

# 2개의 레그-션트 저항을 이용한 3상 인버터의 상 전류 측정 방법 및 측정 영역 분석

유정목 정재엽  
유라코퍼레이션 R&D 센터

## Phase Current Measurement Method for 3-Phase Inverter with Two Leg-Shunt Sensing Resistors

Yoo Jeong-Mock Jung Jae Yeop  
Yura Corporation R&D Center

### ABSTRACT

션트 저항을 이용하여 3상 인버터의 전류를 측정하는 방법은 가격 경쟁력이 우수하여 다양한 산업 분야에서 응용되고 있다. 본 논문에서는 시스템의 원가를 절감하기 위해 2개의 레그-션트 저항을 이용하여 3상 인버터의 상 전류를 측정하는 방법을 제안하고 측정이 가능한 영역에 대하여 분석한다. 2개의 레그-션트 저항을 이용할 경우 기존 3개의 레그-션트 저항을 이용했을 때보다 시스템의 가격이 감소할 뿐만 아니라 레그-션트 저항에서 발생하는 손실이 감소하여 전체 인버터의 효율이 증가한다는 장점이 있다.

### 1. 서론

최근 소용량 저전류 조건에서 동작하는 소형 전동기 구동 시스템의 경우, 원가 절감을 위하여 홀 센서 등으로 상 전류를 측정하는 대신 션트 저항을 이용하여 상 전류를 측정하는 방법이 많이 사용되고 있다. 션트 저항을 이용하여 상 전류를 측정하는 방법에는 하나의 DC link 션트 저항을 이용하여 상 전류를 측정하는 방법과 세 개의 레그-션트 저항을 이용하여 상 전류를 측정하는 방법이 주로 연구되어 왔다<sup>[1][2]</sup>.

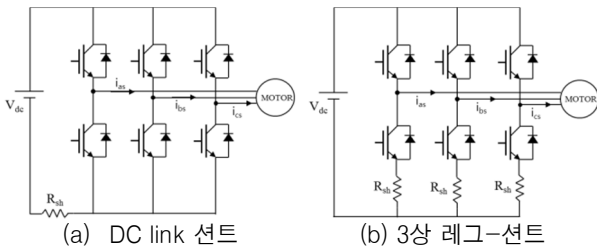


그림 1. 션트 저항을 이용한 상 전류 측정 방법

하나의 DC link 션트 저항을 이용하여 전류를 측정하는 방법의 경우 단 하나의 션트 저항을 사용하기 때문에 시스템이 간단하다는 장점이 있다. 하지만 상 전류를 두 개 이상 동시에 측정하는 것이 불가능하기 때문에 순시적인 3상 전류를 측정할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 세 개의 레그-션트 저항을 이용하여 상 전류를 측정하는 방법은 순시적인 3상 전류를 측정할 수는 있지만, 세 개의 레그-션트 저항에서 발생하는 손실로 인해 전체 시스템의 효율이 감소하고, 측정을 위한 션트 저항 주변 회로가 증가하여 시스템의 가격이 상승한다는 단점이 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 2개의 레그-션트 저항을 이용해서 3상 전류를 측정하는 방법에 대해서 제안한다. 그리고 제안한 방법을 이용했을 때 3상 전류를 측정할 수 있는 측정 범위에 대해서

분석한다.

## 2. 제안된 상 전류 측정 방법 및 측정 가능 영역

### 2.1 레그-션트 상 전류 측정 방법

[그림1(b)]에서 볼 수 있듯이, 레그-션트 저항은 3상 인버터 각 레그(Leg)의 하단에 위치 하고 있다. 따라서 하단 스위치가 턴 온(Turn-On) 되었을 때만 상 전류가 레그-션트 저항을 통해서 흐르게 되어 상 전류의 측정이 가능해진다. 또한, 3상에 흐르는 상 전류의 합은 항상 0이 되기 때문에 2개의 상 전류 정보를 이용하면 3상 전체 전류의 정보를 복원할 수 있다.

$$i_{as} + i_{bs} + i_{cs} = 0 \quad (1)$$

스위칭 상태( $S_a, S_b, S_c$ )에 따라서 션트 저항에 흐르는 상 전류를 표시하면 표1과 같다. 스위칭 상태 1은 상단 스위치가 턴 온, 0은 하단 스위치가 턴 온 된 상태를 나타낸다.

표 1. 스위칭 상태에 따라 션트 저항에 흐르는 상 전류

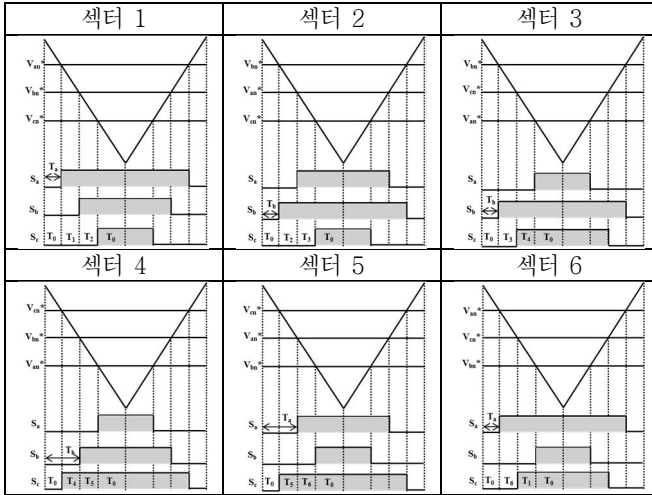
스위칭 상태 ( $S_a, S_b, S_c$ )	레그-션트 저항 3개 사용 ( $i_{sh_a}, i_{sh_b}, i_{sh_c}$ )	레그-션트 저항 2개 사용 ( $i_{sh_a}, i_{sh_b}, 0$ )
(0,0,0)	( $i_a, i_b, i_c$ )	( $i_a, i_b, 0$ )
(1,0,0)	(0, $i_b, i_c$ )	(0, $i_b, 0$ )
(1,1,0)	(0, 0, $i_c$ )	(0, 0, 0)
(0,1,0)	( $i_a, 0, i_c$ )	( $i_a, 0, 0$ )
(0,1,1)	( $i_a, 0, 0$ )	( $i_a, 0, 0$ )
(0,0,1)	( $i_a, i_b, 0$ )	( $i_a, i_b, 0$ )
(1,0,1)	(0, $i_b, 0$ )	(0, $i_b, 0$ )
(1,1,1)	(0, 0, 0)	(0, 0, 0)

[표 1]에서 음영 표시 된 부분은 사용된 레그-션트 저항을 이용하여 3상 전류를 측정할 수 있는 스위칭 상태를 나타낸다. 레그-션트 저항을 2개 사용하게 되면 3개를 사용했을 때보다 3상 전류를 측정 할 수 있는 스위칭 상태가 줄어든다. 하지만 사용된 션트 저항의 수가 감소하여 제품의 원가를 절감할 수 있다. 뿐만 아니라, 레그-션트 저항에서 발생하는 손실이 감소하여 시스템의 효율이 증가한다.

### 2.2 2개의 레그-션트 저항 사용 시 상 전류 측정 가능 영역

2개의 레그-선트 저항 사용 시 3상 전류를 측정할 수 있는 측정 영역을 분석하기 위해서 인버터의 데드 타임(Dead time), 회로 지연 시간, A/D 샘플링(Sampling)시간 등 전류 샘플링(Sampling)에 필요한 최소 시간을  $T_{min}$ 으로 정의한다. SVPWM 방법을 사용했을 때, 전압 평면의 섹터(Sector)별 스위칭 패턴을 표시하면 다음과 같다.

표 2. 전압 평면의 섹터 별 스위칭 패턴



a상과 b상에 레그-선트 저항을 사용한다고 가정하면, 각 섹터에서 a상의 하단 스위치가 켜져 있는 시간( $T_a$ )과 b상의 하단 스위치가 켜져 있는 시간( $T_b$ ) 중 작은 값이  $T_{min}$ 보다 커야 3상 전류를 측정할 수 있다.

$$\min(T_a, T_b) > T_{min} \quad (2)$$

또한 유효벡터 인가시간( $T_1 \sim T_6$ )과 영벡터 인가시간( $T_0$ )의 합은 반주기와 같으므로 섹터 1을 기준으로 식 (3)이 성립한다.

$$T_1 + T_2 + 2T_0 = \frac{T_{sw}}{2} \quad (3)$$

따라서 두 관계를 이용하여 섹터 1의 측정 불가능한 영역을 계산하면 식 (4)와 같은 결과가 나오고 같은 방식으로 모든 섹터에서 계산하여 측정 불가능한 영역을 전압 벡터 평면에 음영으로 나타내면 [그림 3]과 같이 나온다.

$$T_1 + T_2 > \frac{T_{sw}}{2} - 2T_{min} \quad (4)$$

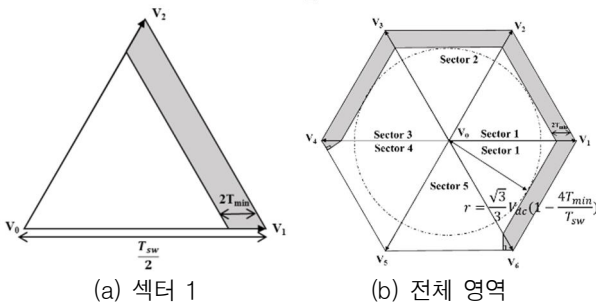


그림 3. 2개의 레그-선트 저항 사용시 상 전류 측정 불가능 영역

2개의 레그-선트 저항 사용시 측정 가능한 영역의 절대적인 크기는 사용된 시스템의  $T_{min}$  과  $T_{sw}$ 에 따라서 다르다. 하지만 위의 조건이 동일하다고 가정한다면, 2개의 레그-선트 저항 사용 시 측정 가능한 전압 원의 반지름은 식 (5)와 같다.

$$r = \frac{\sqrt{3}}{3} V_{dc} \left(1 - \frac{4T_{min}}{T_{sw}}\right) \quad (5)$$

또한, 기존의 3개 레그-선트 저항을 사용하여 SVPWM을 사용할 경우 측정 가능한 전압 원의 반지름은 식 (6)과 같다<sup>[2]</sup>.

$$r = \frac{2}{3} V_{dc} \left(1 - \frac{4T_{min}}{T_{sw}}\right) \quad (6)$$

결과적으로, 제안된 방법인 2개의 레그-선트 저항을 사용하면 상 전류 측정 가능 영역이 기존의 3개의 레그-선트 저항 사용 시 대비 대략 86.6%가 된다.

### 3. 시뮬레이션 결과

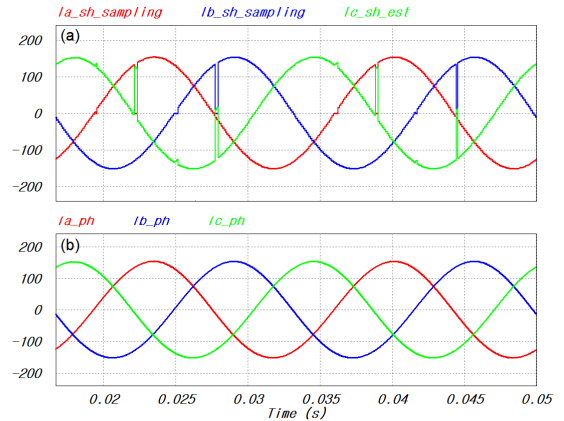


그림 4. 시뮬레이션 결과

(a) 2개의 레그-선트 저항 사용 시 상 전류 (b) 실제 상 전류

### 4. 결론

본 논문에서는 2개의 레그-선트 저항을 이용하여 3상 전류를 측정하는 방법에 대하여 제안하고 제안된 방법 사용 시에 측정 가능한 영역에 대하여 분석하였다. 제안된 방법을 사용하면, 기존 3개의 레그-선트 저항을 사용하는 방법에 비해 사용되는 레그-선트 저항의 수와 측정을 위한 주변 회로가 감소하기 때문에 시스템 가격이 감소하고 레그-선트 저항에서 발생하는 손실이 줄어들기 때문에 효율이 증가한다는 장점을 가지고 있다. 하지만 상 전류 측정 가능 영역이 기존 방법 대비 86.6%에 해당하는 측정 가능 영역을 갖고 있다.

따라서 제안된 방법과 기존 방법은 비용 및 효율과 측정 가능 영역 사이에 트레이드 오프(Trade-off)가 존재한다.

### 참고 문헌

- [1] J.I. Ha, "Voltage injection method for three-phase current reconstruction in PWM inverters using a single sensor," IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 3, pp. 767-775, Mar. 2009.
- [2] B.G. Cho, J.I. Ha, S.K. Sul "Analysis of the phase current measurement boundary of three shunt sensing PWM inverters and expansion method," Journal of Power Electronics, vol. 13, no. 2, pp. 232-242, Mar. 2013.