

브러시리스 직류전동기를 위한 센서리스 제어 방식에 관한 연구

(A Study on Sensorless Control Methods for BDCM Drives)

金倫鎬* · 趙炳國** · 鞠潤相***

(Yoon-Ho Kim · Byung-Guk Cho · Yoon-Sung Kook)

요 약

브러시리스 직류전동기는 제어가 용이하고 넓은 속도 영역에서 운전이 가능하다는 등의 장점으로 인하여 건물내 에어컨의 콤프레서 구동용 모터와 같은 전력설비의 가변속 구동장치로서 많이 사용되고 있다. 원래 브러시리스 직류전동기의 구동을 위해서는 위치를 검출할 수 있는 엔코더를 필요로 한다. 그러나 에어컨 콤프레서의 구동과 같은 응용에서는 위치 센서리스 구동이 요구된다.

본 논문에서는 브러시리스 직류전동기의 다양한 위치 센서리스 구동 시스템에 대해 각각의 특성을 비교 검토하여 효율적인 센서리스 방식을 선택할 수 있도록 하였다. 또한 이들 방식중 프리휠링 다이오드 전류 검출 법은 여러가지 장점을 가진다. 예를 들면 간단한 기동 과정은 지속에서도 위치 추적이 가능하도록 한다. 이를 위한 하드웨어설계 방법을 제시하였고 DSP를 이용하여 이를 실현하였다. 실험 결과 프리휠링 다이오드 전류 검출 방식이 기동 과정과 저속 시에 여러 가지 장점을 가짐을 입증하였다.

Abstract

Brsuhless DC Motor(BDCM)is widely used in the industry such as a variable speed motor in a compressor for room air conditioners, because the motor can be easily controlled and operated over a wide speed range. The system to drive BDCM needs encoder that senses rotor position. But in a certain application, the position sensor has to be avoided.

In the paper, various position sensorless dirve systems for BDCM are investigated and critically evaluated, so that the effective method of sensorless control can be selected. Out of these methods, the freewheeling diode current sensing has many advantages. For example, the simple starting procedure makes it possible to perform

*正會員：中央大 工大 電氣工學科 副教授

**正會員：LG 產電研究所 電力電子研究室 研究員

***正會員：中央大 大學院 電氣工學科 碩士課程

接受日字：1995年 3月 25日

sensorless control even in low speed. So the hardware design for this method has been carried out and the system has been implemented using DSP. The experimental results verified that the freewheeling diode current sensing approach has advantages in starting procedure and low speed sensing.

1. 서 론

브러시리스 직류전동기는 그 구조와 제어 방법에 따라 정현파 역기전력을 갖는 영구자석 동기전동기(permanent Magnet Synchronous Motor : PMSM)와 사다리꼴 역기전력을 갖는 브러시리스 직류전동기(Brushless DC Motor : BDCM)로 구분된다.

브러시리스 직류전동기의 역기전력은 통상 120° 도통 구간을 갖는 사다리꼴 형태로 이루어져 있어서 회전자의 위치 정보는 전기각으로 60°마다 바뀐다. 그러므로 브러시리스 직류전동기를 구동하기 위해서는 회전자 위치 정보를 전기각으로 60°마다 검출하고 전동기의 3상중 항상 2상만 여자 되도록 인버터를 구동시킨다.¹⁾

브러시리스 직류전동기 구동에 사용하는 위치 검출기가 시스템중 차지하는 비중은 전동기의 용량이 작을수록 증가하며 이때 위치 검출기는 브러시리스 전동기 자체보다 시스템의 체적을 좌우하게 된다. 따라서 건물 에어컨의 효율 향상을 위한 콤프레서(Compressor)의 가변속 구동과 같은 특별한 응용에서는 고온 또는 저온으로 인한 온도등의 문제로 인하여 센서를 설치하는 경우 센서의 신뢰도가 매우 낮기 때문에 센서리스 구동 시스템이 요구된다.^{2)~4)}

본 논문에서는 첫째로 브러시리스 직류전동기의 광범위한 속도 제어를 위한 다양한 센서리스 제어 방식에 대해 비교 고찰하였다. 센서리스 제어 방식에는 역기전력 검출법²⁾, 상전류 검출법³⁾ 그리고 프리휠링 다이오드 전류 검출법⁴⁾ 등이 있으며 이 세 가지 방식에 대해서 각각의 특성을 비교 검토하여 효율적인 센서리스 방식을 선택할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 둘째로 이 결과 이러한 센서리스 방식 중 기동 과정이 간단한 프리휠링 다이오드 전류 검출법에 대하여 저속에서도 위치 추적이 가능하도록 하는 하드웨어 설계 방법을 제시하였으며 또한 이를 실제 실현

하여 실험하였다.

2. 브러시리스 직류전동기의 센서리스 방식

위치 검출기를 제거하기 위하여 그 동안 역기전력 검출법 등 몇 가지의 센서리스 방식이 제안되었다.

2.1 역기전력 검출법

역기전력 검출법은 위치 검출기를 제거하기 위하여 고정자 권선에 유도된 역기전력을 이용하여 회전자의 위치를 결정하는 방식이다²⁾. 역기전력 검출법의 원리를 살펴보면 다음과 같다.

3상 브러시리스 직류전동기를 구동하기 위해서는 120°도통 전압원 인버터를 사용하며 소자의 전류가 60°구간마다 이루어진다. 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 3개의 단자전압은 VA, VB, VC이며 중성점 전압은 VN이다. 3상 역기전력과 3상 임피던스는 각각 E_a, E_b, E_c와 Z_a, Z_b, Z_c이고 인버터 전원 DC전압은 V_o이다. 단자전압은 한상이 120°인 사다리꼴 파형이다. A상 단자전압 VA는 그림 1(b)에서와 같으며 전동기의 전류는 전기각으로 60°에서 180°와 240°에서 360°동안만 A상에 흐른다. 전기각으로 180°에서 240°동안인 등가회로는 그림 1(c)에 보였다. 스위칭 소자의 전압 강하를 무시하면 각각의 단자전압은 다음과 같다.

$$VA = VN + E_a, VB = V_o, VC = 0 \quad (1)$$

그리고 전동기의 전류 I와 중성점 전압 VN은 다음과 같이 표현된다.

$$I = \frac{V_o - (E_b - E_c)}{Z_b Z_c} \quad (2)$$

$$VN = V_o - E_b - I \times Z_b$$

일반적으로 역기전력은 서로 대칭이고 권선당 임피던스는 같다. 그러므로 A상의 단자전압은

$$VA = VN + E_a = \frac{V_o - E_b - E_c}{2} + E_a \quad (3)$$

와 같이 표현할 수 있다. 만약 $E_a=0$ 이면 이때 식 (3)으로부터 $E_b=-E_c$ 이므로 A상의 단자전압은 식 (4)와 같다.

$$V_A = V_N = V_o/2 \quad (4)$$

식 (4)는 $E_a=0$ 일 때 그림 1(b)에서와 같이 P점에서 $V_A = V_N$ 을 의미한다. 이 P점의 위치는 부하 전류와 독립적이다. 이 점을 직접 인버터 드라이브 신호로 사용하기 위해서는 점 P를 전기각으로 90° 지연이 필요하다. 그림 1(d)에서 보는 바와 같이 3개의 저역 통과 필터를 사용하여 각 단자전압을 90° 지연시킴을 볼 수 있다. 그림 1(e)는 이 회로의 타임 차트를 보여준다. 단자전압 V_A, V_B , 그리고 V_C 는 저역 통과 필터를 통하여 v_a, v_b , 그리고 v_c 가 각각 V_A, V_B, V_C 와 비교해서 90° 지연됨을 의미한다. 이것을 이용하여 결정할 수 있다. 여기에서 S_a, S_b 그리고 S_c 신호는 전압 비교기에 의해 형성된 신호로서 6개의 인버터 구동신호로 변환된다.

2.2 상전류 검출법

상전류를 검출하여 위상지연 없이 회전자의 위치 신호를 얻을 수 있다³⁾. 고정자 권선에 유도되는 전류는 정지시 제로이기 때문에 회전자의 위치를 얻기 위해서는 특별한 기동 과정이 필요하다. 먼저 6개의 인버터 구동 신호로 브러시리스 직류전동기를 기동한다. 충분히 큰 유도전류가 검출된 이후에는 상전류 검출 회로의 출력신호를 브러시리스 직류전동기 제어에 이용한다.

고정자 권선의 유도기전력 v 에 대한 회전자 자속 ϕ 와 자기인덕턴스 L 을 고려한 전류 i 의 관계식은 다음과 같다.

$$v = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (5)$$

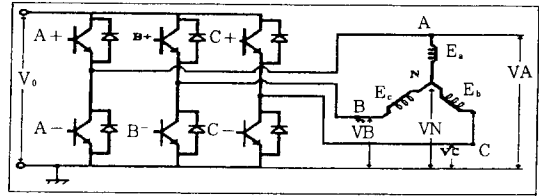
식 (5)로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$N = \frac{d\phi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (6)$$

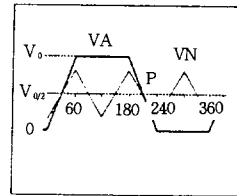
한주기 동안 위의 식을 적분하면 위의 식은 다음과 같다.

$$N\phi = Li \quad (7)$$

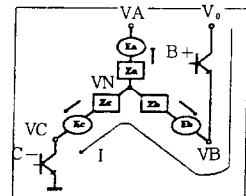
이것은 전류 i 와 자속 ϕ 와는 동상이라는 것을



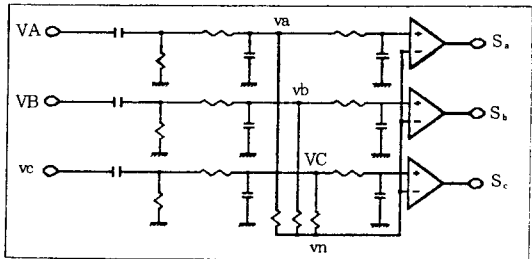
(a)



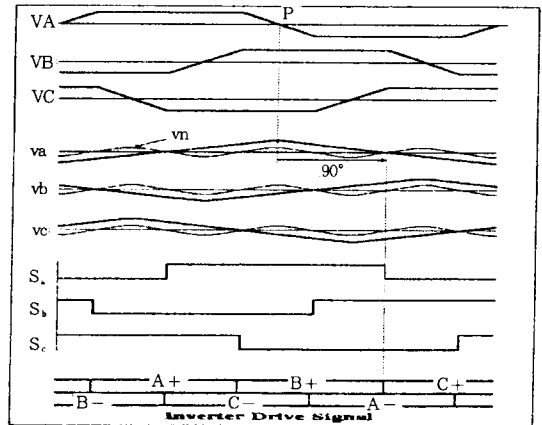
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 1. 단자전압 검출

- (a) 인버터 구성도 (b) 단자전압
- (c) 등가회로 (d) 저역통과 필터
- (e) 타임 차트

Fig. 1. Terminal voltage sensing.

- (a) Inverter configuration (c) Terminal voltage.
- (c) Equivalent circuit (d) Low-pass filter
- (e) Time chart.

의미한다.

즉,

$$\angle \phi = \angle i \quad (8)$$

이는 상전류 검출법은 역기전력 검출법에서처럼 위상지연(phase shift)을 하지 않고 상전류를 이용하여 바로 위치 검출신호를 구할 수 있음을 의미한다.

그림 2는 각 상에 추가적인 직렬 파워 저항 R_s 를 연결하여 상전류 신호를 추적하는 상전류 검출회로에 대한 시스템 블록선도이다.

2.3 프리휠링 다이오드의 전류 검출법

프리휠링 다이오드 전류를 이용한 위치 검출 방식은 스위칭 소자와 역 병렬로 연결된 프리휠링 다이오드의 도통 상태를 검출하여 브러시리스 직류전동기의 위치 정보를 얻는 것이다⁴⁾. 그림 3은 위치 센서리스 드라이브의 시스템 구성을 보여준다.

여기에 사용된 인버터는 전형적인 3상 전압원 인버터와 같으며 도통 구간은 전기각으로 120°

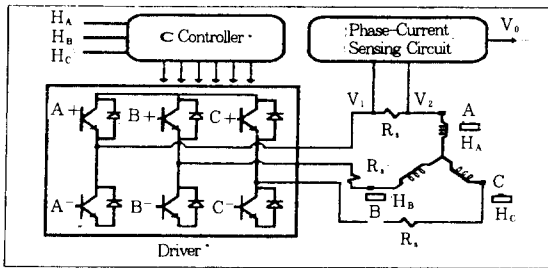


그림 2. 상전류 검출 블록선도
Fig. 2. Block diagram of phase-current sensing circuit

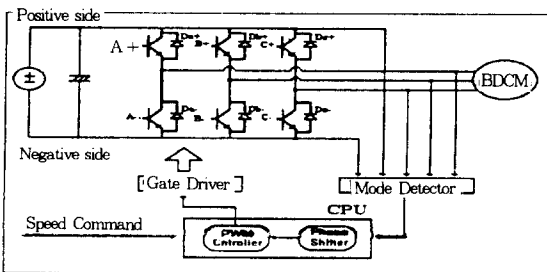


그림 3. 위치 센서리스 드라이브의 구성도
Fig. 3. System configuration

이다. 위치 정보는 60°마다 프리휠링 다이오드가 도통 상태를 검출하여 얻어진다. 그림 4에서와 같이 교번 초과제어로 하는 경우 선전류가 대칭적이 된다.

그림 5는 액티브 신호가 T_{a+} 와 T_{b-} 에 주어질 때의 간략화된 회로를 보여준다.

이러한 경우 초과 신호는 T_{a+} 에 적용하고 C 상은 오픈이다. 만약 T_{a+} 가 오프되면 전류는 프리휠링 다이오드 D_a 를 통하여 계속 흐르다가 감소한다. 이때 C 상의 전압은 다음과 같다.

$$v_c = e_c + \frac{V_{CE} + V_F}{2} - \frac{e_a + e_b}{2} \quad (9)$$

여기에서 V_{CE} 와 V_F 는 각각 T_a 과 다이오드의 포워드 전압강하를 나타낸다.

프리휠링 다이오드 D_c 에 흐르는 도통 조건은 식 (10)에서와 같다.

$$v_c < -V_F \quad (10)$$

식 (9)를 식 (10)으로 바꿔쓰면 다음과 같다.

$$e_c - \frac{e_a + e_b}{2} < -\frac{V_{CE} + V_F}{2} \quad (11)$$

역기전력이 사다리꼴이기 때문에 $e_a + e_b$ 는 대략 e_c 의 제로점 근처에서 제로이다. 그러므로 다

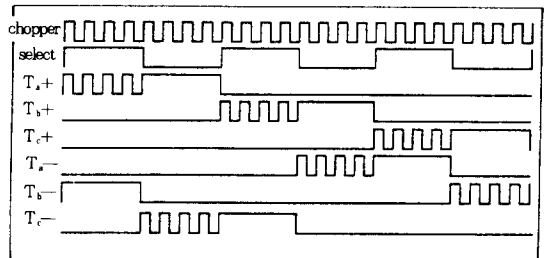


그림 4. 교번 초과 제어의 구동 신호
Fig. 4. Drive signals under alternate chopper control

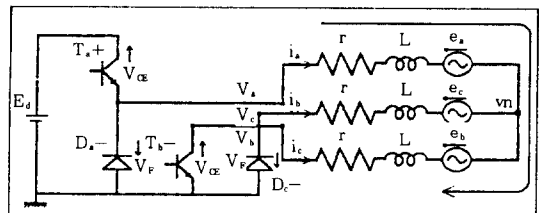


그림 5. T_{a+} 와 T_{b-} 측이 액티브 신호가 주어질 때의 간략화된 회로
Fig. 5. Simplified circuit in which active signal is given to T_{a+} and T_{b-}

이오드 Dc의 도통 상태는 다음과 같다.

$$e_c \left(- \frac{V_{CE} + V_F}{2} \right) \quad (12)$$

일반적으로 V_{CE} 와 V_F 는 역기전력에 비해 매우 작다. C상 역기전력 e_c 가 마이너스로 되면 오픈상 전류는 마이너스측 다이오드 Dc를 통하여 흐른다. 그림 6은 오픈상(C상)의 전류 파형을 보여 주고 있다.

3. 센서리스 방식의 특성 검토

3.1 기동 특성

역기전력 검출법에 의한 기동 방법은 전동기 정지시 역기전력이 제로이므로 임의의 두상을 먼저 여자시켜 전동기를 기동시켜야 한다. 이와 같이 전동기를 기동시킨 후 역기전력 검출 회로에서 위치 신호를 감지할 수 있을 때까지 임의의 주파수로 가속시켜 마이크로프로세서에 의한 인버터 구동 신호와 역기전력 검출 신호에 의한 위치 신호와 비교하여 어느 정도의 오차 이내로 되었을 때 센서리스 제어가 이루어진다. 또한 역기전력 검출부에 저역통과 필터를 만들어 전기적으로 90°만큼 위상을 지연시켜야 하는데 전동기의 속도가 가변하므로 속도에 따라 선형적으로 위상을 지연시키는 것이 어려우며 특히 역기전력은 전동기의 속도에 따라 비례적으로 검출되므로 저속에서 역기전력을 검출하기 어려우므로 기동 방법이 매우 복잡하다.

상전류 검출법에서의 기동 방식 또한 역기전력 검출법과 비슷한 기동 과정이 필요하다. 기동 과정은 제어기에서 구동 신호를 출력시켜 고정자 권선에서 회전자의 자속에 의한 유도전류를 검출할 수 있을 때까지 전동기의 속도를 가속시켜야

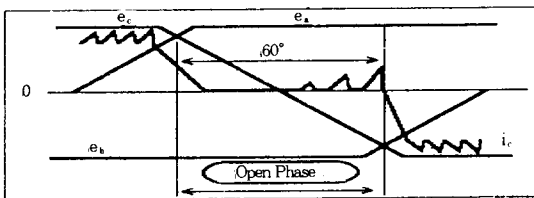


그림 6. 오픈상의 전류 파형
Fig. 6. Current waveforms in open phase.

하며 상전류 검출 회로로부터 검출 신호가 나타나면 브러시리스 직류전동기를 센서리스 제어로 구동한다. 그러나 상전류에서 주 전류와 유도전류를 구별하는 것이 매우 어려우며 검출된 신호가 유도전류에 의한 신호가 아니면 전동기는 탈조한다.

프리휠링 다이오드 전류 검출법은 앞의 두가지 방식과는 다르게 기동 과정이 아주 간단하다. 물론 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류는 역기전력에 의해 흐르지만 다른 두가지 방법보다 저속에서도 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출할 수 있으며 기동과정 또한 아주 간단하다. 먼저 임의의 두 상을 도통시키고 다음 사이클스는 120°앞선 구동 신호를 출력하고 이때 프리휠링 다이오드의 전류 검출 회로에서 나타나는 신호를 이용하여 구동 신호를 출력하면 센서리스 제어가 시작된다.

3.2 특성 비교

브러시리스 직류전동기를 구동하기 위해서는 반드시 회전자의 절대 위치를 검출하는 위치 검출기가 필요하다. 그러나 위치 검출기를 사용하므로써 나타나는 단점을 제거하기 위해서는 주로 본 논문에서 기술한 3가지 위치 센서리스 방식이 이용된다. 이들 3가지 방식의 공통점은 기동시 임의의 두 상을 여자 시킴으로서 전동기를 구동하지만 역기전력 검출법과 상전류 검출법은 회전자의 위치를 고려하지 않고 어느 일정 속도까지 오픈 루프로 가속시킨 후에 회전자의 위치 검출 신호에 맞게 인버터 구동 신호를 출력해야 한다. 따라서 실제적인 응용에서는 불필요한 전동기 구동이 이루어져야 하므로 전동기의 효율면에서 우수하지 못하며 어느 정도의 공회전이 이루어지므로 전동기 구동 즉시 어떠한 응용을 하기가 매우 어렵다. 이에 비하여 프리휠링 다이오드 전류 검출법은 기동 특성에서도 살펴보았듯이 기동 과정이 아주 간단하며 전술한 두 가지 방식보다는 전동기 효율면에서도 우수하다. 전체적인 특성을 살펴보면 다음과 같다.

첫째로 역기전력 검출법은 역기전력을 검출하기 위한 R, C필터를 사용하는데 전동기의 속도

가변에 따르는 위상지연이 비선형으로 동작된다. 따라서 전동기의 속도에 따른 회전자의 위치를 정확하게 검출하는데 어려움이 있다. 또한 센서리스 제어를 하기 위하여 하드웨어적인 과정이 매우 복잡하다. 그러나 이 방식은 간편하게 브러시리스 직류전동기를 구동하는 단일 펄스폭 변조 방식 모두 사용할 수 있어 속도 제어방식에 좋은 특성을 갖는다.

둘째로 상전류 검출법은 전동기의 고정자 권선에 직렬 저항 R_s 를 추가시켜 고정자 권선의 저항 값을 증가시키므로 전동기의 파라미터에 변화를 주며 고정자 권선의 R, L값에 의한 시정수와 전류 지연 때문에 상전류 검출에 의한 회전자의 위치를 찾기가 쉽지 않다. 또한 주 전류와 유도 전류를 구별하는 하드웨어 구성이 매우 어려우며 전동기의 전체 효율도 감소하게 된다.

세째로 프리휠링 다이오드의 전류 검출법은 기동 과정이 간단하고 임의의 속도까지 전동기를 구동시키지 않아도 된다. 프리휠링 다이오드의 전류 검출법에서도 검출 신호의 지연 문제가 고려되지만 카운터 회로를 이용하여 지연을 시키므로 정확하게 지연시킬 수 있다. 하지만 이러한 방식은 주변 노이즈에 의한 카운터의 오동작이 우려되므로 노이즈 방지 대책을 철저히 해야 한다. 무엇보다도 전술한 두 가지 방식과는 달리 불필요한 전동기 구동 없이 센서리스 제어를 할 수 있어 전동기를 효율면에서도 우수하며 센서리스의 문제점인 저속에서의 위치 검출이 가능하므로 지금까지의 축 위치 센서리스 제어의 문제점을 해결할 수 있다. 그러나 이 방식은 구동 방식에서 가장 간편한 단일 펄스폭 변조 방식을 적용할 수 없고 다중 펄스 폭 변조 방식을 사용하여야 한다.

4. 시뮬레이션 해석

센서리스 방식 특성 고찰 결과 상대적으로 장점이 많은 프리휠링 다이오드 방식에 대하여 SPICE를 이용하여 시뮬레이션을 행하였다. 전동기가 220(rpm)인 경우의 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출하기 위해서 프리휠링 다이오

드에 흐르는 전류와의 관계를 전동기의 속도 가변에 따라 전류 검출이 가능한지를 고찰하였다. 표 1은 시뮬레이션 및 실험에 사용된 브러시리스 직류전동기 파라미터이다. 그림 7은 구동 신호를 나타내었고 그림 8은 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류 검출 신호를 나타내었다. 그림 9는 이때의 선간 전압을 나타내었으며 그림 10은 선전류 파형을 나타내었다.

표 1. 브러시리스 직류전동기의 파라미터
Table1. Parameters of BDCM.

극수	P	4	pole
정격속도	S	1,750	r/min
정격토크	T	8.0	[kg/cm]
상당저항	R	18.4	[Ω]
상당인덕턴스	L	0.121	[H]
정격 출력	W	200	[W]
역기전력 상수 V/rpm		33.33	mV/rpm

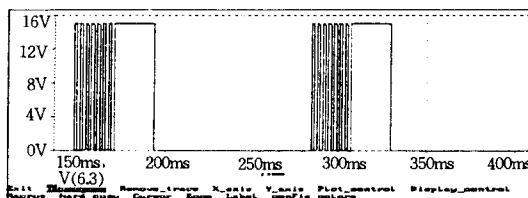


그림 7. 구동 신호(220rpm)
Fig. 7. Gate pulses(220rpm)

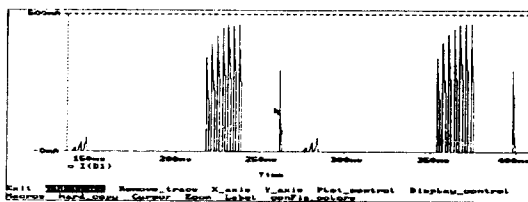


그림 8. 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류 검출 신호 [200rpm]
Fig. 8. Current sensing Signal(200rpm)

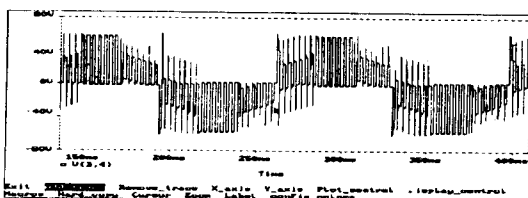


그림 9. 선간 전압(220rpm)
Fig. 9. Line-to-line voltage(220rpm)

5. 하드웨어 설계

본 논문에서는 센서리스 방식중 장점이 많은 프리휠링 다이오드 방식에 대하여 하드웨어 설계 방식을 제시하였다. 본 논문에 사용된 브러시리스 직류전동기의 센서리스 제어에 대한 전체 시스템 구성도는 그림 11에 나타내었다. 전체 시스템 구성도는 하드웨어와 소프트웨어로 크게 나누어지며 하드웨어로 센서리스 제어에 사용된 마이크로프로세서는 DSP를 사용하였다.

프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출하기 위하여 절연 증폭기를 사용하였다. 그림 12는 절연 증폭기를 이용한 전류 센싱 부분이며 이 회로

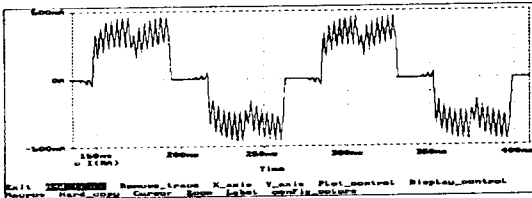


그림 10. 선전류 (220rpm)
Fig. 10. Line current (220rpm)

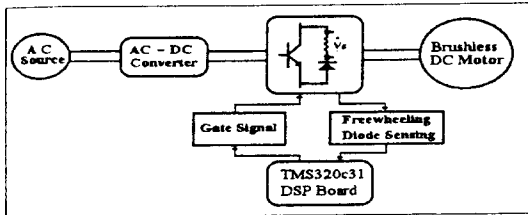


그림 11. 브러시리스 직류전동기 센서리스 제어의 전체 블록선도
Fig. 11. Block diagram for BDCM sensorless control.

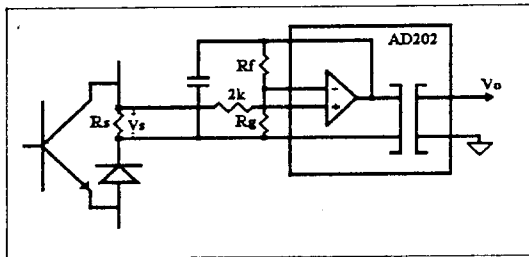


그림 12. 다이오드에 흐르는 전류 검출 회로
Fig. 12. Detecting circuit for conduction of freewheeling diode.

로부터 출력된 신호를 이용하여 회전자의 위치 검출 신호로서 프로세서에 입력한다. 절연 증폭기의 증폭 비는 그림 12에 나타난 $R_f (=20\Omega)$, $R_g (=5\Omega)$ 값에 의하여 식(17)에 의하여 절연 증폭기의 증폭 비를 결정하였다.

$$V_0 = V_s \times \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) \quad (17)$$

여기에서 R_s : 직렬 삽입 저항(=10W, 0.1 Ω)

V_s : R_s 에 흐르는 전압

V_0 : V_s 의 증폭된 출력전압

그림 13은 이와 같이 회전자의 절대 위치를 알 수 있는 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류 검출 신호를 이용하여 센서리스 위치 구동을 하기 위하여 인버터의 게이트 구동신호로 변환하여야 한다.

표 2는 인버터를 구동할 때의 구동 신호와 프리휠링 다이오드에서 검출되는 전류 검출 신호와의 관계를 나타내었다. 실제적으로 프리휠링 다이오드에서 검출되는 전류 신호중 역기전력에 의해 검출되는 신호를 이용한다.

표 2. 구동신호와 전류검출신호와의 관계

Table 2. Relation between gate signal and sensed current signal.

인버터 모드	구동소자	초평되는 소자	초평에 의해 검출되는 다이오드	역기전력에 의해 검출되는 다이오드
1	A ⁺ , B ⁻	A ⁺	Da ⁻	Dc ⁻
2	A ⁺ , C ⁻	C ⁻	Dc ⁺	Db ⁺
3	B ⁺ , C ⁻	B ⁺	Db ⁻	Da ⁻
4	B ⁺ , A ⁻	A ⁻	Da ⁺	Dc ⁺
5	C ⁺ , A ⁻	C ⁺	Dc ⁻	Db ⁻
6	C ⁺ , B ⁻	B ⁻	Db ⁺	Da ⁺

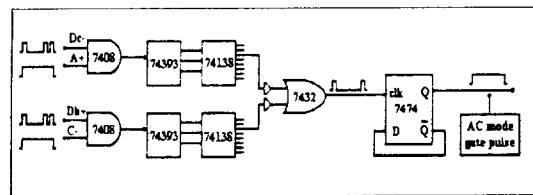


그림 13. 구동 신호 변환 회로
Fig. 13. Conversion circuit for gate pulses.

6. 실험 결과

본 실험에 사용된 브러시리스 직류전동기의 역기전력 상수는 33.33mV/rpm 이므로 역기전력에 의한 전류를 검출하기 위해서는 최소한의 속도를 유지하여야 한다. 먼저 다중펄스에 의한 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출하기 위하여 220rpm 일 경우에 대하여 엔코더를 이용하여 전동기의 속도에 따르는 전동기의 전압 및 전류 파형을 구하였다. 그림 14는 센서 구동 신호를 나

타내었고, 그림 15는 이 때의 선간 전압을 나타내었으며 그림 16은 선전류 파형을 나타내었다. 센서리스 구동에서는 220rpm 일 경우에 대하여 프리휠링 다이오드에서 검출되는 전류 파형 및 이러한 검출 신호를 이용한 구동 신호와 전압 파형, 그리고 이 때의 선전류 파형을 측정하였다. 그림 17은 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류 검출 신호를 나타내었다. 그림 18은 센서리스 구동 신호를 나타내었고 그림 19는 이때의 선간 전압을

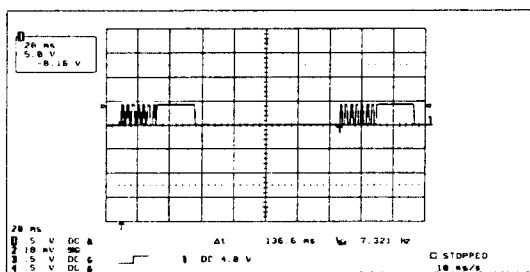


그림 14. 센서 구동시의 구동 신호(220rpm)
Fig. 14. Sensor drive gate pulses with sensors(220rpm)

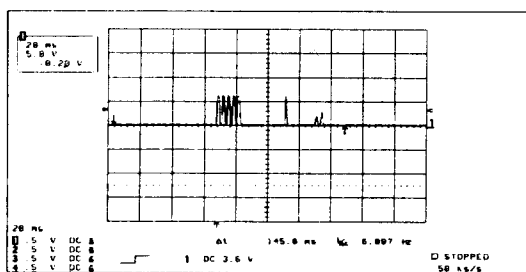


그림 17. 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류 검출 신호(220rpm)
Fig. 17. Detected current signal of freewheeling diode(220rpm)

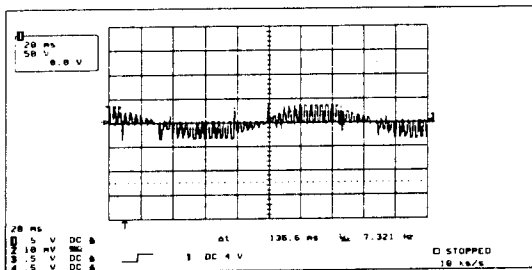


그림 15. 센서 구동시의 선간 전압(220rpm)
Fig. 15. Line-to-line voltage(220rpm)

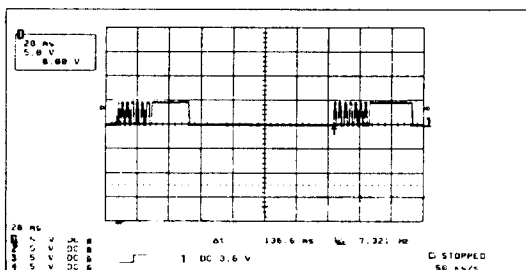


그림 18. 센서리스 구동시의 구동 신호(220rpm)
Fig. 18. Sensorless drive gating pulses(220rpm)

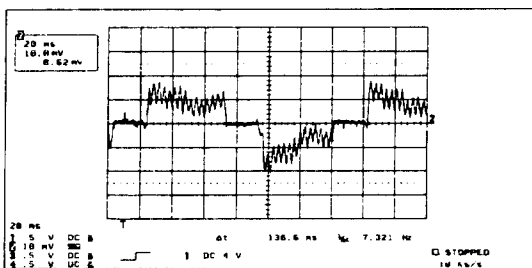


그림 16. 센서 구동시의 선전류(220rpm)
Fig. 16. Line current with sensors(220rpm)

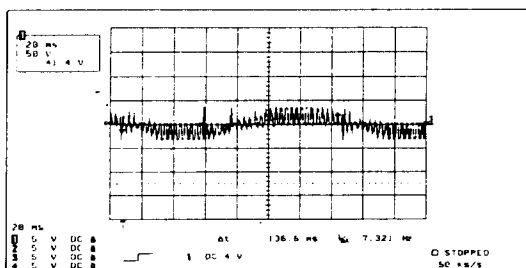


그림 19. 센서리스 구동시의 선간 전압(220rpm)
Fig. 19. Line-to-line voltage(220rpm)

나타내었으며 그림 20은 선전류 파형을 나타내었다.

7. 결론

브러시리스 직류전동기의 센서리스 제어 방식으로는 역기전력을 검출하는 방법과 상전류 검출법 그리고 다른 한가지 방식은 역기전력을 검출하는 방식을 응용한 프리휠링 다이오드의 전류 검출법이 있다. 이러한 방식들에 대한 특성 평가를 통하여 가장 적절한 센서리스 제어 방식을 선택할 수 있도록 하였다. 이 세가지 방식중 브러시리스 직류전동기의 단일 펄스폭 변조 방식을 이용할 수 있는 방식은 역기전력 검출법이지만 역기전력을 검출하기 위하여 사용되는 R, C필터는 전동기의 속도에 따라 위상 지연 변이가 비선형적이어서 속도에 따른 정확한 위치 검출이 어려운 단점이 있다. 또한 상전류 검출법은 직렬 파워 저항 R_s 를 추가하므로 전동기 파라미터 값을 변화시켜 전동기 효율을 감소시키고 유도 전류를 검출하기가 매우 어렵다. 한편 기동 과정이 간단하고 광범위한 속도 제어 특히 저속에서도 위치 검출이 가능한 방식은 프리휠링 다이오드의 전류 검출법이지만 다중 펄스폭 변조 방식만이 가능한 단점이 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 이 세가지 센서리스 방식중 위치 기동 과정이 간단한 프리휠링 다이오드 전류 검출법에 대하여 저속에서도 회전자 위치 검출이 가능한 하드웨어 설계를 행하고 이를 실험을 통하여 확인하였다. 이는 브러시리스 직류전동기를 적용하는 경우 전동기의 체적이 중요하여 센

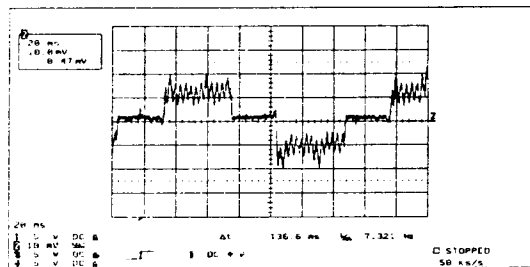


그림 20. 센서리스 구동시의 선전류(220rpm)
Fig. 20. Line current(220rpm)

서의 사용을 피해야 하는 응용분야, 또한 건물 에어컨의 컴프레서의 가변속 구동시 낮은 온도 또는 높은 온도에서의 위치 검출기의 오동작이 우려되고 신뢰도가 낮은 센서리스 방식을 적용해야 하는 경우와 같은 응용 분야에서의 광범위한 속도 제어에 직접 이용될 수 있다.

이 연구는 1992년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 일부 결과임 과제번호 : 92-2200-01-3

참고 문헌

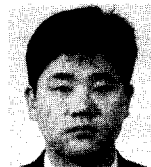
- 1) P. Pillay and R. Krishnan, "Control Characteristic and Speed Controller Design for A High Performance Permanent Magnet Synchronous Motor Drive", IEEE PESC, 1987.
- 2) Kenichi Iizuka, Hideo Uzuhashi, and Katsuo Mohri, "Micro-computer Control for Sensorless Brushless Motor", IEEE Trans. IA pp.595~601, Vol.21, No.4, May/June, 1985.
- 3) Ray-Lee Lin, M. T. Hu, C. Y. Lee, and S. C. Chen, "Using Phase-Current Sensing Circuit As The Position Sensor For Brushless DC Motors Without Shaft Position Sensor", IEEE, IECON., pp.215~218, 1989.
- 4) Satoshi Ogasawara and Hirofumi Akagi, "An Approach to Position Sensorless DC Motors", IEEE trans. IA pp.928~933, Vol.27, No.5, Sep/Oct, 1991.

◆ 著者紹介 ◆



김 윤 호(金倫鎬)

1949년 6월 20일생. 1974년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 미국 Texas A & M대학 졸업(공학). 현재 중앙대 공대 전기공학과 부교수.



조 병 국(趙炳國)

1967년 4월 1일생. 1993년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동대학원 전기공학과 졸. 현재 LG산전연구소 전력전자 연구실 연구원.



국 윤 상(鞫潤相)

1972년 2월 26일생. 1994년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동대학원 전기공학과 입학. 현재 석사 과정 재학중.