

자동차 연료펌프용 BLDC의 센서리스제어 기동기법

Quang Vinh Tran*, 전태원*, 이흥희*, 김홍근**, 노의철***
 울산대학교*, 경북대학교**, 부경대학교***

Start-up Strategy at Sensorless Control of BLDC for Vehicle Fuel Pump

Q.V.Tran*, T.W.Chun*, H.H.Lee*, H.G.Kim**, and E.C.Loh***
 Ulsan University*, Kyungpook University**, Pukyung University***

ABSTRACT

This paper proposes a simple starting method to arrange the rotor position of the brushless DC motor (BLDC) without additional sensors and any information of motor parameters. Both the stator current and time period for arranging the rotor position can be easily adjusted by modulating a pulse width of switching devices. Using the proposed method, it is demonstrated experimentally that the BLDC starts up very smoothly.

1, 서론

최근에 brushless DC (BLDC)는 고효율, 고토크 특성관계로 다양한 산업 분야에 많이 응용되고 있다. 이 BLDC의 회전자 위치 검출용으로 홀소자 등 위치센서를 사용할 경우에는 센서 비용이 증가되고 열악한 환경에서 동작 시 신뢰성을 저하시키는 문제가 있다. 따라서 BLDC 전동기의 센서리스제어 기법이 많이 연구되어 왔으며 여러 응용분야에 활발히 적용하는 추세이다. 그런데 이 센서리스 제어시스템에서 공통된 문제점은 기동특성이다. 대부분 BLDC의 센서리스기법은 역기전력 과형으로 회전자 자속위치를 예측한다.^{[1],[2]} 그런데 정지 상태나 초기 기동 시 측정된 역기전력 값이 거의 없거나 너무 작아서 정확한 위치를 예측하기 힘들므로 초기 기동기법이 필요하다. 그런데 초기 기동 시 회전자위치 정보가 없을 경우 큰 정지 마찰 성분 등에 인하여 전동기가 일시적으로 반대방향으로 회전하거나 기동에 실패할 가능성이 높다. 특히 본 논문과 같이 자동차 연료탱크의 연료 펌핑용으로 사용할 경우 자동차 시동이 걸리지 않는 등 심각한 문제가 발생할 수 있다.

따라서 회전자 초기위치를 정렬하는 여러 연구결과가 발표되었다. 영구자석에 의한 고정자 철심 포화효과를 사용하는 기법^{[3],[4]} 과 전압펄스를 인가한 후 d축 전류의 크기를 비교하는 방법^[5] 등이 발표되었으나, 이 방법들은 알고리즘이 복잡하고 3상 전류와 전압 값을 검출하여야한다는 문제점이 있다. 그리고 3상 인버터에서 12개의 각 스위칭 패턴에 대하여 전압을 인가하면서 직류링크 전류의 피크값을 모두 체크한 후, 이 직류링크전류의 피크치가 최대인 위치가 회전자의 위치가 된다.^[6] 이 방식은 역시 직류 링크전류를 검출하여야 하며, 전류 피크치의 최대값을 구하는 과정이 다소 복잡하다.

본 논문에서는 BLDC 고정자 3상 권선 모두 전류를 인가하

여 회전자 자속이 원하는 위치에 정렬시키면서, 이 때 스위칭 소자의 펄스폭을 변조하여 전류값을 원하는 값으로 제한한다. 기동 시 최대 토크를 발생시키기 위하여 고정자 기전력이 회전자 자속위치와 90°가 되도록 스위칭 패턴을 지정한다. 또한 가속 단계에서 전동기 속도가 부드럽게 증가시키면서 센서리스 동작모드로 충격없이 변경되도록 V/f 관계를 설정한다. 따라서 본 논문에서 제시한 기동기법은 어떤 측정회로도 필요가 없다는 장점이 있다. 16비트 DSP TMS320F2406을 사용하여 자동차 연료탱크의 펌핑용으로 적용한 실험을 통하여 본 논문에서 제시한 기법의 타당성을 확인한다.

2. BLDC 회전자위치 정렬 기법

2.1 BLDC구동용 PWM인버터

그림 1은 3상 PWM인버터와 BLDC의 등가회로와 전압벡터를 그린 것이다.

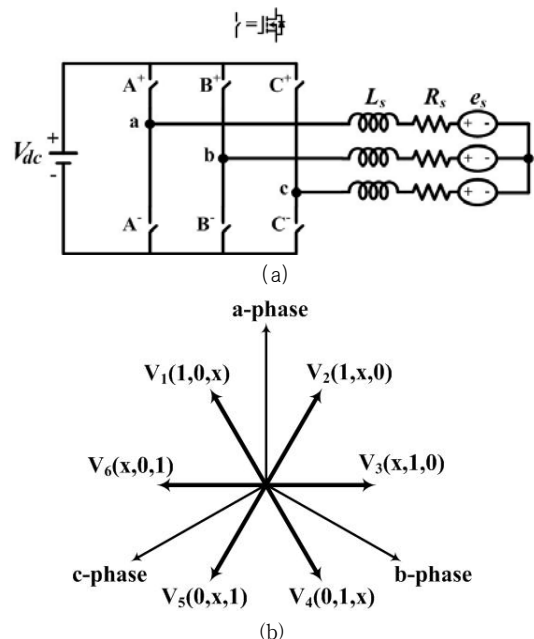


그림 1 BLDC구동용 PWM인버터와 전압벡터
 Fig. 1 PWM inverter for BLDC and voltage vector

일반적으로 BLDC용 인버터는 회전자위치에 따라 3상 중

한상은 상단 스위칭소자를 다른 한상은 하단 스위칭소자를 도통시키며 나머지 한상은 두개 스위칭소자 모두 도통되지 않으므로, 동시에 2개의 스위칭소자만 도통시킨다. 이 때 PWM인버터에서 출력되는 6개의 전압벡터는 그림 1(b)와 같다. 여기서 각 전압벡터별 스위칭패턴에서 a상, b상, c상 순서로 '1'은 상단스위칭소자가 '0'은 하단 스위칭소자가 도통되며, 'x'는 어떤 스위칭소자도 도통되지 않는다는 표시이다.

2.2 BLDC위치 정렬기법

그림1(b)에서 보는바와 같이 두 개의 스위칭소자를 도통시켜 회전자위치를 정렬할 경우에는 기동 시 회전자 자속과 다음단계 인가 전압벡터의 각이 60°이므로 최대 토크를 발생시킬 수 없다. 따라서 스위칭소자 A+, B-, C-를 도통시킬 경우에는 그림 2와 같이 회전자 자속이 정렬된다. 정렬 후 전압 벡터 V_3 를 인가하면 회전자 자속과 기자력이 직각이 되어 최대토크를 발생시키므로 BLDC가 좀 더 쉽게 기동할 수 있다.

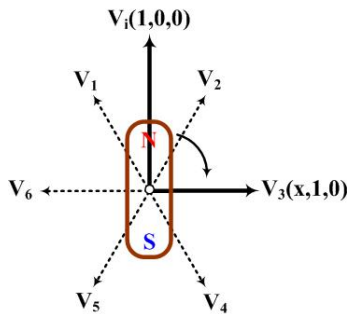


그림 2 회전자 위치 정렬 및 기동
Fig. 2 Arrangement of rotor position and start-up

그런데 회전자 정렬시 전동기 역기전력이 0이므로 3상 고정자권선에 큰 전류가 흐른다. 따라서 여러 논문에서는 전기시정수로 전류의 증가시간을 계산하여 어느 전류이상이 되는 시간이 되면 바로 기동을 개시한다. 이 경우에 전기 시정수가 변화될 때 기동개시 시 원하는 전류값이 되지 않을 수가 있으며, 이 시정수가 작을 경우에는 회전자가 정렬되기 전에 기동을 시작할 수도 있다.

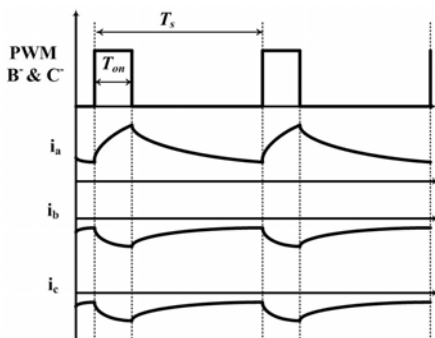


그림 3 회전자 위치 정렬시 PWM펄스와 3상 전류
Fig. 3 PWM pulse and 3-phase currents at rotor position arrangement

본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여 정렬 시 스위칭소자 A+는 항상 도통시키고, B-, C-의 펄스폭을 변조하여 흐르는 전류를 원하는 값으로 제한할 수 있다. 그림 3은 회전자

위치 정렬단계에서 스위칭주파수가 10KHz에서 B-, C-의 펄스폭을 변조 시 3상 전류파형을 보인 것으로, a상 전류를 순방향으로 b상과 c상 전류는 a상 전류의 1/2값으로 역방향으로 흐른다. 이 방법은 펄스폭으로 원하는 전류 값을 조절할 수 있으며, 산업응용분야에 따라 정지 마찰 값이 다양하므로 이에 맞추어 위치정렬 시간까지 조절할 수 있다.

3. BLDC 가속과정

BLDC가 기동 후 센서리스 모드로 전환 전까지 개루우프 로 기준속도를 계속 증가시킨다. 이 때 V/f제어로 기준속도 즉 주파수가 증가함에 따라 전압의 크기도 비례적으로 증가시켜야 한다. 그런데 이 비율에 따르면 저속에서는 전압의 크기가 너무 작으므로 충분한 토크를 만들 수 없다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 4와 같이 전동기가 정지 상태에서 V_{s1}^* 전압을 유지하고, 이 전압으로 부터 기준속도 즉 주파수가 증가 시 이 기준 전압의 크기를 선형적으로 증가시키는 방법을 사용하였다.

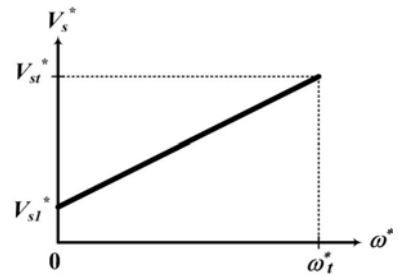


그림 4 가속 과정
Fig. 4 Accelerating procedure

이 때 전동기 기준속도에 대한 기준전압의 식은 다음과 같다. 전동기 기준속도가 ω_t^* 에 이르면 기동모드에서 센서리스 모드로 전환된다.

$$V_s^* = \frac{(V_{st}^* - V_{s1}^*)}{\omega_t^*} \omega^* \quad (1)$$

4. 실험결과

앞에서 언급한 바와 같이 이 센서리스 BLDC는 자동차 연료탱크의 펌프구동용으로 사용하므로, 입력직류전압은 자동차내 배터리 전압인 약 12V이다. TI사의 16비트 DSP인 TMS320F2406A로 기동특성과 함께 센서리스제어를 수행하였으며 그림 5는 BLDC와 제어용 보드의 사진이다.

그림 6은 BLDC 회전자 위치정렬을 위한 3개 스위칭소자 A+, B-, C-의 PWM신호 및 a상전류를 보인 것이다. 스위칭소자 A+는 도통상태를 유지하고, 스위칭소자 B-와 C-는 듀티비가 15%인 펄스폭을 변조한 결과 a상 전류 평균이 약 7A를 계속 유지하고 있다. 인버터의 스위칭 주파수는 10KHz로 하였다.

그림 7은 초기 회전자 위치를 정렬 후 기준속도를 6000rpm으로 증가 시 실제 전동기 속도와 기준전압 값 및 a상 전류파형을 보인 것이다. 기동 후 기준속도가 3000rpm까지는 기동모

드로 개루우프로 주파수와 기준전압 크기를 조정하여 전동기의 속도를 증가시켰다. 기준속도가 3000rpm이상일 경우 센스리스 모드로 전환되며 모드 전환 시 오버슈트 등이 없이 부드럽게 전환되었다.



그림 5 BLDC와 제어보드 사진
Fig. 5 Photograph of BLDC and control board

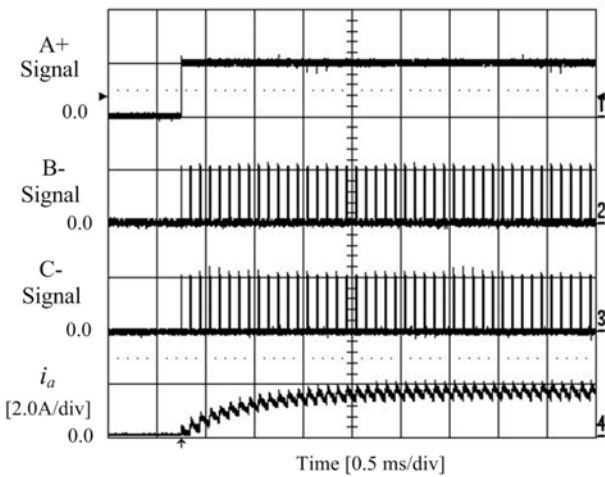


그림 6 위치정렬시 PWM 신호 및 전류
Fig. 6 PWM signals and current at rotor position arrangement.

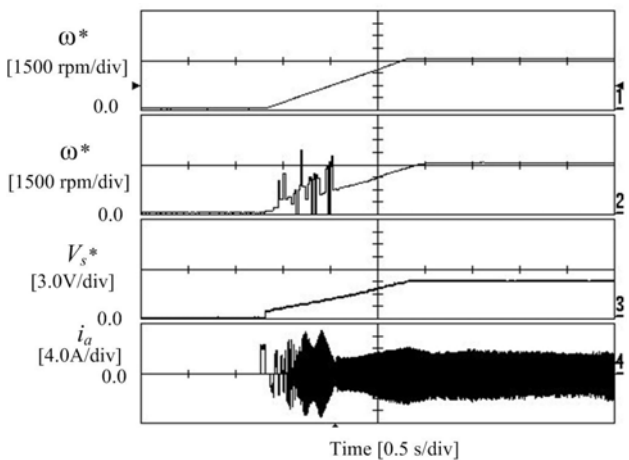


그림 7 기동 시 과도 특성
Fig. 7 Transient responses of start-up

5. 결론

본 논문은 BLDC의 센서리스제어에서 기동기법을 제시하였다. BLDC 고정자 3상 권선 모두 전류를 인가하여 회전자 자속이 원하는 위치에 정렬시킬 때, 스위칭소자의 펄스폭을 변조하여 정지 시 고정자 전류값 과 회전자 위치 정렬시간을 제어하였다. 기동 시 최대 토크를 발생시키기 위하여 고정자 기전력이 회전자 자속위치와 90°가 되도록 스위칭을 하면서, 가속 단계에서 전동기 속도가 부드럽게 증가하도록 V/f 관계를 설정하였다. 본 논문에서 제시한 기동기법은 어떤 측정회로도 필요가 없으며 전동기 상수의 변화에 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 16비트 DSP TMS320F2406을 사용하여 자동차 연료탱크의 펌프 구동에 적용한 결과 BLDC가 안정하게 기동함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] An Improved Microcontroller-Based Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drive for Automotive Applications", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.42, no.5, pp.1216-1221, 2006.
- [2] S.Ogasawara and H.Akagi, "An Approach to Position Sensorless Drive for Brushless dc Motors", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.27, no.5, pp.928-933, Sept./Oct. 1991.
- [3] W.J.Lee and S.K.Sul, "A New Starting Method of BLDC Motors Without Position Sensor", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.42, no.6, pp.1532-1538, Nov./Dec.,2006.
- [4] G.H.Jang, J.H.Park, and J.H.Chang, "Position Detection and Start-up Algorithm of a rotor in a sensorless BLDC motor utilizing inductance variation", Electric Power Appl., IEEE Proc., vol.149, pp.137-142, Mar., 2002.
- [5] S.Nakashima, Y.Inagaki, and I.Miki, "Initial Rotor Position Estimation for Surface Permanent Synchronous Motor", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.36, pp.1598-1603, Nov./Dec.,2000.
- [6] Y.C.Chang and Y.Y.Tzou, "A New Sensorless Starting Method for Bruchless DC Motors without Reversing Rotation", IEEE-PESC, pp.619-624.