

저가형 3상 유도전동기 벡터제어 인버터를 위한 새로운 전류측정 방법

이원일⁰, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

Novel Current Sensing Methods for Low Cost Vector-Controlled Inverter of 3-Phase Induction Motor

Won Il Lee, Duck Yong Yoon

Kongju National University

ABSTRACT

본 논문에서는 벡터제어 인버터의 저가격화를 위해 고가의 홀전류센서 대신에 셉트저항을 사용하면서 전동기의 모든 운전 영역에서 상전류를 정확하게 검출할 수 있는 새로운 2가지의 전류측정 방법을 제안한다. 첫째는 인버터의 3상 브리지 회로에서 상위 스위치와 직류링크의 양극(DCP : DC link Positive) 단자 사이에 셉트저항을 삽입하고, 하위 스위치와 직류링크의 음극(DCN : DC link Negative) 단자 사이에도 셉트저항을 삽입하여 상전류를 측정하는 방법이다. 둘째는 인버터의 출력단에 홀전류센서 대신에 셉트저항을 삽입하여 상전류를 측정하는 방법이다. 이 2가지 전류측정 방법의 유효성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증한다.

1. 서론

3상 유도전동기 벡터제어 인버터에서는 속도를 가변하기 위해 토크를 제어한다. 이를 위해서는 전동기의 입력전류를 제어해야 하므로 인버터로부터 전동기로 공급되는 전류를 정확하게 측정할 필요가 있다. 기존 시스템에서는 3상전류를 검출하기 위해 고가의 홀전류센서 2개를 사용하고, 이로부터 나머지 한 상의 전류를 환산하였다.^[1] 최근에는 벡터제어 인버터를 저가형으로 만들기 위해 홀전류센서를 사용하지 않고 DC링크에 1개의 셉트저항을 사용하여 전류를 측정하는 방법^[2]과 하위 스위치와 DCN 단자 사이에 3개의 셉트저항을 사용하여 전류를 측정하는 방법^[3]이 제안되었다. 그러나 이 방법들은 인버터의 특정한 운전영역에서 전동기의 3상전류를 정확하게 측정하지 못하는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 셉트저항을 사용한 2가지의 새로운 전류측정 방법을 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 이것의 유효성을 검증한다.

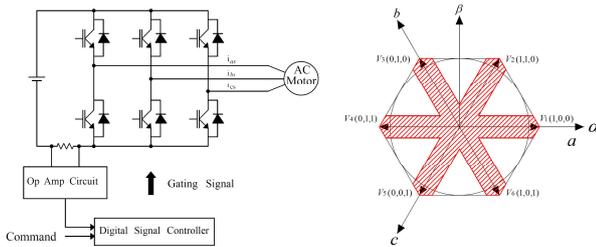


그림 1 1개의 셉트저항을 사용한 전류검출 방법

2. 기존의 전류측정 방법

전동기의 입력전류를 측정하기 위하여 고가의 홀전류센서를 사용하는 대신에 1개의 셉트저항을 사용하는 방법과 3개의 셉트저항을 사용하는 방법이 제안되었다. 1개의 셉트저항을 사용하는 방법^[2]은 그림 1처럼 구조가 가장 간단하고 저렴한 방법이지만, 벡터도에서 빗금으로 나타낸 것과 같이 전류를 측정하지 못하는 운전영역이 많아서 실용성이 떨어진다.

3개의 셉트저항을 사용하는 방법^[3]은 그림 2에 보였다. 이 방법에서는 3개의 셉트저항을 사용한 만큼 전류측정 불가능 영역이 상당히 개선되기는 했지만, 전동기의 고속운전영역이나 중부하 영역에서 아직도 빗금친 부분처럼 전류측정이 불가능한 경우가 발생한다. 따라서 이를 해결하지 않으면 여전히 이러한 방식을 사용한 벡터제어 인버터의 실용성은 낮게 된다.

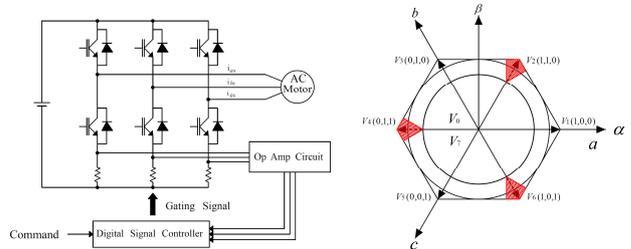


그림 2 3개의 셉트저항을 사용한 전류검출 방법

3. 새로운 전류측정 방법

이와 같이 셉트저항을 사용하는 방법은 전류측정이 불가능한 운전영역이 존재하는데, 셉트저항의 수를 늘리거나 위치를 변경하여 이 문제를 해결할 수 있는 방법을 제안한다.

3.1 4개의 셉트저항을 사용하는 방법

그림 3에 4개의 셉트저항을 사용하는 전류측정 방법을 보였다. 인버터 a상과 b상의 상측 및 하측에 모두 셉트저항을 삽입하여 상위 스위치가 턴온되면 상측 셉트저항을 사용하여 상전류를 검출하고, 하위 스위치가 턴온되면 하측 셉트저항을 사용하여 상전류를 검출할 수 있게 된다. 모든 PWM 스위칭 주기마다 2개의 영벡터(V0, V7)에서 전류를 측정하고, 섹터에 따라 이 중에서 1가지를 선택적으로 사용한다. 표 1에 상측 및 하측 셉트저항에 의한 상전류 측정 가능 시간을 정리하였다.

소용량의 인버터에서 널리 사용하는 IPM 소자에서는 DCP와 상위 스위치가 내부에서 연결되어 있어서 사용자가 이 사이에 션트저항을 사용할 수 없으나, 향후 이 방법이 보편화되면 션트저항이 내장된 IPM 소자의 출시를 기대할 수 있다. 현재로서는 이 방식을 적용하려면 전력회로에 6개의 스위칭 소자를 사용해야 한다. 또한 높은 전위를 갖는 상측 션트저항에서의 전류측정은 차동증폭기 회로로 저렴하게 처리할 수 있다.

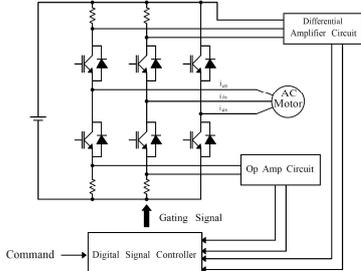


그림 3 4개의 션트저항을 사용하는 전류검출 방법

표 1 상측 및 하측 션트저항에서 상전류 측정 가능 시간

섹터	상측 션트저항의 상전류 측정 가능 시간	하측 션트저항의 상전류 측정 가능 시간
1	$T_0/2 + T_1 + T_2$	$T_0/2$
2	$T_0/2 + T_1$	$T_0/2 + T_2$
3	$T_0/2$	$T_0/2 + T_1 + T_2$
4	$T_0/2$	$T_0/2 + T_1 + T_2$
5	$T_0/2 + T_2$	$T_0/2 + T_1$
6	$T_0/2 + T_1 + T_2$	$T_0/2$

3.2 2개의 션트저항을 사용하는 방법

2개의 션트저항을 사용하는 전류측정 방법은 홀전류센서 사용 방법에서 2개의 홀전류센서를 션트저항으로 대체한 것으로서, 회로가 간단하고 성능이 우수하다. 이 방법은 이상적인 조건에서 임의의 순간에 전류를 측정할 수 있지만, 실제로는 전력회로의 스위칭 동작과 차동증폭기의 한계로 인하여 스위칭 리플에 의한 영향을 받을 수 있으므로 4션트저항 방법에서처럼 V0 벡터 및 V7 벡터에서 전류를 측정하는 것이 바람직하다.

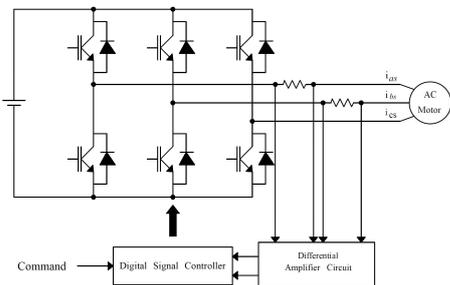


그림 4 2개의 션트저항을 사용하는 전류검출 방법

4. 시뮬레이션 및 실험결과

PSIM을 사용하여 제안된 션트저항에 의한 전류측정 방법을 시뮬레이션하였다. 200[W]짜리 3상 유도전동기를 사용하였으며, 전부하에서 1600[rpm]으로 운전될 때 V0 벡터 및 V7 벡터에서 측정된 상전류와 실제전류를 그림 5의 첫 번째에 보였다. 섹터 6, 1, 2에서는 V7 벡터에서 측정된 전류가 정확하고, 섹터 3, 4, 5에서는 V0 벡터에서 측정된 전류가 정확한 것을 알 수

있다. 따라서, 이를 선택적으로 조합하면 두 번째 그림처럼 정확한 상전류를 검출할 수 있게 된다.

그림 6에는 실제 벡터제어 인버터의 V0 벡터와 V7 벡터에서 측정된 전류를 조합하여 검출한 상전류 파형을 보였다.

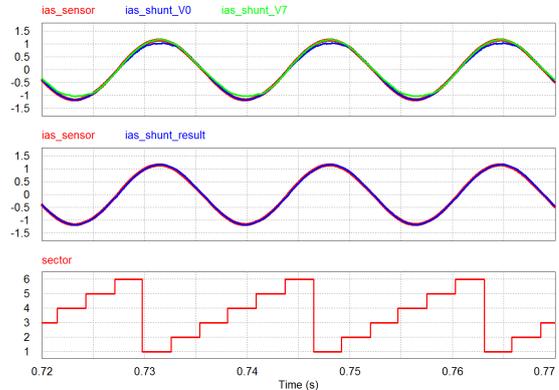


그림 5 4개의 션트저항을 사용한 방법의 시뮬레이션 결과

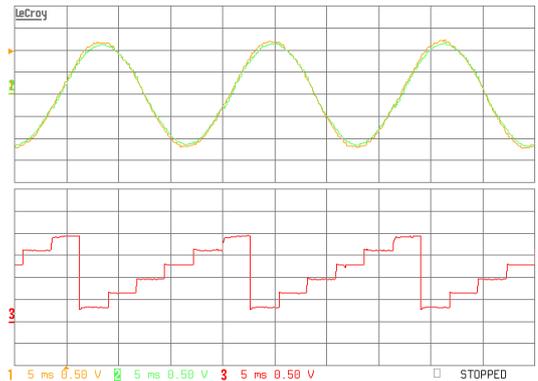


그림 6 2개의 션트저항을 사용한 방법의 실험 결과[0.5A/div]

5. 결론

본 논문에서는 3상 벡터제어 인버터의 저가격화를 위해 션트저항을 사용한 2가지의 새로운 상전류 검출방법을 제안하였다. 이들 방법에서는 기존의 션트저항 사용 방법에 비하여 V0 벡터 및 V7 벡터에서 충분한 전류측정 시간을 가지므로 전동기의 모든 운전영역에서 정확한 전류검출이 가능하다. 시뮬레이션 및 실험을 통하여 이 방법의 유효성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 윤덕용, 홍순찬, “공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 영구 자석형 동기전동기의 속도제어”, 전기학회논문지, 제43권, 제7호, pp.1112~1120, 1994. 7
- [2] Hongrae Kim and Thomas M. Jahns, “Phase Current Reconstruction for AC Motor Drives Using a DC Link Single Current Sensor”, IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 21, No. 5, pp.1413~1419, Sep. 2006.
- [3] Byung Geuk Cho, Jung Ik Ha, Seung Ki Sul, “Voltage Injection Method for Boundary Expansion of Output Voltages in Three Shunt Sensing PWM Inverters”, 8th ICPE & ECCE, pp.411~415, May. 2011.