

레그-선티저항을 이용한 3상 2레벨 인버터 상 전류 검출영역 확장 방법

이재문, 박경훈, 한경식

LS산전 자동화 제품 연구소

A Novel Phase Current Sensing Method Using Leg-Shunt Resistor for 3Phase 2 Level Inverter

Jaemoon Lee, Kyunghun Park, Kyungsik Han

LS Industrial System Automation R&D Center

Abstract

이 논문은 SVPWM으로 구동하는 3상 2레벨 인버터에 레그-선티저항(Leg-Shunt Resistor)을 이용한 전류 검출 방식의 전류 검출영역 확장 방법을 제안한다. 레그-선티저항을 이용한 전류 검출방식은 선티저항이 인버터 아래쪽 IGBT 이미터(Emitter)단에 있기 때문에 PWM 스위칭 상태에 따라 전류 검출영역이 제한된다. 이 논문에서는 레그-선티저항 전류 검출방식의 전류 검출가능영역을 정의하고 전류 검출이 어려운 부분에서도 전류를 검출하는 방법을 제안한다.

1. 서론

최근 소용량 인버터는 가격 경쟁이 더욱더 치열해짐에 따라 제품을 얼마나 싸게 만들 수 있는가에 초점이 맞춰져 있다. 소용량 인버터는 제품의 원가 경쟁력을 확보하기 위해 선티저항을 이용한 전류 검출방식을 많이 적용한다.

선티저항을 이용한 전류 검출방식은 선티저항의 위치에 따라 크게 DC-Link 선티저항 전류 검출방식, 출력 상 선티저항 전류 검출방식, 레그-선티저항 전류 검출방식으로 나눌 수 있다. DC-Link 선티저항 전류 검출방식은 선티저항 전류 검출방식 가운데 가장 낮은 가격으로 회로를 구현할 수 있으나 순시 전류가 검출되지 않는 단점이 있다. 출력상 선티저항 전류 검출방식은 선티저항이 인버터 출력상에 있어 전류 검출방식이 간단하나 전류 검출을 위해 별도의 절연회로를 구성해야 한다. 레그-선티저항 전류 검출방식은 선티저항을 인버터 아래쪽 IGBT 이미터 단에 배치한 상태에서 전류를 검출하는 방식으로 낮은 가격으로 회로를 구현할 수 있으며 순시 전류도 검출할 수 있다. 하지만 PWM 스위칭 상태에 따라 전류 검출영역이 제한되는 단점이 있다.

레그-선티저항 전류 검출방식에서 전류 검출이 제한되는 영역의 전류 검출은 PWM 스위칭 상태를 전류 검출이 가능한 영역으로 변경시킴으로써 가능하다. SVPWM에서 PWM 스위칭 상태를 변경하는 것은 크게 전압 기준벡터의 각을 제한시키는 방법과 전압 기준벡터의 크기를 제한시키는 방법으로 나눌 수 있다. 이 논문에서는 대칭 SVPWM에서 전압 기준벡터의 각을 제한함으로써 레그-선티 전류 검출방식의 전류 검출영역을 확장하는 방법을 제안하고 실험으로 이를 증명했다.

2. 본론

2.1 레그-선티저항 전류 검출방식

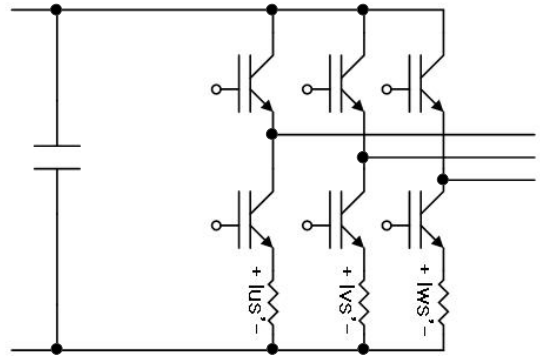


그림. 1 레그-선티저항 전류검출 방식 구성도

3상 2레벨 인버터 레그-선티저항 전류 검출방식의 출력 전류 검출용 선티저항은 인버터 각 암(Arm)의 아래쪽 IGBT 이미터 단에 배치한다. SVPWM은 6개의 활성화 벡터(Active Vector)와 2개의 영 벡터(Zero Vector)로 구성되며, d-q변환으로 생성된 전압 기준벡터 V^* 는 전압 기준벡터 V^* 가 인접한 2개의 활성화 벡터와 영 벡터의 조합으로 구성된다. 인버터 전류 샘플링은 아래쪽 IGBT가 모두 Turn On되는 $V_0(0,0,0)$ 과 2상의 아래쪽 IGBT가 Turn On되는 $V_1(1,0,0)$, $V_3(0,1,0)$, $V_5(0,0,1)$ 구간에서 수행한다. 인버터 전류 검출은 SVPWM 스위칭 시퀀스 T1 구간의 아래쪽 IGBT가 Turn On되는 2개의 상전류를 검출한 뒤 나머지 한 상의 전류는 KCL(Kirchoff's Current Law)을 이용해 간접 검출한다.

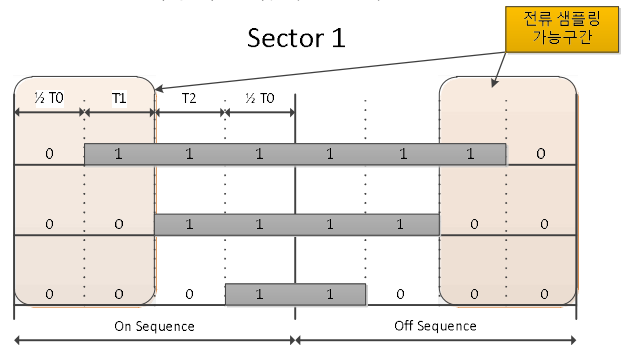


그림. 2 대칭 SVPWM Sector 1 스위칭 시퀀스

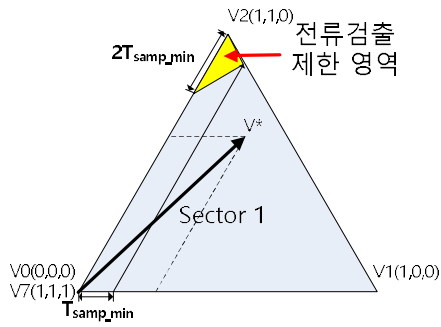


그림. 3 대칭 SVPWM Sector 1 전압 기준벡터

2.2 레그-선트저항 전류 검출방식 전류 검출영역 확장

레그-선트저항 전류 검출방식의 인버터 전류검출에 필요한 최소시간 T_{samp_min} 은 T_{dt} (인버터 데드타임), T_{rs} (전류 검출 회로 지연시간), T_{sh} (AD컨버터 샘플링 시간)로 구성되며, $T_{samp_min} = T_{dt} + T_{rs} + 2T_{sh}$ 이다. 대칭 SVPWM (Symmetry Space Vector Pulse Width Modulation)에서는 전류 검출을 위해 최소 T_{samp_min} 부터 $2T_{samp_min}$ 까지 전류 검출시간을 확보한다.

SVPWM에서 전압 기준벡터 V^* 의 크기가 커지고 $V_2(1,1,0)$, $V_4(0,1,1)$, $V_6(1,0,1)$ 에 근접할수록 인버터의 출력전류를 검출할 수 있는 영역이 축소된다. 전류를 검출할 수 있는 영역이 T_{samp_min} 보다 작은 구간에서는 전압 기준벡터 V^* 를 변조해 전류를 검출할 수 있는 영역에 있는 V^* 로 변경한다. 변조된 V^* 는 V^* 의 크기를 크게 유지하고 각을 제한해 V^* 가 전류를 검출할 수 있는 영역에 들어가도록 변조하는 PWM 변조1과 V^* 가 V^* 와 각이 같고 V^* 의 크기를 변조해 V^* 의 궤적이 전류를 검출할 수 있는 영역의 외각선을 따라가도록 변조하는 PWM 변조2가 있다.

T_{samp_min} 은 시스템 파라미터에 따라 결정된다. T_{samp_min} 이 작을수록 인버터의 출력전류를 검출하기 위한 인버터 PWM 제한영역이 축소되어 인버터 성능에 미치는 영향이 감소한다. 이 논문에서는 V^* 의 각을 제한하는 PWM 변조1을 적용하여 레그-선트 전류 검출영역을 확장하는 방법을 실험으로 이를 증명했다.

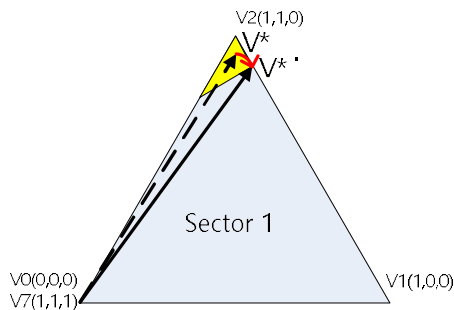


그림. 4 대칭 SVPWM Sector 1 전류 검출이 제한되는 영역에서의 PWM 변조1의 전압 기준벡터 각 변조

2.3 실험결과

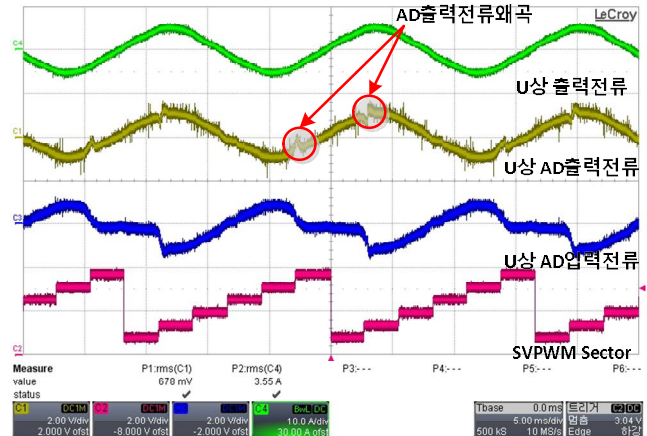


그림. 5 PWM 변조1 각 변조 전 전류검출 파형

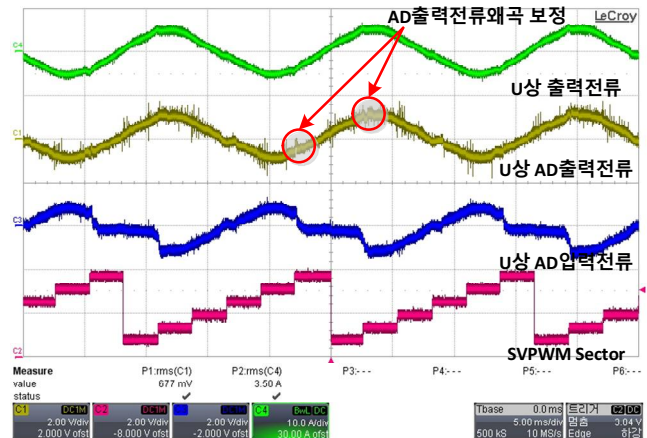


그림. 6 PWM 변조1 각 변조 후 전류검출 파형

3. 결론

이 논문에서는 소용량 인버터에 많이 적용되는 레그-선트 저항을 이용한 전류 검출방식의 전류 검출영역 확장 방법을 제안하고 실험으로 이를 증명했다. 레그-선트저항 전류 검출영역을 결정짓는 T_{samp_min} 은 시스템 파라미터에 따라 결정되며, 전류검출을 위한 PWM 제한이 인버터 성능에 미치는 영향을 최소화하려면 전류 검출을 위한 PWM 변조 영역을 작게 해야 한다.

Reference

- [1] F. Parasiliti, R. Petrella and M. Tursini, "A novel solution for phase current sensing in PWM-VSI based AC drives", Proc. of the European Conference on Power Electronics and Applications (EPE), Graz, 2001.
- [2] S. Chakrabarti, T. M. Jahns and R. D. Lorenz "A current reconstruction algorithm for three-phase inverters using integrated current sensors in the low-side switches", Proc. Ind. Appl. Conf., Conf. Rec. 38th IAS Annu. Meeting, vol. 2, p.925, Oct. 2003.