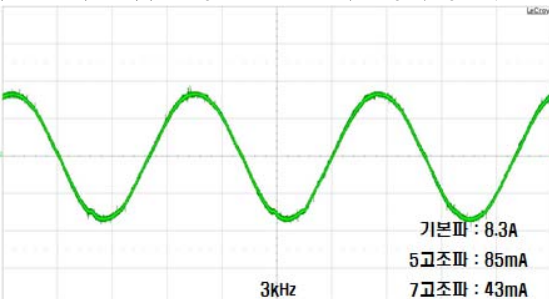


그림 3.2 제안한 데드 타임 보상 시 V/f운전의 전동기 상전류

실험 결과와 같이 제안한 데드 타임 보상을 적용한 경우 데드 타임 보상을 적용하지 않은 경우보다 5, 7 고조파의 크기가 감소하며 전 고조파 왜율(Total Harmonic Distortion: THD)이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 데드 타임 보상 전압 선정 방법을 제안하고 실험을 통해 유효성을 검증하였다. 제안한 방법을 이용하여 찾은 보상 전압을 데드 타임 보상에 적용한 경우 데드 타임 보상 방법을 적용하지 않았을 때에 비해 기본파 성분의 크기는 비슷하지만 고조파의 크기가 감소하는 것을 확인하였다. 제안한 방법을 범용 인버터의 초기 조정 작업에 적용할 경우, 인버터의 전압 비선형성을 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] 전기기기제어론, 홍릉과학출판사, 2009.
- [2] S.H. Hwang, and J.M. Kim, "Dead time compensation method for voltage-fed PWM inverter", IEEE Trans. Energy Conv., vol. 25, no. 1, pp. 1-10, 2010.