

데드타임 보상 알고리즘의 범용 인버터 적용

정세중, 김성기, 김승환, 신현주, 한기준, 김명찬, 이선재
현대중공업 기계전기연구소

Application of the dead time compensation algorithm for a low-cost general purpose inverter

S.J. Jeong, S.K. Kim, S.H. Kim, H.J. Shin, K.J. Han, M.C. Kim and S.J. Lee
Electro-Mechanical Research Institute of Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

In a general purpose inverter, a dead-time compensation strategy is very important for reducing torque ripples and acoustic noises of motors. However, in the case of small capacity inverter, the accurate dead-time compensation is hard to be obtained because a removal of the switching noise in a feedback current signal is difficult on condition of low-cost implementation. In this paper, the operation characteristics of the general purpose inverter applied the dead time compensation algorithm using an instantaneous back calculation of the phase angle of the current are presented.

1. 서 론

인버터에서 데드타임은 소자단락을 막는 필수적인 요소이지만 출력전압을 왜곡시킴으로써 전동기의 토크맥동과 소음을 초래하며, 특히 작은 전압이 출력되는 저속에서 이러한 왜곡현상은 더욱 심하게 된다. 특히 Treadmill과 같은 부하에서는 저속 운전시 진동이 적어야 되기 때문에 데드타임 보상은 인버터의 성능에 중요한 역할을 한다. 그리고, 이러한 전동기의 토크맥동이나 소음을 줄이기 위해서는 전류의 극성에 맞추어 전압을 보상하는 방법이 일반적이지만 저가로 구현되는 범용의 소용량 인버터에서는 전류신호에 섞인 노이즈를 충분히 제거하지 못하여 적절한 데드타임 보상이 어렵게 된다.

본 논문에서는 기 연구된 데드타임 보상기법중 저가의 인버터에서 구현될 수 있는 알고리즘을^[1] 범용인버터에 적용하여 그 시험 결과를 기술하였다.

2. 데드타임 보상 알고리즘

2.1 기존의 데드타임 보상방법¹

인버터의 출력전압은 각 상의 위쪽과 아래쪽의 상보적인 스위칭에 의해 정해진다. 만약 각 상에서 위쪽 스위치의 턴오프 지령과 동시에 아래쪽 스위치의 턴온 지령을 만들거나 그 반대의 경우에 실제 게이팅 신호 전달에서의 시지연의 차이와 스위치의 온-오프 시간의 차이로 인하여 두 스위치가 동시에 도통되어 단락사고를 일으킬 위험이 있다. 그러므로 그림 1에서와 같이 각상에서 한 상의 스위치의 턴오프가 보장되는 일정시간 경과 후에 그 상의 다른 스위치를 턴온하도록 제어한다. 이러한 턴오프가 보장되는 일정시간을 데드타임이라고 한다. 데드타임 동안에는 한 상의 위쪽과 아래쪽의 스위치가 동시에 오프되어 있으므로 일시적으로 제어 불능 상태가 되며, 이 순간 출력전압은 전류의 양과 극성에 따라 다르게 나타난다. 이러한 이유로 전압 지령치와 실제 인버터 출력 전압은 다르게 된다.

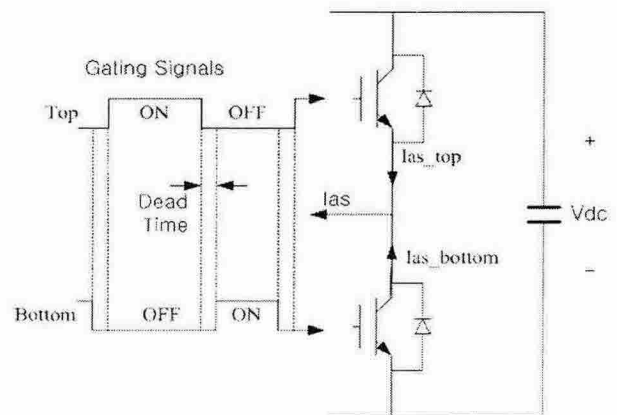


그림 1 스위칭 소자의 구성 및 턴온 신호
Fig. 1 One Arm of the PWM Inverter and Gating Signal

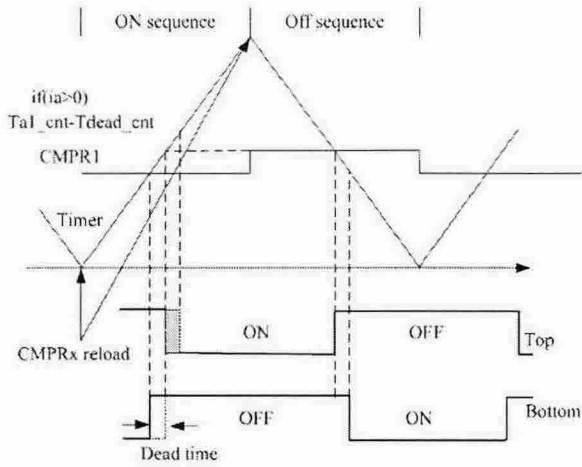


그림 2 양의 전류에서 시퀀스별 데드타임 보상방법
Fig. 2 Dead time compensation method with positive current

데드타임동안 출력되는 상전압은 상전류에 의해 결정되는데, 상전류가 양의 방향일 때는 아래쪽 다이오드가 도통되어 인버터 출력 전압은 음이 되고, 상전류가 음의 방향일 때는 그 반대가 된다. 따라서 데드타임에 의한 전압왜곡을 보상하기 위해서는 출력 전류의 부호를 판별하는 알고리즘이 필수적이다.

그림 2는 온-오프 시퀀스별로 전류의 부호를 판별하여 데드타임을 보상하는 일반적인 보상방법을 도시한 것이다. 이 방법은 턴온 시퀀스에서 양의 전류가 흐를때 감소되어지는 턴온 시간만큼을 보상하며 턴오프 시퀀스에서는 온-오프타임의 변화가 없으므로 보상하지 않는다. 이러한 방식은 10kHz이상의 스위칭이 요구되는 응용분야에서 저가의 하드웨어로 구현되기 어렵다.

따라서 범용인버터에서는 PWM 한주기 동안의 전압을 한번만 제어하는 방식이 주로 사용되며, 데드타임 보상은 시퀀스별로 수행되지 못하게 되어, 그림 3과 같이 전류부호에 따라 PWM 한 주기내의 평균 턴온타임을 보상하게 된다.

하지만 소용량의 범용 인버터에서는 공간상의 제약이나 가격적인 요인으로 선트저항에서 전류신호를 받아들일 경우 전류신호에 PWM 노이즈가 많이 섞여 들어올 수 있다. 이러한 노이즈에 대한 내성을 높이기 위해 하드웨어 혹은 소프트웨어로 저역통과 필터를 구현할 수 있는데 상전류를 직접 필터링 할 경우 출력주파수에 따른 위상오차의 변화 때문에 소프트웨어로 주파수에 맞게 적절히 위상보정을 해주어야 되는 구현상의 어려움이 있다.

2.2 전류 부호 판별 알고리즘 및 영전류 클램핑 보상

제안된 알고리즘은 필터링에 의한 위상변화를 없애기 위해 동기좌표계로 변환된 직류전류값에 저역통과 필터를 사용한다.

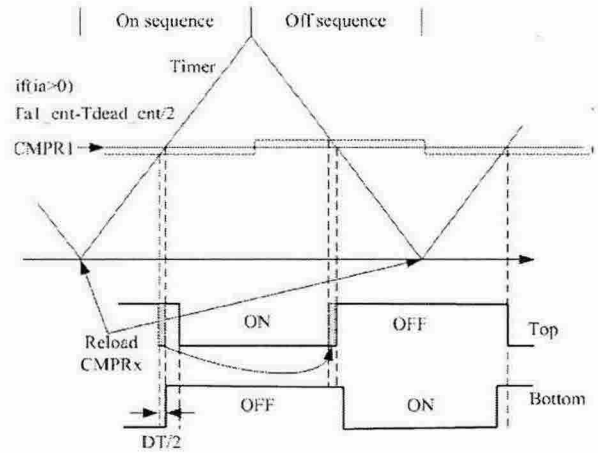


그림 3 범용 인버터에서의 데드타임 보상
Fig. 3 Dead time compensation method with positive current in general purpose inverter

그리고 필터링된 전류값을 다시 정지좌표계로 변환하여 데드타임 보상을 구현한다. 그림 4는 전류부호 판별을 위한 저역통과 필터 사용을 그린 블록도이다.

블록도에서 3상에서 2상 직류값으로 변환하는 블록은 일반적인 용도의 전류 계산 및 제어를 위해 기존의 루틴에 포함되어 있으므로 새로 추가되는 계산은 저역통과 필터 2개와 2상/3상 변환블럭으로 모두 곱셈과 덧셈으로 구해질 수 있으므로 계산량이 크게 증가하지 않는다.

그리고, 데드타임동안 전류가 0부근이 될 경우 스위칭 소자의 기생 커패시턴스 성분으로 인하여 데드타임동안 출력 상전압이 0.5Vdc 혹은 -0.5Vdc 라고 가정하고 보상할 경우 전압이 역보상 되어 전류가 0으로 고착되는 현상을 보인다. 따라서 전류가 일정크기 이하에서는 전류의 크기에 따라 보상을 해주어야 된다.^{[2][3]}

당사의 인버터에 적용된 개선안은 이러한 영전류 클램핑 현상이 시작되는 전류의 크기 및 보상량을 시험적으로 구하여 전류의 크기에 따라 보상량을 계산하였다.

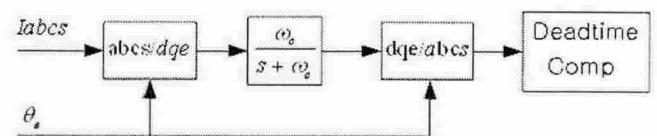


그림 4 d-q변환을 이용한 상전류의 필터링 블록도
Fig. 4 Block diagram of current filtering

3. 실험 결과

이상의 데드타임 보상 알고리즘은 2.2[kW], 220V 전동기에서 시험되었으며, 전동기 상수는 표. 1과 같다.

표 1 시험 전동기의 정수

Table 1 Experimental motor parameters

전동기 정수	값
Rs	0.544[Ω]
Rr	0.498[Ω]
Ls	75.7[mH]
Lsigma	6.68[mH]

그림 5와 그림 6은 운전주파수 지령값이 2Hz일 때, 기존 제어 알고리즘과 개선된 알고리즘에 의한 상전류파형을 보여주고 있다. 그림 5의 전류파형은 0을 지날 때와 다른 상이 0을 지날 때 잘못된 데드타임 보상에 의해 비선형성이 보이고 있다. 그림 6은 d-q필터링을 사용하여 데드타임 보상을 구현했을 경우의 전류파형으로 전류왜곡현상이 현저히 개선되었음을 알 수 있다. 그림 7은 운전 주파수 지령이 60Hz일 경우의 전류파형으로, 높은 주파수에서도 데드타임 보상이 잘 되고 있음을 알 수 있다.

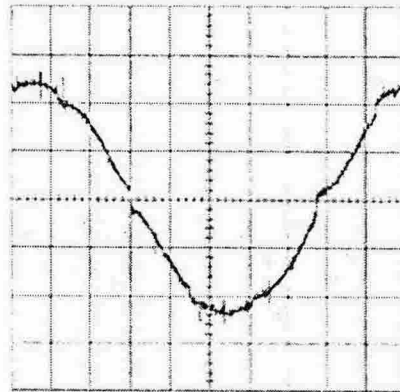
4. 결론

전동기 부하에서 출력전류의 왜곡은 곧 토크의 진동과 소음의 원인이 되므로 인버터 출력전압 및 전류의 왜곡을 방지하는데 있어 데드타임보상은 필수적인 요소이다. 저가의 소용량 인버터에서 피드백되는 전류신호의 노이즈는 데드타임보상을 어렵게 만들며, 일반적인 저역통과 필터를 사용할 시 전류신호의 시간지연 등에 의해 데드타임보상의 효과가 떨어지게 된다. 본 논문에서는 디지털 저역통과 필터를 동기속도로 좌표 변환된 상전류치의 직류값에 적용함으로써 정상상태시 시지연이 없고 노이즈 내성이 강한 데드타임보상 기법을 구현하였다.

본 논문은 Treadmill 부하에서 진동 및 소음을 저감시키기 위해 수행되었고 당사 소형 인버터의 동작 성능을 향상시키는 데에 사용되었다.

참고 문헌

- [1] Alfredo R. Munoz, A.Lipo, "On-line Dead-Time Compensation Technique for Open-Loop PWM-VSI Drives", IEEE TRANS. on PE, 1999.
- [2] 최중우, 설승기, "A new compensation strategy reducing voltage_current distortion in PWM VSI systems operating with low output voltages", IEEE TRANS. on IA 1995.
- [3] 설승기, "전기기기 제어론", 브레인 코리아, 2002.

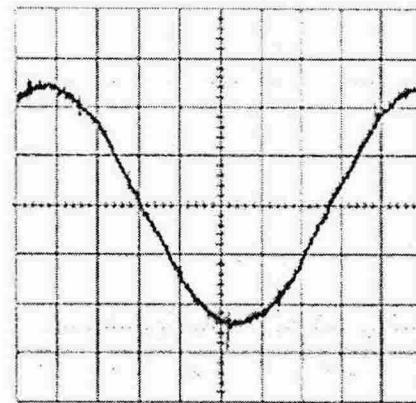


고정자전류.
2.5A/div.

50m sec/div

그림 5 기존제어기의 출력전류(2Hz 지령)

Fig. 5 Output Current with conventional inverter(2Hz Ref.)

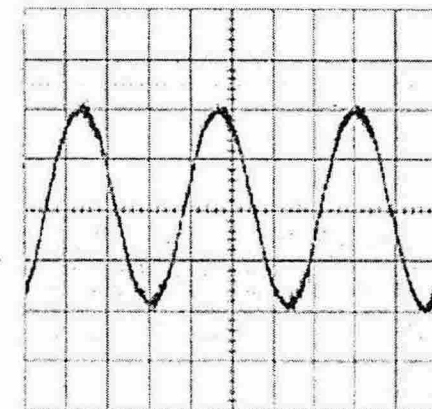


고정자전류.
2.5A/div.

50m sec/div

그림 6 d-q필터링 방법을 사용한 경우 출력전류(2Hz 지령)

Fig. 6 Output Current with d-q filtering method(2Hz Ref.)



고정자전류.
2.5A/div.

5msec/div

그림 7 d-q필터링 방법을 사용한 경우 출력전류(60Hz 지령)

Fig. 7 Output Current with d-q filtering method(60Hz Ref.)