

# 레그 션트저항을 이용한 2상 유도전동기의 상전류 복원 방법

## Phase Current Reconstruction Method of 2-Phase Induction Motor using Leg-Shunt Resistors

김 동 기\* · 윤 덕 용\*  
(Dong-Ki Kim · Duck-Yong Yoon)

**Abstract** - This paper proposes an economical method that the phase currents can be measured and reconstructed by means of the leg-shunt resistors in the 3-leg 2-phase vector-controlled inverter for 2-phase induction motor. In general, the phase currents of 2-phase induction motor have been measured using two Hall current sensors. However, because Hall current sensors are expensive, economically disadvantageous to apply in low power applications. The proposed method is verified by computer simulations and experiments to show the good performance of the vector control.

**Key Words** : Shunt resistor, 2-phase induction motor, Low-cost inverter, 3-leg inverter, Vector control

### 1. 서 론

유도전동기는 전동기에 입력되는 공급 전원에 따라 단상 유도전동기(SPIM ; Single-Phase Induction Motor)와 3상 유도전동기(3PIM ; 3-Phase Induction Motor)로 구분된다. 3상 전원을 사용할 수 없는 가전제품과 같은 소용량의 응용분야에서는 속도 제어가 어렵고 효율이 나쁘지만, 가격이 저렴하다는 이유로 SPIM을 주로 사용하고 있다. SPIM은 구조적으로 자기기동이 불가능하여 주권선과 90[°]의 위상차가 나는 보조권선을 설치하고, 여기에 직렬로 커패시터를 연결하여 기동토크를 발생시킨다. 이것은 기동에 필요한 보조권선으로 인해 이론상 비대칭 2상 유도전동기가 되며 최근에는 가전제품의 고급화 추세에 따라 SPIM을 사용하여 벡터제어(vector control)를 수행하는 연구가 진행되기도 하였으나[1-3], 이것은 주권선과 보조권선의 비대칭으로 인하여 근본적으로 벡터제어가 어려운 것으로 알려져 있다[4]. 이를 해결하기 위해서는 보조권선을 주권선과 동일한 권선으로 대칭 분포시켜야 하는데, 이렇게 제작된 전동기를 2상 유도전동기(2PIM ; 2-Phase Induction Motor)라 한다. 종래에 2PIM은 주로 위치 제어 시스템에서 서보모터(servomotor) 용도로 사용되었으며, 전동기를 수학적으로 모델링하는데 있어 많은 부분에서 3PIM과 유사하다[5].

2PIM의 벡터제어를 위해서는 순시 토크제어가 필요하며, 여기에는 전동기로 입력되는 상전류를 측정하는 것이 필수적으로 요구된다. 일반적으로 a상 및 b상에 각각 홀전류센서(Hall current

sensor)를 사용하여 전동기의 입력전류를 측정하는데, 소용량 인버터에서는 시스템의 부피와 제작 원가가 곧 제품의 경쟁력이기 때문에 3PIM용 인버터에서는 홀전류센서를 사용하는 대신에 션트저항(shunt resistor)을 사용하여 상전류를 복원하는 여러 가지 방법이 연구되어 왔다[6-11]. 또한 오늘날에는 소용량의 3상 인버터를 설계하는데 있어 SPM(Smart Power Module) 또는 IPM(Intelligent Power Module)이 널리 사용되고 있는데, 대다수의 전력용 반도체 회사에서도 사용자가 저가의 션트저항 방법을 사용할 것을 고려하여 하위 스위치 아래쪽을 오픈시켜 설계하는 경향이 있다[12, 13]. 그러나, 본 논문에서 사용하는 2PIM용 인버터에서는 아직 이에 대한 연구가 거의 없었으며, 전동기의 구동 방법 및 PWM 제어 기술에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 본 논문에서는 2PIM을 위한 3레그형 2상 인버터의 하위 스위치 아래쪽에 션트저항을 삽입하여 전동기의 모든 운전영역에서 상전류를 복원할 수 있는 방법을 제안한다. 이 방법에서는 션트저항이 전체 제어 시스템의 접지점에 공통으로 연결되므로 전류측정 신호를 증폭하고 필터링하여 마이크로컨트롤러의 A/D 컨버터에 공급하기 위한 아날로그 회로의 구성이 간단하고 쉬워진다[6, 7, 9]. 본 논문에서는 제안된 방법을 360[W]급의 2PIM용 벡터제어 인버터에 적용하고, 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 유효성을 검증한다.

### 2. 레그 션트저항을 이용한 상전류 복원 방법

본 논문에서 사용된 2PIM을 위한 3레그형 2상 벡터제어 인버터의 기본 구성은 그림 1과 같다. 3레그형 2상 인버터에서 8가지의 스위칭 상태에 따른 상전압 벡터는 표 1과 같고, 좌표평면에 출력전압 벡터로 그리면 그림 2와 같이 비대칭 육각형의 형태로 나타낼 수 있다. 이것은 샘플링 시간  $T_s$  동안 인버터가 출

\* Corresponding Author : Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, Kongju National University, Korea  
E-mail : yoon3m@kongju.ac.kr

\* Engineer in Discrete Automation and Motion of ABB Korea  
Received : April 14, 2015; Accepted : July 29, 2015

력할 수 있는 최대전압의 크기가  $V_{dc}$ 인 4개의 꼭짓점과  $\sqrt{2} V_{dc}$ 인 2개의 꼭짓점으로 이루어져 있으며, V(1)~V(6)을 유효벡터, V(0)과 V(7)을 무효벡터 또는 영벡터라 한다. 3레그형 2상 인버터는 3상 인버터에서와 마찬가지로 2개의 영벡터를 가지고 있어서 비교적 쉽게 SVPWM(Space Vector PWM) 방식을 구현할 수 있으며, 선형 변조영역이  $V_{dc}/\sqrt{2}$ 로서 3상 인버터의 SVPWM 방식에 비해 22.5[%]가 증가한다.

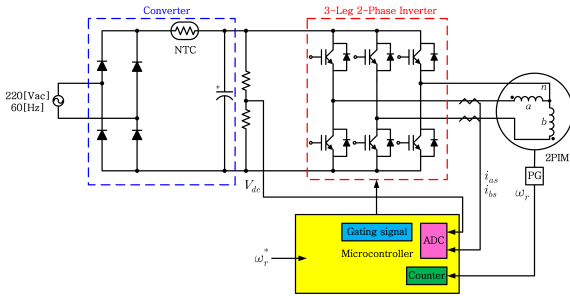


그림 1 2상 유도전동기를 위한 3레그형 2상 벡터제어 인버터  
 Fig. 1 3-leg 2-phase vector-controlled inverter for 2-phase induction motor

표 1 인버터의 스위칭 상태에 따른 상전압 벡터  
 Table 1 Phase voltage vector according to switching states of inverter

전압벡터	$SW_a$	$SW_b$	$SW_n$	$V_s$	$v_{as}$	$v_{bs}$
V(0)	0	0	0	$0 \angle 0^\circ$	0	0
V(1)	1	0	0	$V_{dc} \angle 0^\circ$	$V_{dc}$	0
V(2)	1	1	0	$V_{dc} \angle 45^\circ$	$V_{dc}$	$V_{dc}$
V(3)	0	1	0	$V_{dc} \angle 90^\circ$	0	$V_{dc}$
V(4)	0	1	1	$V_{dc} \angle 180^\circ$	$-V_{dc}$	0
V(5)	0	0	1	$V_{dc} \angle 225^\circ$	$-V_{dc}$	$-V_{dc}$
V(6)	1	0	1	$V_{dc} \angle 270^\circ$	0	$-V_{dc}$
V(7)	1	1	1	$0 \angle 0^\circ$	0	0

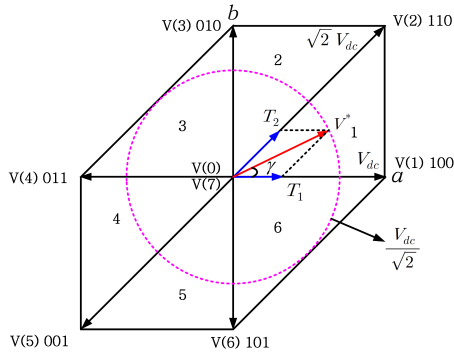


그림 2 3레그형 2상 인버터의 출력전압 벡터  
 Fig. 2 Output voltage vectors of 3-leg 2-phase inverter

2.1 2개의 션트저항을 이용한 상전류 복원 방법

3레그형 2상 인버터에서는 그림 3과 같이 a, b상 레그의 하위 스위치 아래쪽에 2개의 션트저항을 삽입하여 저가로 상전류를 측정할 수 있는데, 인버터의 스위칭 상태에 따라 이들 션트저항에 흐르는 전류를 나타내면 표 2와 같다.

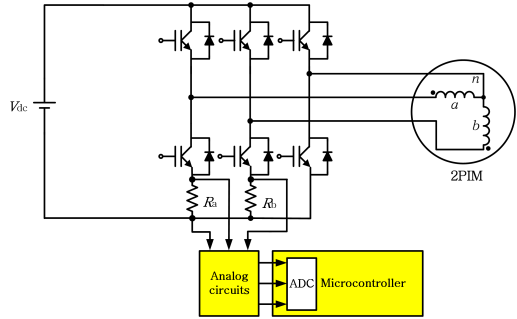


그림 3 2개의 션트저항을 이용한 상전류 복원  
 Fig. 3 Phase current reconstruction using 2-shunt resistors

표 2 2개의 션트저항을 사용하는 방법에서 스위칭 상태에 따라 측정 가능한 전류

Table 2 Measurable currents according to switching states in 2-shunt resistor method

전압벡터	$SW_a$	$SW_b$	$SW_n$	$R_a$	$R_b$
V(0)	0	0	0	$i_{as}$	$i_{bs}$
V(1)	1	0	0	×	$i_{bs}$
V(2)	1	1	0	×	×
V(3)	0	1	0	$i_{as}$	×
V(4)	0	1	1	$i_{as}$	×
V(5)	0	0	1	$i_{as}$	$i_{bs}$
V(6)	1	0	1	×	$i_{bs}$
V(7)	1	1	1	×	×

이 방법에서 V(0)벡터와 V(5)벡터를 제외하고는 2개의 상전류를 동시에 측정할 수 있는 스위칭 상태가 존재하지 않는다. 그리고, 이 2개의 상전류를 측정할 수 있는 전압벡터에서도 인가 시간이 그림 4와 같이 상전류를 측정할 수 있는 최소 시간  $T_{min}$  이상을 만족하는 경우에만 올바르게 상전류를 측정할 수 있다. 이것을 수식적으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$T_{min} = T_{dt} + T_{d(on)} + T_{r(on)} + T_{s(on)} + T_{SH} \quad (1)$$

여기서,  $T_{dt}$ 는 상하 스위치의 dead-time,  $T_{d(on)}$ 은 하위 스위치의 turn-on propagation delay time,  $T_{r(on)}$ 은 하위 스위치의

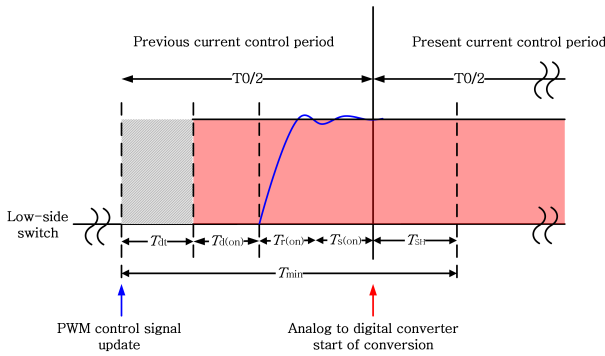


그림 4 하위 스위치의 최소 턴-온 시간  
 Fig. 4 Minimum turn-on time of a low-side switch

turn-on rising time,  $T_{s(on)}$ 은 하위 스위치의 turn-on settling time,  $T_{ST}$ 는 A/D 컨버터의 sample and hold time이다.

그러나, 본 논문에서 사용한 3레그형 2상 인버터는 그림 2에서 보는 것과 같이 기준전압의 크기가  $V_{dc}/\sqrt{2}$ 인 선형 변조영역을 제외하고도 상당히 큰 여유 공간이 존재한다. 이 여유는 기준전압이 꼭짓점에 근접할수록 더 커지는데, 이 공간을 시간적으로 보면 인버터가 영벡터를 출력하는 시간이 된다. 여기서, 크기가  $V_{dc}$ 인 꼭짓점과  $\sqrt{2} V_{dc}$ 인 꼭짓점에 대해서 각각 영벡터를 출력하는 시간  $T_{01}$ 과  $T_{02}$ 를 계산하면 식 (2), (3)과 같다.

i) 최대 출력전압의 크기가  $V_{dc}$ 인 경우

$$T_{01} = T_s - \frac{V_{dc}/\sqrt{2}}{V_{dc}} T_s = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) T_s \quad (2)$$

ii) 최대 출력전압의 크기가  $\sqrt{2} V_{dc}$ 인 경우

$$T_{02} = T_s - \frac{V_{dc}/\sqrt{2}}{\sqrt{2} V_{dc}} T_s = \frac{T_s}{2} \quad (3)$$

따라서, 대부분의 운전영역에서는 V(0)벡터의 인가 시간이 충분히 존재하게 되어 2개의 션트저항만으로 각 상전류를 측정할 수 있다. 그러나, 섹터 3과 섹터 6의 중간영역에서 기준 전압벡터  $V^*$ 가 클 경우에는 V(0)벡터의 인가 시간이 부족하게 되어 상전류의 복원이 불가능한 영역이 존재하게 된다.

### 2.2 3개의 션트저항을 이용한 상전류 복원 방법

앞에서 설명한 2개의 션트저항 방법은 다른 섹터에 비해 상대적으로 영벡터의 인가 시간이 부족한 섹터 3과 섹터 6에서 상전류의 복원이 불가능한 경우가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 5와 같이 중성선(neutral line) 레그에 1개의 션트저항을 더 추가하여 전동기의 모든 운전영역에서

정확하게 상전류를 복원할 수 있는 방법을 제안한다.

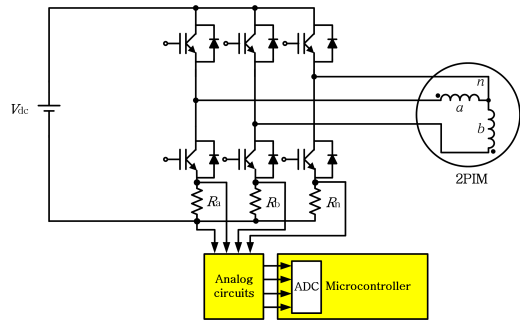


그림 5 3개의 션트저항을 이용한 상전류 복원  
 Fig. 5 Phase current reconstruction using 3-shunt resistors

표 3 3개의 션트저항을 사용하는 방법에서 스위칭 상태에 따라 측정 가능한 전류

Table 3 Measurable currents according to switching states in 3-shunt resistor method

전압벡터	$SW_a$	$SW_b$	$SW_n$	$R_a$	$R_b$	$R_n$
V(0)	0	0	0	$i_{as}$	$i_{bs}$	$i_n$
V(1)	1	0	0	×	$i_{bs}$	$i_n$
V(2)	1	1	0	×	×	$i_n$
V(3)	0	1	0	$i_{as}$	×	$i_n$
V(4)	0	1	1	$i_{as}$	×	×
V(5)	0	0	1	$i_{as}$	$i_{bs}$	×
V(6)	1	0	1	×	$i_{bs}$	×
V(7)	1	1	1	×	×	×

2PIM의 a상과 b상 전류는 모두 중성선을 통하여 흐르는데, 인버터의 스위칭 상태에 따라 3개의 션트저항에 흐르는 전류를 나타내면 표 3과 같다. 이 방법은 선형 운전영역에서 전류 측정이 가능한 경우에 식 (4)와 같이 a, b상 레그의 션트저항에서 V(0)벡터가 인가되는 시점에 상전류를 측정할 수 있다. 그러나, 영벡터 인가 시간이 부족한 영역에서는 기준 전압벡터의 위치에 따라 섹터 3에서는 b상 전류의 복원을 위해 V(3)벡터를 이용하고, 섹터 6에서는 a상 전류의 복원을 위해 V(1)벡터를 이용하여 식 (5), (6)과 같이 중성선 전류를 포함한 수정된 계산 방법으로 측정 불가능 영역이 없이 2개의 상전류를 모두 복원할 수 있다.

i) 선형 운전영역에서 상전류 측정이 가능한 경우

$$\begin{aligned} i_{as} &= i'_{as} \\ i_{bs} &= i'_{bs} \end{aligned} \quad (4)$$

ii) 기준 전압벡터가 섹터 3에 위치하고, V(0)벡터의 인가 시간이  $T_{min}$ 보다 작은 경우

$$\begin{aligned} i_{as} &= i'_{as} \\ i_{bs} &= i'_n - i'_{as} \end{aligned} \quad (5)$$

iii) 기준 전압벡터가 섹터 6에 위치하고, V(0)벡터의 인가 시간이  $T_{min}$ 보다 작은 경우

$$\begin{aligned} i_{as} &= i'_n - i'_{bs} \\ i_{bs} &= i'_{bs} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $i'_{as}$ ,  $i'_{bs}$ ,  $i'_n$ 은 각각 3개의 선트저항으로부터 측정된 a상 전류, b상 전류, 중성선 전류를 나타낸다.

### 3. 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험 결과

#### 3.1 컴퓨터 시뮬레이션

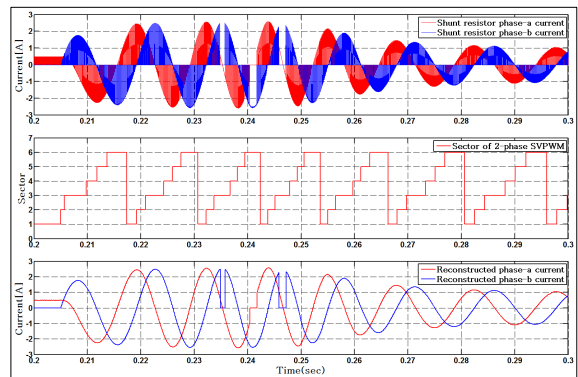
본 논문에서 제안한 방법의 유효성을 검증하기 위해 표 4와 같은 정격 사양 및 파라미터를 갖는 샘플 2PIM을 선정하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 소프트웨어로는 MATLAB/Simulink를 사용하였으며, 기본 벡터제어 알고리즘은 C언어로 작성하였고 이를 S-functions 블록에 연동하여 제어성을 확인하였다. 여기서, 속도와 전류 제어주기는 각각 5[ms]와 100[μs]이며, 인버터의 스위칭 주파수는 10[kHz]이다.

표 4 샘플 2상 유도전동기의 사양

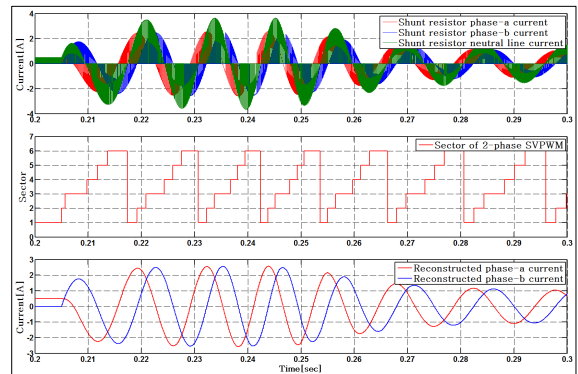
Table 4 Specification of sample 2-phase induction motor

정격 사양 및 정수	단 위	값
정격 전압	V	2상 220
정격 전류	A	1.38
극 수	Pole	4
정격 출력	W	360
정격 토크	N·m	2.15
정격 속도	rpm	1600
관성 모멘트	kg·m <sup>2</sup>	0.00019837
마찰계수	kg·m <sup>2</sup> /sec	0.000740
고정자 저항( $R_s$ )	Ω	21.7542
고정자 인덕턴스( $L_s$ )	H	0.4721
회전자 저항( $R_r$ )	Ω	39.0828
회전자 인덕턴스( $L_r$ )	H	0.4721
상호 인덕턴스( $L_m$ )	H	0.4160

2PIM을 1/2부하 상태에서 기준속도를 +1200[rpm]으로 스텝 기동하고, 과도상태에서 2개의 선트저항으로 상전류를 복원한 경우와 3개의 선트저항으로 상전류를 복원한 경우의 비교 시뮬레이션 파형을 그림 6에 보였다. 2개의 선트저항을 사용하여 상전류를 복원한 그림 6(a)의 경우에는 V(0)벡터의 인가 시간이 부족한 섹터 3의 중간영역에서 b상 전류의 복원이 불가능하고, 섹터 6의 중간영역에서 a상 전류의 복원이 불가능하다는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 중성선 레그에 추가된 선트저항을 이용하여 측정 불가능 영역에서 수정된 계산 방법을 적용한 그림 6(b)의 결과에서 볼 수 있듯이, 2개의 상전류가 정확히 복원되는 것은 확인할 수 있다.



(a) 2개의 선트저항을 사용하는 방법의 경우



(b) 3개의 선트저항을 사용하는 방법의 경우

그림 6 2개의 선트저항 방법과 3개의 선트저항 방법의 비교 시뮬레이션 결과

Fig. 6 Compared simulation results of 2-shunt resistor method and 3-shunt resistor method

그림 7은 3개의 선트저항 방법으로 복원한 a, b상 전류를 벡터제어에 적용하여 1/2부하 상태에서 기준속도를 +1200[rpm]으로 스텝 기동하고, 0.8[sec] 후에 이를 -1200[rpm]으로 역회전 시키며, 다시 0.8[sec] 후에 정지시킨 경우의 속도응답 특성을 확인한 시뮬레이션 결과이다. 기동 및 가속, 감속과 같은 과도상태

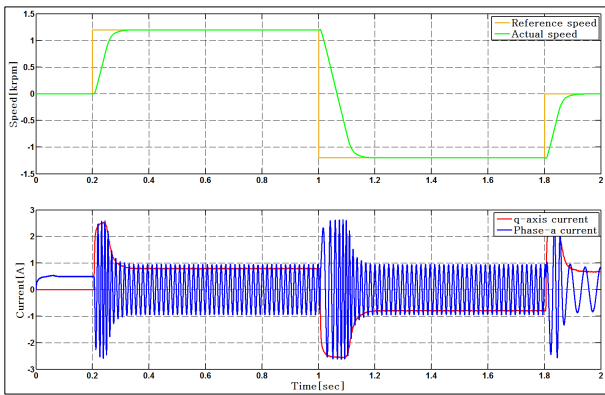


그림 7 1/2부하 상태에서의 속도응답 특성 시뮬레이션 결과  
 Fig. 7 Simulation results of speed response characteristics at 1/2 load condition

에서 전동기의 회전속도가 기준속도를 잘 추종하여 제어되는 것을 볼 수 있다.

### 3.2 실험 결과

본 논문에서 실험에 사용한 360[W]급 2PIM을 위한 3레그형 2상 벡터제어 인버터의 실험 장치는 그림 8과 같다. 입력단 정류 회로에는 다이오드 모듈을 사용하였고, 2상 인버터 회로에는 LS Power Semitech사의 600[V]/6[A]/0.8[kW]급의 IPM 소자인 IGCM06F60GA를 사용하였으며, 제어기로는 STMicroelectronics사의 32-bit ARM Cortex-M4형 마이크로컨트롤러인 STM32F407VET6을 사용하였다. 이것은 대칭변조 방식의 PWM 출력 모듈을 내장하고 있고, 3채널의 A/D 컨버터를 사용하여 3개의 션트저항에 흐르는 전류를 동시에 측정할 수 있다[14]. 실험 장치의 제어 프로그램은 C언어로 작성하였고, 하드웨어 개발 툴로는 저가형 에뮬레이터인 ST-LINK/V2를 사용하였다.

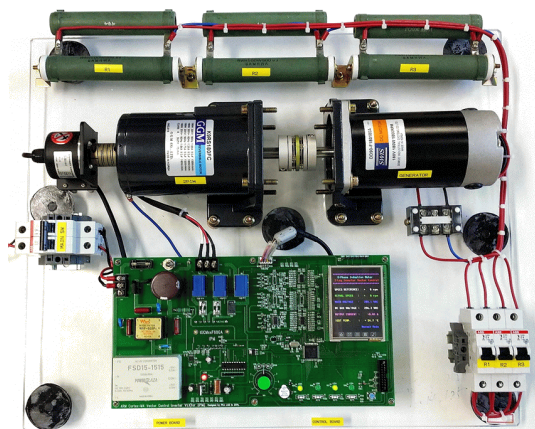
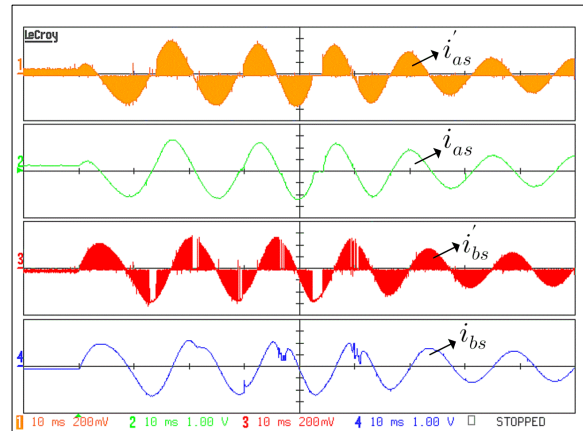
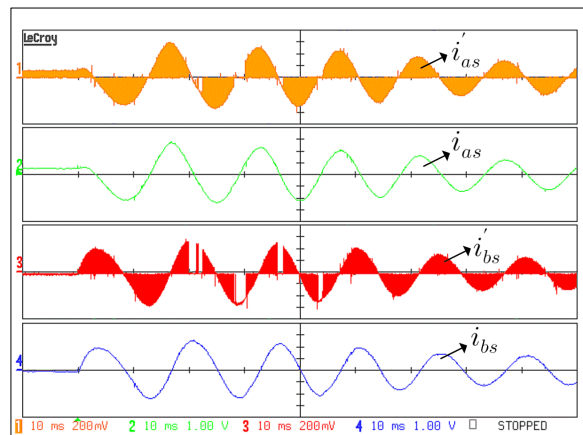


그림 8 실험 장치의 사진  
 Fig. 8 Photograph of experimental setup

모든 실험은 컴퓨터 시뮬레이션과 동일한 방법으로 실시하였으며, 그림 9는 과도상태에서 2개의 션트저항으로 상전류를 복원한 경우와 3개의 션트저항으로 상전류를 복원한 경우의 비교 실험 결과이다. 그림 9(b)의 실험 결과에서 볼 수 있듯이, 본 논문에서 제안한 3개의 션트저항 방법은 앞에서의 시뮬레이션 결과와 같이 2개의 상전류가 정확히 복원되는 것은 확인할 수 있다.



(a) 2개의 션트저항을 사용하는 방법의 경우



(b) 3개의 션트저항을 사용하는 방법의 경우

그림 9 2개의 션트저항 방법과 3개의 션트저항 방법의 비교 실험 결과

Fig. 9 Compared experimental results of 2-shunt resistor method and 3-shunt resistor method

그림 10은 속도응답 특성 실험 결과이다. 기동 및 가속, 감속과 같은 과도상태에서 전동기의 회전속도가 기준속도를 잘 추종하여 제어되는 것을 볼 수 있다.

그림 11은 벡터제어를 수행하는 동안에 a, b상 전류가 90[°]의 위상차를 유지하면서 정현파로 올바르게 제어되는지를 확인하기 위한 상전류 파형 및 리사주 도형이다. 2개의 상전류가 90[°]

의 위상차를 가지고 정현파 형태의 전류로 제어가 잘 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있다.

전제품과 같은 저가형 소용량의 전동기 응용분야에 널리 사용될 것으로 기대된다.

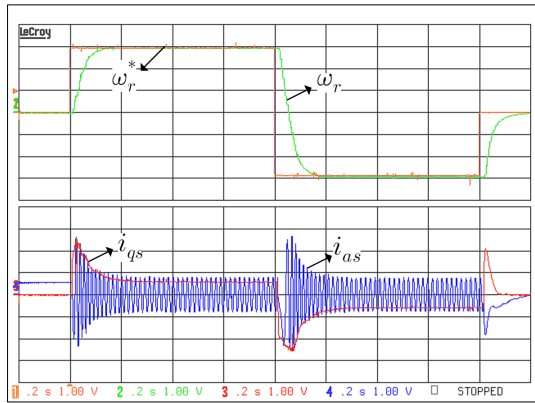


그림 10 1/2부하 상태에서의 속도응답 특성 실험 결과  
**Fig. 10** Experimental results of speed response characteristics at 1/2 load condition

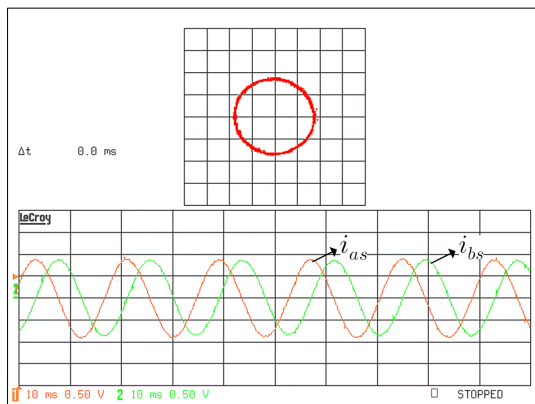


그림 11 2상 전류 파형과 리사주 도형  
**Fig. 11** 2-phase current waveforms and Lissajous figure

#### 4. 결 론

본 논문에서는 2PIM용 벡터제어 인버터의 저가격화를 위해 값비싼 홀전류센서를 사용하는 대신에 인버터의 하위 스위치 아래쪽에 저가의 셉트저항을 삽입하여 전동기의 상전류를 복원하는 방법을 제안하였다. 2PIM을 위한 3레그형 2상 인버터에서 2개의 셉트저항 방법은 상전류의 복원이 불가능한 영역이 존재하게 되지만, 중성선에 1개의 셉트저항을 더 추가하면 이러한 문제없이 전동기의 모든 운전영역에서 정확하게 상전류를 복원할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 컴퓨터 시뮬레이션과 실험 결과로부터 a상 및 b상 전류가 정확하게 복원되는 것을 확인하였으며, 복원된 전류를 사용하여 벡터제어를 수행한 결과 기존의 홀전류센서를 사용한 경우처럼 우수한 벡터제어 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 제안된 방법을 적용한 2PIM용 벡터제어 인버터는 가

#### 감사의 글

"이 논문은 2014년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구 지원에 의하여 연구되었음."

#### References

- [1] M. B. R. Correa, C. B. Jacobina, E. R. C. da Silva, and A. M. N. Lima, "Rotor-Flux-Oriented Control of a Single-Phase Induction Motor Drive", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 47, no. 4, pp. 832-841, Aug. 2000.
- [2] M. B. R. Correa, C. B. Jacobina, E. R. C. da Silva, and A. M. N. Lima, "Vector Control Strategies for Single-Phase Induction Motor Drive Systems", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 51, no. 5, pp. 1073-1080, Oct. 2004.
- [3] Sh. Reicy, S. Vaez-Zadeh, "Vector Control of Single-Phase Induction Machine with Maximum Torque Operation", *IEEE ISIE 2005*, pp. 923-973, June 2005.
- [4] Do-Hyun Jang, "Problems Incurred in a Vector-Controlled Single-Phase Induction Motor, and a Proposal for a Vector-Controlled Two-Phase Induction Motor as a Replacement", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 1, pp. 526-536, Jan. 2013.
- [5] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff, *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, Wiley-Interscience, pp. 361-364, 2002.
- [6] Microchip Technology Inc., AN894 Motor Control Sensor Feedback Circuits, Nov. 2003.
- [7] Freescale Semiconductor, DRM092 3-Phase AC Induction Vector Control Drive with Single Shunt Current Sensing, July 2007.
- [8] Darko P. Marčetić, Evgenije M. Adžić, "Improved Three-Phase Current Reconstruction for Induction Motor Drives With DC-Link Shunt", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 7, pp. 2454-2462, July 2010.
- [9] STMicroelectronics, AN4076 Two or three shunt resistor based current sensing circuit design in 3-phase inverters, Oct. 2012.
- [10] Do-Yun Kim, Jung-Hyo Lee, Taek-Kie Lee, Chung-Yuen Won, "Phase Current Sensing Method using Three Shunt Resistor for AC Motor Drive", *IEEE VPCC*, pp. 78-82, Oct. 2012..
- [11] Won-Il Lee, Duck-Yong Yoon, "A Novel Current

Sensing Method for Low-Cost Vector-Controlled Inverter of AC Motor”, *Trans. of KIEE*, vol. 62, no. 7, pp. 950-955, July 2013.

[12] Fairchild Semiconductor, FNA40560 Motion SPM 45 Series Data Sheet, Jan. 2014.

[13] LS Power Semitech, CIPOS IGCM06F60GA Data Sheet, June 2014.

[14] STMicroelectronics, DS8626 STM32F405xx, STM32F407xx Data Sheet, June 2013.

## 저 자 소 개



### 김 동 기 (Dong-Ki Kim)

1983년 1월 5일생. 2009년 공주대학교 전기 전자제어공학부 제어계측공학전공 졸업.

2013년 동 대학원 전기전자제어공학과 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 전기전자제어공학과 박사과정. 2009년~현재 (주)ABB코리아 산업자동화사업본부 어플리케이션 엔지니어.

E-mail : dong-ki.kim@kr.abb.com



### 윤 덕 용 (Duck-Yong Yoon)

1958년 5월 19일생. 1981년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 단국대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1982년~1984년 삼성전자 종합연구소 주임연구원. 1985년~현재 공주대학교 전기전자제어공학부 제어계측공학전공 교수.

E-mail : yoon3m@kongju.ac.kr