

# Three Shunt 저항을 이용한 3상 인버터의 상전류 측정방법

김도윤\*, 이용석\*, 문정송\*, 이택기\*\*, 원충연\*  
 성균관대학교\*, 한경대학교\*\*

## Phase Current Sensing Method Using Three Shunt Resistor for Three Phase Inverter

Do-Yun Kim\*, Yong-Seok Lee\*, Jung-Song Moon\*, Taek-Kie Lee\*\*, Chung-Yuen Won\*  
 Sungkyunkwan University\*, Hankyong National University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 세 개의 Shunt 저항을 이용하여 3상 인버터의 상전류를 검출하였다. Shunt 저항을 이용할 경우 전류 검출이 불가능한 제한 영역이 발생한다. 이러한 제한영역을 보상하기 위해 제한영역에 대하여 분석하였으며, 제한 영역은 추가적인 전류 추정방법을 이용하여 보상하였다. 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

### 1. 서론

동기전동기의 순시 토크제어를 수행하기 위해서 상전류의 피드백이 필수적이다. 상전류 측정을 위해 일반적으로 전류센서가 사용되고 있다. 그러나 이러한 전류 센서는 전체 시스템의 비용과 부피가 증가하는 단점이 있으며 온도에 따라 측정의 신뢰성을 보장받기 어렵다. 가전기기 및 기타 저가형 시스템에서는 고비용의 전류센서 대신 Shunt 저항을 이용한 상전류 피드백 기법이 많이 적용되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

Shunt 저항을 이용한 방법은 저항에 인가되는 전압강하를 측정하여 저항을 통해 흐르는 전류의 양을 측정하는 방법이다. 세 개의 Shunt 저항을 이용하는 방법의 경우 일반적으로 세 개의 아래 스위치 중 두 개의 스위치가 Turn-on 되는 구간에서 전류를 측정할 수 있다. 그러나 세 개의 Shunt 저항을 이용할 경우, 전압변조비가 증가하게 되면 전류 측정이 불가능한 구간이 발생하게 된다. 이로 인하여 인버터의 전압이용률이 낮아지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 전류 측정이 불가능한 구간에서도 전류 센싱이 가능한 확장된 영역에서의 전류 측정 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

본 논문에서는 저가형 시스템에 적용되는 Three Shunt를 이용할 때의 전류 검출 불가 영역을 정의 하고 이를 보상하기 위한 전류추정기법을 적용하여 전류 검출 불가 문제를 해결하였다.

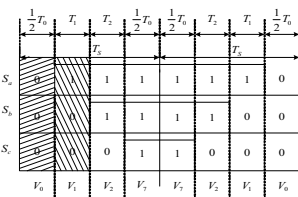


그림 1 섹터 1에서의 상전류 검출이 가능한 구간  
 Fig. 1 Phase current sensing region in sector 1

### 2. 본론

#### 2.1 Three Shunt를 이용한 전류검출의 기본원리

그림 1은 세 개의 Shunt 저항을 이용할 경우 상전류 검출이 가능한 영역을 도시하였다. 또한 그림 2는 Three Shunt를 이용하여 전류를 검출할 때 전압 벡터에 따른 전류의 방향을 나타낸다. Shunt저항으로 상전류 검출할 때 (0,0,0)동안은  $I_a, I_b, I_c$  상전류 검출이 가능하며, (1,0,0), (0,1,1) 구간에서는  $I_a, I_b, I_c$  중 한상 또는 두상의 전류 검출이 어렵고, (1,1,1)동안은 전류 검출이 불가능하다. (0,0,0)동안의 전류를 검출할 수 있는 충분한 시간이 주어지면 상전류를 검출할 수 있다.

(1,0,0)구간 동안에는 두상의 전류를 검출할 수 있고, 3상이 평형하다는 조건인 식 (1)을 통하여 나머지 한상의 전류를 도출할 수 있다.

$$I_a = -(I_b + I_c) \quad (1)$$

일반적으로 전류를 검출하기 위한 최소한의 시간  $T_{min}$ 은 단락을 방지하기 위해 필요한  $T_{dt}$ (Dead Time)과  $T_{sett}$ (Settling Time),  $T_{ad}$ (A/D Conversion time)의 합으로 식 (2)과 같다.

$$T_{min} = T_{dt} + T_{sett} + T_{ad} \quad (2)$$

#### 2.2 Three Shunt를 이용한 전류검출의 측정불가영역

그림 3의 S1은 식 (3)조건에 의한 전류검출이 가능한 영역을 나타낸 것이다. S1영역 밖인  $T_1(0,1,1)$ 에서도 전류 검출이 가능하므로 S1영역을 확장하여 식 (4)와 같은 스위치의 상태가 (0,0,0)인 시간과 (1,0,0)의 시간의 합이  $T_{min}$ 보다 길어야 한다는 조건을 만족한다면 전류검출 영역의 확장이 가능하다.

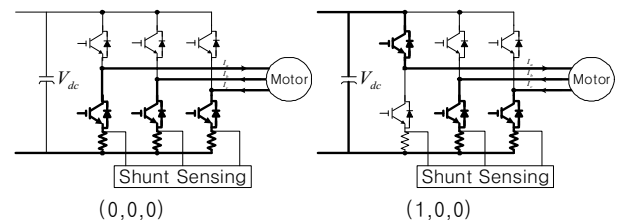


그림 2 섹터 1에서의 상전류 검출이 가능한 스위칭 상태  
 Fig. 2 Switching state of measurable phase current in sector 1

$$T_0 + T_1 = T_{\min} \quad (3)$$

그림 3의 S2는  $T_1(0,1,1)$ 을 고려한 식(3) 조건에 의한 전류검출 가능영역을 나타낸 것이다.

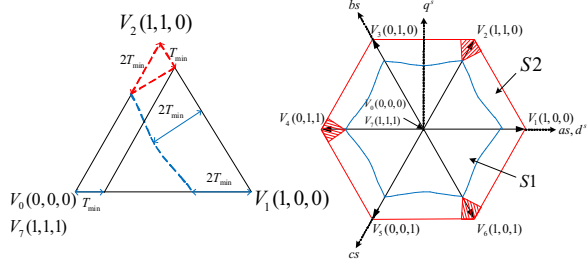


그림 3  $T_0 + T_1$  전류 검출가능 영역(S2)

Fig. 3  $T_0 + T_1$  measurable area(S2)

동기전동기가 중저속으로 구동될 때에는 S1영역에서 상전류를 검출하고 S1영역을 넘어서 고속으로 구동될 때는 S2영역에서 상전류를 검출 하여 동기전동기를 구동하며, S2영역에서 상전류검출을 받을 수 없는 영역을 제한하는 전류 검출 기법을 사용하여 검출한다.

식 (4)는 전류검출이 제한되는 구간의 경계를 나타낸다. 경계 영역은 MI(Modulation Index)를 기준으로 표현하였으며, 지령 전압의 MI값이 식 (4)의 MI보다 크게 되면, 전류 검출이 불가능한 영역이 발생하게 된다.

$$MI = \frac{V_{peak}}{(1/2)V_{dc}} = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{2T_{\min}}{T_s}\right) \quad (4)$$

여기서  $T_s$ 는  $1/2f_s$ 를 의미한다.

### 2.3 제안하는 전류검출 기법

세 개의 Shunt 저항을 이용할 경우 전류측정이 불가능한 영역이 발생하며, 이 영역에서 전류를 측정하기 위해서는 별도의 알고리즘을 필요로 한다.

식 (5)는 3상 인버터 전압방정식을 이산화 과정을 통하여 전류를 추정하는 수식이다. 3상 인버터의 제어가 정상적으로 수행된다면  $V_{an} = V_{an}^*$ 로 가정할 수 있으며, 아래와 같은 수식을 통하여 전류를 추정할 수 있다.<sup>[3]</sup>

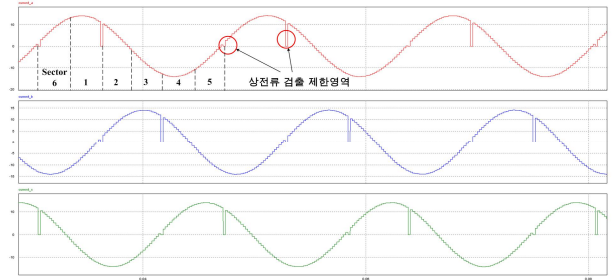
$$i_k = \frac{1}{2L + RT} T[(V_{an}^* + V_{an}^*(k-1)) + 2Li_{(k-1)}] \quad (5)$$

식(5)를 통하여 추정된 전류를 이용하여 측정 불가능한 영역에서의 전류값을 보상해 주었다.

### 3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 스위칭 주파수  $f=5\text{kHz}$ ,  $MI=1$ , 전류검출을 위한 저항값은  $10\text{m}\Omega$ 로 설정하였다. 또한 시뮬레이션을 위한  $T_{\min}$ 은  $15\mu\text{sec}$ 로 가정하였으며 R-L부하를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4과 같이 MI가 식(4)의 MI값 이상의 영역에서는 상전류 검출이 안 되는 구간이 발생하게 된다. 그

림 5는 상전류 검출이 제한된 영역에서 식 (5)을 이용하여 보정한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.



상전류 검출의 제한영역이 존재하는 상전류 파형

Fig. 4 The phase current waveforms existing the limitation region

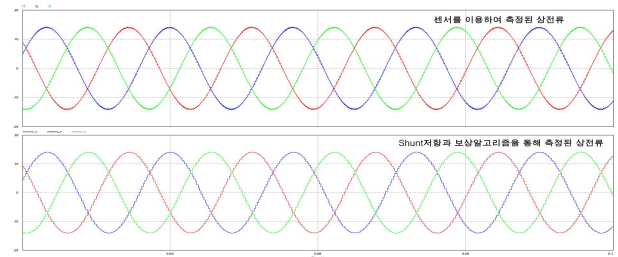


그림 5. 보상기법과 Shunt 저항을 통해 측정된 상전류와 실제 상전류

Fig. 5 The phase current using shunt resistor with compensation algorithm and phase current by sensor

## 4. 결론

본 논문에서는 3상 Shunt 저항을 이용하여 상전류를 검출하였다. 전류검출이 불가능한 제한영역에서는 수식을 이용한 추정방법을 통하여 보상함으로써 전류검출이 가능하게 하였다. 이러한 전류 검출방법은 전류추정이 정확할 경우, 실제 부하로 인가하는 전류에 추가적인 왜곡을 발생시키지 않기 때문에 기존의 전압벡터를 측정 가능한 영역으로 변조하는 방법에 비하여 효과적이라고 사료된다.

본 논문은 한국 에너지 기술 평가원의 에너지 인력 양성사업의 연구결과입니다.(No.2010-4010-100-630)

## 참고 문헌

- [1] Byung-Geuk Cho, Jung-Ik Ha, Seung-Ki Sul, "Voltage Injection Method for Boundary Expansion of Output Voltages in Three Shunt Sensing PWM Inverters," *IEEE ECCE*, pp.411-415, 2011.
- [2] Jung-Ik Ha, "Voltage Injection Method for Three-Phase Current Reconstruction in PWM Inverters Using a Single Sensor," *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 24, Issue.3, pp.767-775, 2009.March
- [3] 허태원, 박지호, 신동률, 김춘삼, 우정인, "입력전류추정에 의한 전압형 PWM 컨버터의 정현추종제어," 조명 전기설비학회논문지, 제14권, 제4호, 2000. 7.