

단일 전류 감지기를 이용한 세탁기 BLDC 모터의 PWM Inverter 에서 고조파 저감방법에 관한 연구

김화성*유지윤
고려대학교 전자전기공학과

Study of harmonic reduction method in PWM Inverter of washing machine BLDC motor that use single current sensor

Hwa-Sung Kim*, Ji-Yoon Yoo
Korea University, Electrical Engineering

요 약

이 논문은 세탁기 모터 구동을 위한 단일 전류 센서 방식에서 3상 전류 복원 방법에 대한 기존 방법에 있어서의 문제점 개선을 위하여 최소전압 주입 방식 과 Smooth 전압 주입 방식을 제시 하고 인버터에서의 전류 복원 향상을 통한 고조파 와 소음 개선 방법을 제시 하였다. 또한 제시된 방식의 타당성을 검증하기 위한 시뮬레이션 및 실험 결과를 고찰하는 것을 목적으로 한다...

ABSTRACT

This paper proposes problem improvement in existing method about three-phase current reconstruction method and present minimum voltage injection method and Smooth voltage injection method in single current sensor for washing machine motor drive. So, presented wash noise improvement method through ripple reduction in inverter. The simulation and experimental results are given to show the effectiveness of the proposed method for reconstructing the phase currents and reducing the noises.

Key Words : Single Current sensor, minimum voltage injection, smooth voltage injection

1. 서 론

세탁기의 모터 제어 방식의 다양화와 함께 고급 제어 방식의 적용에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 하드웨어의 간소화를 통한 재료비 절감에 관한 연구가 관심의 대상이 되고 있다. 또한 세탁기 기본 조립구조상 모터와 세탁통의 일체형 구조로 인해 인버터의 고조파 리플 및 토크 리플은 외부 소음 및 진동 영향에 직접적으로 관계된다. 단일 전류 감지를 통한 3상 전류 복원 방식의 경우 하드웨어의 간소화를 통해 재료비의 절감 효과를 얻을 수 있으나 전류 복원과 과정에서 발생하는 고조파 성분 영향에 의해 발생하는 소음이 문제시 된다. 따라서 이 논문에서는 IGBT

power Module SVPWM 방식의 인버터에 의해 구동되는 구형과 BLDC 전동기의 단일 전류 센싱 방식을 통한 3상 전류 복원과정에 대해 분석하고, 고조파를 저감 시킬 수 있는 단일 전류 감지 방법을 제안한다.

2. 단일 전류 감지를 이용한 인버터 PWM

단일 전류 감지를 통한 인버터에서는 스위치 함수의 특정한 상태에 따라 DC link 에 흐르는 전류는 특정한 상 전류 라는 것을 이용한다. 단일 전류 센서에 흐르는 전류를 구분하기 위해서는 전류에 따른 스위치 함수 값이 필요하며 두 개의 스위치 함수와 각각의 전류

값을 알면 두 개의 전류를 복원해 낼 수 있고 3상의 전류의 합은 영(0)임을 이용하면 3상 전류 모두의 값을 복원할 수 있다.

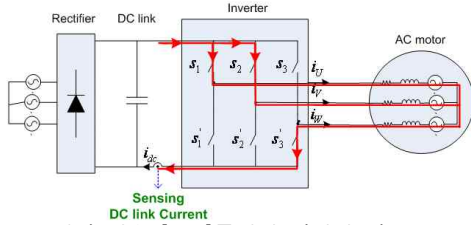


그림 1 스위치 함수 [110] 동안의 인버터 전류 흐름
Fig. 1 Current path in inverter for switching f. [110]

표 1 스위치 함수와 Dc link 단 전류와의 관계
Table 1 Relationship between switching function and actual output current sensed on dc link sensor

3. 단일 전류 검출의 문제점

Switching function (s1 s2 s3)	100	110	010	011	001	101	000,111
DC link Current	I_u	$-I_w$	I_v	$-I_u$	I_w	I_v	0

단일 전류 센서를 이용해 3상 입력 전류를 재구축하기 위해서는 유효 벡터가 식 (1) 처럼 최소한의 폭을

$$T_{sampler_{min}} = t_d + t_{settle} + T_{conv} \quad (1)$$

가지고 있어야 한다. t_d 는 데드타임, 일정 확립 시간, t_{settle} 는 DC link 전류가 샘플링 되기 전 확실히 확립되기 위하여 신호가 안정화 되어야 하는 시간, t_{conv} 는 A/D 변환 시간을 나타낸다.^[1]

그러나 기준 전압 벡터가 6개의 유효 벡터 영역을 지나 갈 때와 부족 변조인 경우(low modulation index) 최소한의 시간을 확보하기가 어렵게 된다. 요약하면 스위치 패턴이 2개 존재 하지 않던지 혹은 스위치 패턴은 2개가 존재하나 그 스위치 패턴에서 전류를 샘플링 하는데 필요한 시간을 충분히 확보하지 못하게 되었을 때는 3상 전류 복원이 불가능 하게 된다.^[2]

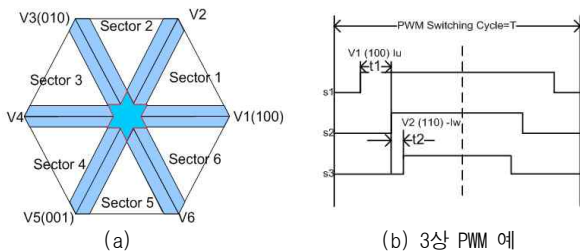


그림 2 상전류를 재구축 할 수 없는 영역
Fig. 2 Area that can not reconstruct current

4. 최소거리 전압 주입 방법

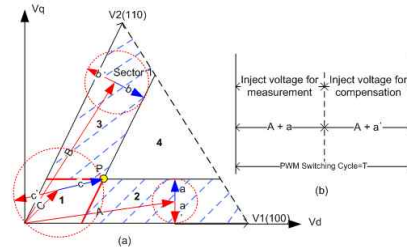


그림 3 최소 전압 주입 방법
Fig. 3 Minimum Distance Voltage Injection method

그림 3에서 기준 전압 벡터가 1,2,3 영역에 있을 때 기준 전압에 의한 스위칭 패턴으로는 상 전류의 복원이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 기준 전압으로부터 무효영역을 벗어나갈 수 있는 최소 거리에 있는 곳까지의 차이를 부가 전압의 크기로 정하고 PWM 전반부에 부가 전압을 인가하며 PWM 후반부에 인가된 전압과 크기는 같고 부호는 반대인 전압을 인가하여

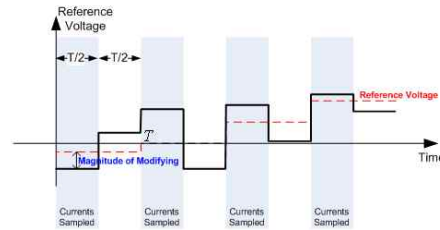
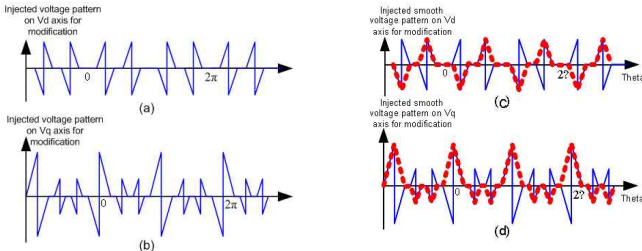


그림 4 PWM 사이클 내에서의 기준전압 변화
Fig. 4 Pattern of injected voltage in PWM cycle

PWM 한주기 내에서의 평균 전압의 크기는 기준전압과 같도록 한다.^[3] 전자의 경우를 변조 후자의 경우를 보상이라 한다. 최소전압 변조 방법을 사용한 변조와 보상 할 때의 기준 전압 변화가 그림 4에 있다. 또한 그림 5(a),(b)에 변조가 연속적으로 표현 되어 있는데 변조가 매우 급격하게 변화 하는 부분들이 존재한다. 이 급격한 변화는 기준 전압 벡터에 급격한 변화를 불러 올 것으로 예상 할 수 있고 그림 4 에서 기준전압 벡터에 변조되고 보상되는 전압의 규칙성이 깨지는 부분을 볼 수 있다. 이런 영향은 변조 보상되는 과정에서 전류 또는 전압에 고주파를 함유 시키고 기계적인 진동이나 소음을 유발하는 원인을 제공 한다.

5. 부드러운 전압 주입 방법

이에 대한 해결 방법으로 그림5(c)(d)처럼 부드럽게 변화 하는 변조 전압을 제시 한다. 그림 5(c)(d)처럼 부드럽게 변조되는 전압을 PWM 한 주기에서 그려



보면 변조와 보상에 규칙성이 유지 되고 있음을 볼 수 그림 5 변조를 위해 주입된 전압의 Vd 와 Vq 축에서의 파형 (a)(b)최소전압 주입 방법,(c)(d)부드러운 전압 주입 방법 Fig. 5 Injected voltage pattern on Vd and Vq axis for modification.(a)(b) Minimum Voltage injection method (c)(d)smooth voltage injection method

있다. 최소전압 주입 방법에서는 변조를 위한 전압 주입이 항상 PWM 주기의 전반부에 위치하지만 부드러운 전압 주입 방법에서는 그림6의 빗금 친 영역에서는 변조와 보상의 순서를 바꾸면 구현 할 수 있다..

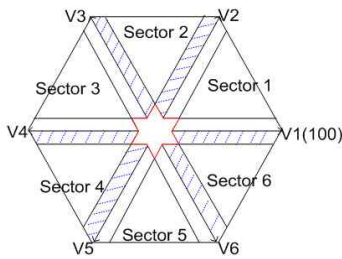
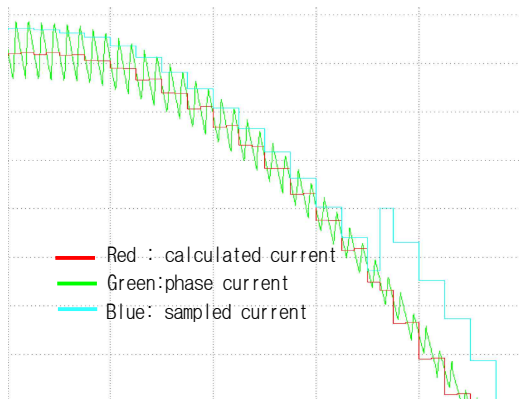


그림 6 변조와 보상의 순서 변환 영역 Fig. 6 Area of changing the injection sequence



6. 시험 결과

그림 7 시뮬레이션 결과

Fig. 7 Result of simulation.

그림 7의 시뮬레이션의 결과에서 볼 수 있는 것처럼 추정한 전류(RED)로 표현되는 부분이 샘플링한 전류(Blue)보다 실제 전류값을 잘 쫓아가는 것을 확인 할

수 있다. 한편 섹터의 변경 때문에 발생하는 전류 리플의 크기도 훨씬 작아지는 것을 확인 할 수 있다

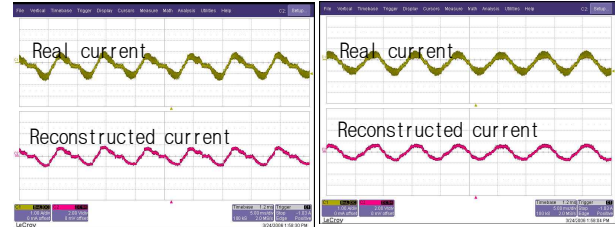


그림8(a) 최소전압주입 방법에서의 실측전류 및 복원전류 (b)Smooth전압주입 방법에서의 실측전류 및 복원전류 Fig.8(a) Current measured directly and reconstructed using abrupt voltage injection method.

(b) Current measured directly and reconstructed using smooth voltage injection method. 그림8(a) 와 (b) 의 비교를 통해서도 실제 전류 파형 비교를 통해서도 부드러운 전압 주입 방식의 경우가 전류파형의 왜곡이 완화 된 것을 확인 할 수 있다.

표 3 부드러운 전압 주입 방법과 최소전압 THD 분석

Table 3 THD analysis of abrupt voltage injection and smooth voltage injection

Method of voltage injection	THD
Abrupt voltage injection	0.0880
Smooth voltage injection	0.0330

6. 결론

본 논문은, Dc link에 단일 전류 센서를 이용하는 3상 PWM 인버터에 있어 상전류들을 복원하는 것에 대한 방법을 제시 하였다. 전압 벡터를 수정하고 보상하는 것에 대한 제안된 방법은 모든 상에 대해 전압과 전류에 낮은 고조파를 가능케 한다. 전류의 리플 감소를 통해 가청 소음의 개선에 있다고 판단되며 시뮬레이션과 실험들은 제안된 방법들이 THD 와 전류 복원에 있어 개선의 효과가 있음 보여준다.

참고 문헌

- [1] 김경서 "삼각파 비교 PWM 기법에 있어서 단일 전류센서에 의한 삼상 전류 측정 및 전압 왜곡 보상", 전력전자학회논문지, vol 8, no 3, June 2003, pp 294.
- [2] 이우철,현동석,이택기 "예측 상태 관측기를 이용한 3상 전압 원 PWM 컨버터의 단일 전류 센서 제어" 전력전자 학술대회 논문집 July 1999. pp 489 - 492
- [3] F. Blaabjerg and J.K. Pedersen, "An ideal PWM-VSI inverter using only one current sensor in the Dc-link" in Proceedings of Fifth International Power Electronics and Variable-Speed Drives Conference, 1994.