

## 센서가 없는 브리쉬리스 전동기의 특성

박창순\* 윤석환\*, 김영삼\*\*  
한국기술교육대학교\*, Sunstar 종합기술연구소\*\*

### characteristics of a sensorless brushless motor

C.-S.Park\*, S-H.Yoon\*, Y-S Kim\*\*  
Korea University of technology and education\*, Sunstar R&D Institute\*\*

#### Abstract -

Brushless DC Motors are widely used because of their high power ratio and easy control. But the brushless DC Motors need rotor Position- and speed- sensor such as encoder, resolver and hall sensor. The Position sensor has present several disadvantages from the standpoint of drive cost, machine size and reliability. Hall sensors are used generally because of low cost but their operating temperature is limited up to 75°C because of sensitivity of temperature. Now a day many research projects are on the development of sensorless brushless DC motors to correct these disadvantages. In this paper, characteristics such as starting, change of speed and load of a sensorless brushless DC motor are investigated.

#### 1. 서 론

Brushless DC motor는 출력밀도가 높고 제어가 용이하므로 응용범위를 넓혀가고 있다. brushless motor에 사용되는 일반적인 rotor position sensor는 encoder, resolver, hall sensor 등이 사용되고 있으나 이들로 인하여 motor size가 커지고 가격이 비싸지고 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다.

rotor position sensor중 hall sensor는 가장 값이 싸고 보편적으로 사용되고 있으나 온도에 민감하기 때문에 operating temperature가 75도 이하로 제한되는 등의 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 최근에는 sensorless brushless DC motor를 개발하기 위하여 연구가 활발히 진행되고 있다.

sensorless brushless DC motor는 rotor의 position sensor가 없기 때문에 기동시와 회전수 변환시 또는 부하의 변화가 있을 때 문제점이 있을 것으로 생각되고 특성이 sensor가 있는 전동기에 비하여 응답특성이 좋지 않을 것으로 생각된다.

본 논문에서는 sensorless brushless DC motor를 제작하여 기동시와 회전수 변경시 그리고 부하의 증감에 따른 특성을 측정하여 상기 전동기의 활용에 기여하고자 한다.

#### 2. sensorless brushless dc motor

##### 2.1 Brushless dc motor의 sensorless operation

Brushless DC Motor는 3상의 권선중 2상의 권선에만 전류가 흐른다. 즉 A상에 전류가 전기각으로 0-120도 그리고 180-300도 흐르는 사이 120-180도 구간은 여자가 되지 않는다.(그림 1)

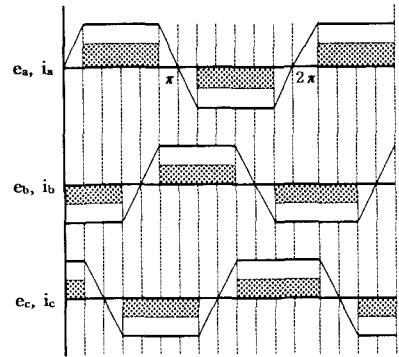


그림 1 역기전력과 전류 파형

이때 여자가 되지 않는 권선의 역기전력을 측정하여 스위칭 소자의 순차적인 on-off를 위하여 사용할 수가 있다. 역기전력을 측정하여 역기전력의 전압이 0이 되는 순간이 회전자의 기본위치가 되며 고정자의 권선에 전류가 흐르는 시점이 되어야 역기전력과 고정자 권선 전류가 일치하여 최대출력이 된다.

Trapezoidal형 BLDC 모터는 역기전력 및 토크함수는 회전자의 위치에 따라 그림1과 같은 파형으로 발생하며 연속적인 토크의 발생을 위하여 일반적으로 3상 2여자 방식을 사용한다.

상전류가 역기전력이 일정한 구간에서만 흐르도록 스위칭 되어야하고, 이때 여자되지 않은 개방된 상의 역기전력은 극성이 바뀌게 되어 역기전력이 0이 되는 위치 (Zero-Crossing Point : ZCP)는 항상 일정하다. 따라서 개방된 상의 단자전압을 검출하여 ZCP를 찾아서 회전자의 위치를 결정한 후 적당한 Commutation시점에서 트랜지스터를 on-off 시키면 센서없이 연속적인 구동이 가능하게 된다.

다음은 87C196MC에 내장된 A/D컨버터를 이용하여 소프트웨어적인 방식으로 단자전압을 센싱하여 ZCP를 순차적으로 검출하는 구체적인 회로의 예이다.

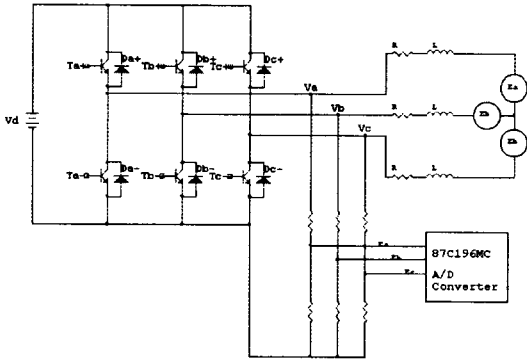


그림 2 Sensorless Brushless motor의 구성

### 2.2 소프트웨어 알고리즘

아래의 그림은 센서리스 드라이브의 소프트웨어 구성을 나타낸다. 회전자가 정지 또는 지속적으로 회전하고 있을 때는 역기전력 검출이 불가능하므로 적당한 속도까지 개루프로 임의의 회전자제를 주어 가속시키는 기동절차가 필요하다. 기동시 초기 기동속도를 높이기 위하여 임의의 2상을 강제로 정렬시킨 다음 가속 지령 속도를 각 상에 정 전류를 순차적으로 인가한다. 전동기 속도가 500rpm(또는 500rpm ~ 600rpm)에 도달하면 센서리스 운전으로 전환하고 속도제어를 행한다. 본 연구에서는 220[V]에서 무부하시 500~3000rpm까지 제어가 원활히 되었으며 발전기 부하를 달았을 경우 700~2000rpm(Full Duty)까지 제어가 가능하였다.

### 2.3 기동절차

기동시 초기 기동 속도를 높이기 위하여 임의의 2상을 강제로 정렬시킨다. 강제 정렬시는 전동기의 충격과 과전류를 방지하고 원활한 정렬을 실현하기 위해 적분제어기를 사용하여 여자전류를 제한한다. 강제정렬 후 Microprocessor는 순차적으로 6 상태의 인버터 운전 펄스를 발생시키며 전동기를 충격 방지 입력 패턴으로 동기기로 기동시킨다. 전동기의 관성과 부하를 고려한 최적 가속도 알고리즘으로 펄스 주파수를 충분히 높은 속도로 개루프 가속시키면 브러시리스 직류 전동기로 구동시킬 수 있는 충분한 역기전력이 전동기에서 검출되며 이때의 전동기의 속도는 500~700rpm 속도이다. 가속시에는 비례적분제어를 행한다.

### 2.4 모드전환

전동기의 역기전력이 단자 전압에 의한 회전자의 위치결정을 가능케 할 수 있을 정도로 충분히 크면 Microprocessor는 동기 운전 모드를 브러시리스 직류 전동기 센서리스 운전모드로 전환한다. 이때 입력이 적당하지 않으면 전동기는 모드전환 중 역기전력의 ZCP를 찾지 못하고 정지하게 된다. 원활한 모드 전환을 위해서 전동기의 속도가 500rpm(부하 및 전동기의 특성에 따라서 500~700rpm)에 도달하면 센서리스 운전으로 전환하기 위하여 고정된 Duty를 인가하면서 ZCP를 검출한다. Duty가 부족하거나 과도할 경우에는 ZCP가 검출되지 않으므로 일정시간 ZCP가 검출되지 않을 경우 Duty를 일정범위 내에서 변화를 해가며 ZCP를 검출하도록 소프트웨어를 구성하였다. 역기전력의 ZCP가 검출되면 동기 운전 모드를 브러시리스 직류 전동기 센서리스 운전모드로 전환한다.

### 2.5 정상상태 센서리스 운전

Microprocessor는 3상중 개방된 상의 단자전압을 받아들이고 역기전력의 ZCP를 검출하여 회전자의 위치를 결정하여 순차적으로 6상태 인버터 드라이브의 신호를 발생시킨다.

### 2.6 속도제어

Microprocessor는 펄스 폭 변조(PWM) 신호를 발생시키고 속도 지령에 따라 펄스의 Duty를 조정한다. 전동기의 전압은 전동기 속도를 변화시키기 위하여 정류자 트랜지스터에 의해 Chopping된다.

### 2.7 전동기 제원

전동기 제원	상수	3
	극수	4
	고정자 외경	112 mm
	고정자 내경	61 mm
	회전자 외경	59 mm
	회전자 내경	20 mm
3000 rpm	공극	1.0 mm
	전동기 길이	75 mm
	정격전압	191 V
	정격출력	550 W
	정격전류	4.2 A
	정격토크	18 Kg-cm
1000 rpm	무부하 전류	0.15 A
	무부하 전압	154 V
	정격전압	102 V
	정격출력	186 W
	정격전류	2.35 A
	정격토크	18 Kg-cm
	무부하 전류	0.1 A
	무부하 전압	56 V

표 1 전동기 제원 및 회전수에 따른 출력, 전류, 전압 등 (sensor가 있는 경우)

### 3. 특성 측정

전동기의 특성은 eddy current dynamometer를 사용하여 회전수와 Torque를 측정하였다. 측정기와 전동기의 구성은 그림 3 과 같다.

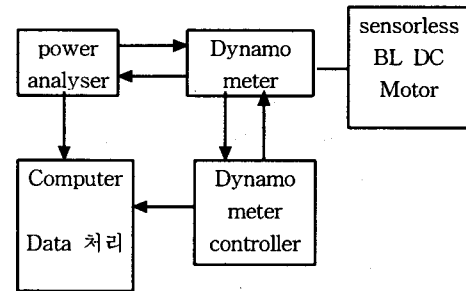


그림 3 측정기와 전동기의 구성

#### 2.2.1 일정 회전수에서 시간에 따른 토크변동

피측정 전동기의 토크변동을 알아보기 위하여 회전수를 1500rpm 으로 일정하게 하고 토크의 변화를 알아보는 시험을 행하였다.

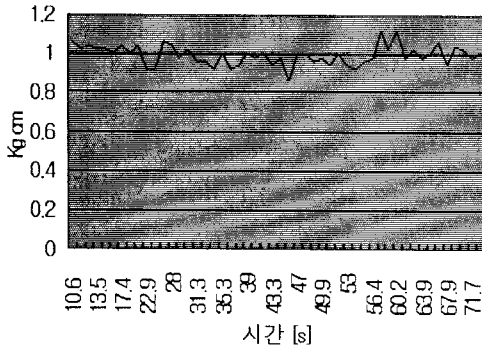


그림 4 시간에 따른 Torque 변화(1500rpm)

입력전압 100V, 출력 Torque 1.0 Kg-cm에서 전동기는  $\pm 10\%$ 의 Torque 변동을 나타내고 있다.

### 2.2.2 일정 Torque에서 시간에 따른 회전수 변화

속도의 변동을 측정하기 위하여 회전수를 1000 rpm으로 하고 부하를 1 Kg-cm로 일정하게 한 후 시간에 따른 회전수 변화를 측정하였다.

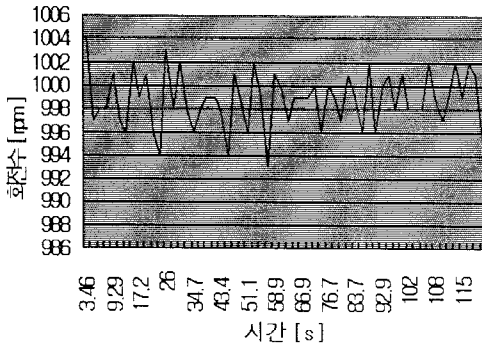


그림 5 시간에 따른 회전수 변화(부하 1Kg-cm)  
그림 5에서 보는 바와 같이 회전수는  $\pm 0.7\%$ 의 범위 내에서 회전하고 있다.

### 2.2.3 부하변동에 따른 응답특성

부하변동에 따른 응답특성을 알아보기 위하여 부하를 1.0 Kg-cm에서 3.0 Kg-cm로 변화시키고 그에 따른 응답특성을 측정하였다.

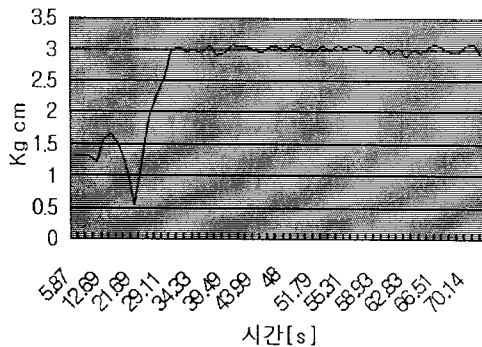


그림 6 부하변동에 따른 응답특성

그림 6에서 보는 바와 같이 전동기는 부하가 커질 경우 먼저 출력이 저하된 후 다시 증가하는 현상을 보였으며 부하에 적응하여 정상출력을 내는데 걸리는 시간은 20초 정도가 소요되었다.

### 2.2.4 부하변화에 따른 회전수 특성

회전수 1500rpm에서 1Kg-cm의 부하로 운전하는 전동기의 부하를 3.0 Kg-cm으로 증가시키고 회전수의 변화를 측정하였다.

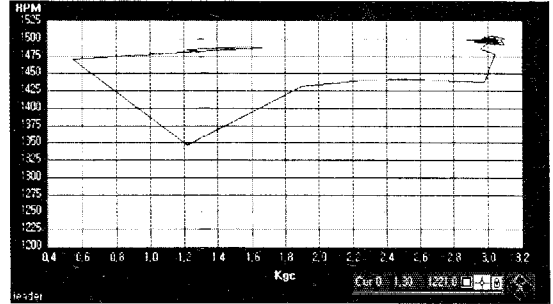


그림 7 부하변동에 따른 회전수 특성

부하의 갑작스런 증가로 인하여 초기에는 회전수와 출력이 모두 감소하였으나 잠시 후 안정된 운전이 이루어지는 것을 측정하였다.

## 4. 결 론

본문에서 본 것과 같이 sensorless brushless motor는 3kg-cm의 부하에는 토크 변동이나 큰 회전수 변동없이 안정된 상태로 운전을 하고 있으나 sensor를 사용하였을 경우의 정격 torque 18 Kg-cm에는 미치지 못하고 있다. 또한 부하변동에 민감하여 부하변동 초기에는 급격히 회전수가 감소하는 현상을 보여주고 있다. 이러한 현상은 그림 1에서와 같이 역기전력과 상전류의 위상이 일치하지 않아 역률이 좋지 않은 결과와 제어가 배제된 상태로 단지 회전을 위한 회로를 구성하였기 때문으로 생각이 되며 원활한 회전과 부하변동, 회전수 변동 그리고 빠른 응답성을 갖기 위하여 역기전력과 전류의 위상을 일치시키는 연구와 함께 제어기의 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Kaushik Rajashekara, Atsuo Kawamura, "Sensorless Control of Permanent Magnet AC Motors", IEEE IECON 94, Industrial Electronics, control and Instrumentation, 20th Internat. conf., Proc., Vol1., pp1589-1594, 1994
- [2] Takaharu Takeshita, Nobuyuki Matsui, "Sensorless DC Motor Drive with EMF Constant Identifier", IEEE IECON 94, Industrial Electronics, control and Instrumentation, 20th Internat. conf., Proc., Vol1., pp14-19, 1994
- [3] S. D. Grainger, M. Altan, T. westwood, R. Champaneri, "Sensorless Digital Signal Processing control of a Trapezoidal Brushless direct current motor", Proceedings of the 7th European Conference on Power Electronics and Applications, Volume 4/2, pp 4557-4560, 1997,
- [4] 안병호, "브러시리스 직류전동기의 전류에 의한 토크리플 저감에 관한 연구", 석사학위논문, 1998