

예측 전류를 적용한 3 선트 PWM 인버터의 전류 복원 기법

홍성우*, 김도윤*, 원일권*, 김영렬**, 원충연*
 성균관대학교*, 안양대학교**

three phase current reconstruction method applying predictive current in three shunt sensing PWM inverter

Sung-Woo Hong*, Do-Yun Kim*, Il-Kuen Won*, Young-Real Kim**, Chung-yuen Won*
 Sungkyunkwan University*, Anyang University**

ABSTRACT

In a AC motor used by three phase inverter, the phase current must be measured to control instantaneous torque. It is expensive to use current sensor for measuring current in low cost motor. So, shunt resistor is used to measure current. But, the method sensing the phase current using shunt resistor cannot perform the vector control in high speed because of the area that impossible to restore three phase current. In this paper, predictive current is proposed for reconstructing the current in the impossible current sensing area that reduce the current ripple in TSSI(Three shunt sensing inverter) for PMSM

1. 서론

3상 인버터를 사용하는 AC모터에서 순시 토크제어를 하기 위해선 상전류를 측정해야만 한다. 이러한 방법에는 전류 센서를 이용하여 측정하는 방법과 선트 저항을 이용하여 측정하는 방법이 있다. 하지만 저용량 낮은 가격의 모터 드라이브에서는 전류센서를 사용하기에는 크기와 비용에 문제가 있다. 그러므로 이러한 드라이브에서는 선트 저항을 사용하게 된다. 선트저항의 종류는 직류단에 1개의 선트저항을 쓰는 방법과 3개의 선트저항을 하단스위치 밑에 각각 다는 방법이 있다.^[1] 하지만 두 방법 모두 전류 측정 불가 영역이 생기게 된다.

본 논문에서는 3개의 선트 저항을 이용한 전류 측정 방법에서의 측정불가 영역을 예측전류 제어를 적용하여 전류를 측정하여 피드백 하는 방법을 제안하였다.

2. 선트저항

2.1 3개의 선트저항을 이용한 전류 측정방법

선트 저항으로 전류를 측정하는 방법에는 1개의 선트 저항을 직류단에 연결하는 방법과 3개 하단스위치와 직류단 음극 사이에 각각의 선트저항을 설치하여 전압을 측정하여 전류를 계산하는 방법이다.

2.1.1 3상 전류 측정 방법

3상 인버터의 각 레그에서 상단 스위치는 턴 오프 되고 하단 스위치가 턴 온이 됐을 때 선트저항에 전류가 상전류와 동

일 하게 흐른다. 3상전류를 복원하기 위해서 적어도 2개의 상전류를 측정해야 되기 때문에 하단스위치가 2개 이상 온 되어 있어야 한다. 2개의 전류가 측정되면 나머지 한상의 전류는 2상의 합으로 구할 수 있다.

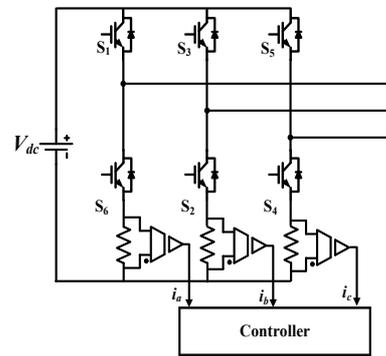


그림 1 3개의 선트저항을 이용한 전류 측정
 Fig. 1 Current measurement method using Three shunt resistor

2.1.2 3상전류 복원불가영역

선트저항을 이용하여 전류를 복원하기 위해서는 한주기내에서 영벡터 (0, 0, 0)의 인가시간과 유효벡터 (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)의 인가 시간의 합이 적어도 T_{min} 동안 유지 되어야 한다. T_{min} 은 T_{dead} 는 단락회로를 방지하기 위한 시간, T_{set} 은 스위치시 발생한 전류의 링잉이 끝나는데 걸리는 시간, T_{ad} 는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는데 걸리는 시간의 합으로 구성되어 있다. T_{min} 보다 영벡터와 유효벡터의 인가시간의 합이 짧은 구역에서는 전류를 검출할 수 없다.

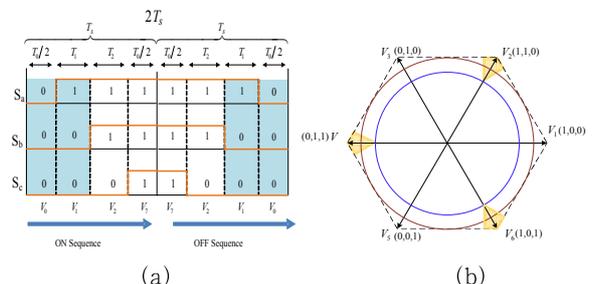


그림 2 (a) 전류가 측정되는 시간, (b) 전류복원이 불가능한 구간
 Fig. 2 (a) The time for measuring phase current
 (b) The current restoration impossible area

2.2 전류복원 불가 구역에서의 예측전류 적용

영벡터와 두 개의 하단스위치가 꺼지는 시간의 합이 T_{min} 보다 작다면 전류를 측정 할 수 없으므로 AC모터의 고정자 전압 방정식을 이용하여 예측전류를 계산하여 백터제어를 수행한다.

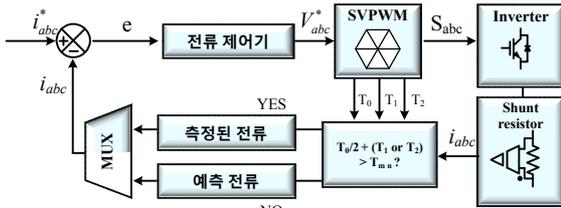


그림 3 예측전류 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 3 Block diagram of predictive current system

$$\frac{di}{dt} \approx \frac{i(k+1) - i(k)}{T_s} \quad (1)$$

PMSM의 고정자 전압 방정식에 미분 연산자에 식 (1)로 대입하면 예측전류는 식 (2)과 같이 정리된다. 예측 전류의 변수로 측정된 전류와 인가한 전압 그리고 추정 역기전력이 된다.

$$i^p(k+1) = \left(1 - \frac{RT_s}{L}\right)i(k) + \frac{T_s}{L}(v^*(k) - e(k)) \quad (2)$$

여기서 추정 역기전력은 한 샘플링 동안에는 전기적 변화에 비해 속도 변동이 거의 없기 때문에 한 샘플링 전의 역기전력을 계산하여 추정 역기전력으로 사용하게 된다.

$$e(k-1) \approx e(k) = v^*(k-1) - \frac{L}{T_s}i(k) - \left(R - \frac{L}{T_s}\right)i(k-1) \quad (3)$$

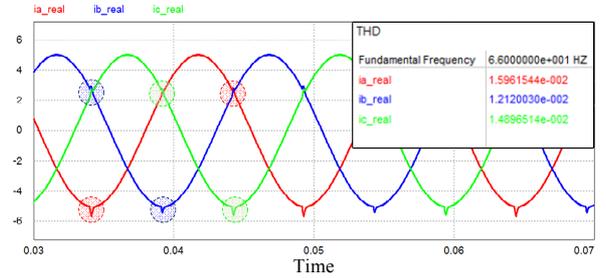
표 1 샘플링 시간에 따른 예측전류
Table 1 predictive current according to sampling times

kth sampling	predictive current
k	$i^p(k+1) = \left(1 - \frac{RT_s}{L}\right)i(k) + \frac{T_s}{L}(v^*(k) - e(k))$
k+1	$i^p(k+2) = \left(1 - \frac{RT_s}{L}\right)i(k+1) + \frac{T_s}{L}(v^*(k+1) - e(k+1))$
k+2	$i^p(k+3) = \left(1 - \frac{RT_s}{L}\right)i(k+2) + \frac{T_s}{L}(v^*(k+2) - e(k+2))$
k+3	$i^p(k+4) = \left(1 - \frac{RT_s}{L}\right)i(k+3) + \frac{T_s}{L}(v^*(k+3) - e(k+3))$

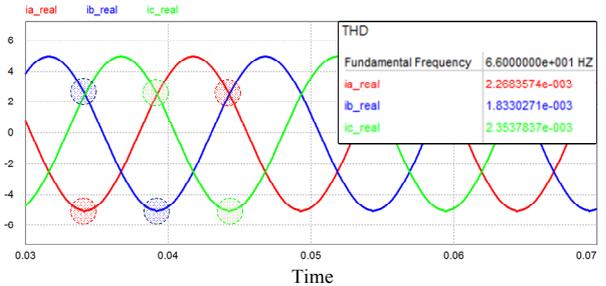
3. 시뮬레이션

표 2 시뮬레이션 파라미터
Table 2 Parameter of simulation

직류 전압	48[V]	d축 인덕턴스	0.303[mH]
선트 저항	1[mΩ]	q축 인덕턴스	0.303[mH]
스위칭 주파수	5[kHz]	고정자 저항	0.5[Ω]
T_{min}	10[μs]	극수	8



(a)



(b)

그림 4 (a) 기존의 3선트 전류 파형 시뮬레이션 결과
(b) 제안된 3선트 전류 파형 시뮬레이션 결과

Fig. 4 (a) Simulation waveforms of current of conventional 3 - shunt
(b) Simulation waveforms of current of proposed 3 - shunt

기존의 3선트 실제 전류 파형의 시뮬레이션에서 전류복원이 안되는 구간에서 전류가 심하게 튀는 것을 볼 수 있었고 전류의 THD는 1.56%였다. 그리고 예측전류를 적용한 3선트 실제 전류 파형 시뮬레이션에서는 전류의 THD는 0.2%로 전류 왜곡이 감소한 것을 확인 할 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 부하를 PMSM으로 갖는 인버터에 3개의 선트 저항을 사용하였다. 전류를 측정 할 수 없는 영역에서 예측 전류기법을 사용하여 전류를 복원했다. 이를 시뮬레이션으로 확인하였을 때 기존의 3선트 보다 제안된 시스템에서 더 적은 전류 왜곡을 보였다.

참고 문헌

- [1] F.Blaabjerg, J.K.Pedersen, U. Jaeger, and P. Thøgersen, "Single Current Sensor Technique in the DC-link of Three-phase PWM-VS Inverters: A Review and the Ultimate Solution," IEEE Trans. Ind. Appl., vol 33, no. 5, pp. 1241-1253, sep./Oct. 1997
- [2] Jose Rodriguez, Jorge Pontt, César A. Silva, Pablo Correa, Pablo Lezana, Patricio Cortes, "Predictive Current Control of a Voltage Source Inverter," IEEE Trans., Vol. 54, No. 1, Feb. 2007