

EHPS용 BLDC Motor Sensorless 제어

신승민, 김종수, 이병국
성균관대학교 정보통신공학부

Sensorless Control of the BLDC Motor for EHPS

Seugn-Min Shin, Jong-Soo Kim, and Byoung-Kuk Lee
School of Information and Communication Engineering, SungKyunKwan University

Abstract - 본 논문에서는 Full-digitalize 구현으로 부가적인 회로가 필요 없는 EHPS용 BLDC 모터의 센서리스 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 일반적인 영점검출방법 및 역기전력 추정 센서리스 방법과 비교 분석하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다

1. 서 론

화석연료 고갈과 환경문제가 증가되면서 전통적 기계장치로 인식되던 자동차 시스템도 점차 전기전자 시스템으로 변화되고 있다. 이에 따라 화석연료를 주 에너지원으로 사용하던 기존의 내연기관 자동차에서 주요 시스템을 배터리를 이용한 전기장치로 바꾸려는 연구가 급진전되고 있다. 이 중 기존의 유압식 조향장치는 엔진동력을 이용하여 오일펌프를 구동시켜 유압으로 조향력을 얻는 방식이 사용되고 있는데 이러한 시스템은 차량의 연비를 저하시키고 엔진 정지 시 조향력이 발생되지 않아 사고 시 문제를 초래할 수 있다. 이에 따라, 최근 차량의 연비증가와 안정성 향상을 위해 차량의 배터리로부터 전기에너지를 공급받고 전기모터를 작동하여 조향력을 발생시키는 EHPS (Electric Hydraulic Power Steering)과 MDPS(Motor Driving Power Steering)에 대한 연구가 급진전되고 있다 [1]. 즉, EHPS 또는 MDPS 시스템은 조향시에만 전기모터가 유압펌프를 구동해 별도의 엔진 동력이 필요 없으므로 연비향상을 기대할 수 있고, 진동과 소음 저감이 가능하며, 운전자에게 보다 나은 조향감을 제공할 수 있는 장점을 갖는다.

EHPS 시스템에는 에너지 밀도가 높은 영구자석형 동기전동기가 주로 고려되고 있다. 속도 및 토크제어를 위해 회전자 위치를 검출해야 하는데 EHPS 시스템의 경우 진동과 분진과 같은 차량의 환경문제와, 시스템의 원가 상승과 같은 경제성 문제로 인해 주로 센서리스 구동 방법이 적용된다. 현재까지 주로 사용되고 있는 BLDC (Brushless DC) 모터의 일반적인 센서리스 방법으로는 ZCP (Zero Crossing Point)나 역기전압(Back EMF)을 이용하는 방법이 있다. 하지만 이런 방법들은 모터 회전자 위치를 판별하기 위해서는 외부에 부가적인 회로가 필요하며 환경적인 영향으로 신뢰성 저하 및 단가 상승의 단점을 갖는다.

따라서 본 논문에서는 Full-digitalize 구현으로 부가적인 회로가 필요 없는 EHPS용 BLDC 모터의 센서리스 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 일반적으로 모터의 중성점이 인출되어 있지 않기 때문에 DC 링크의 N극과 모터 입력단자 사이의 전압을 DSP의 A/D로 읽은 후 가상의 $1/2V_{dc}$ 를 단자전압과 비교하여 역기전력 정보를 추정하는 방법이다. 또한 PWM으로 인해 Open-phase에서 나타나는 PWM전압을 제어하기 위한 알고리즘을 기술하였다. 제안된 알고리즘을 일반적인 영점검출방법 및 역기전력 추정 센서리스 방법과 비교 분석하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 EHPS의 구동 원리

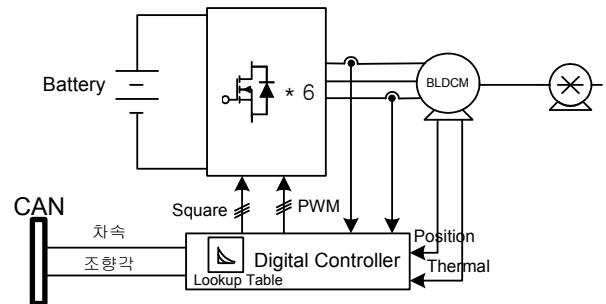
그림 1은 EHPS의 일반적인 시스템 구성도를 나타낸다. 차량운전 시 운전자에게 가장 적합한 조향력은 주행 조건에 따라 변화한다. 정지상태나 저속주행 상태에는 가벼운 조향력이 요구되고, 고속주행 상태에서는 안정적 조향을 위해 적절히 무거운 조향력이 요구된다. 따라서, EHPS 시스템은 자동차의 현재 속도와 조향각을 상위 제어기로부터 CAN 통신을 통하여 EHPS 제어부에 전달하여 모터의 속도 및 토크 지령을 생성하여 제어한다 [1].

2.2 역기전압을 이용한 BLDCM 센서리스 제어 방법 [2]

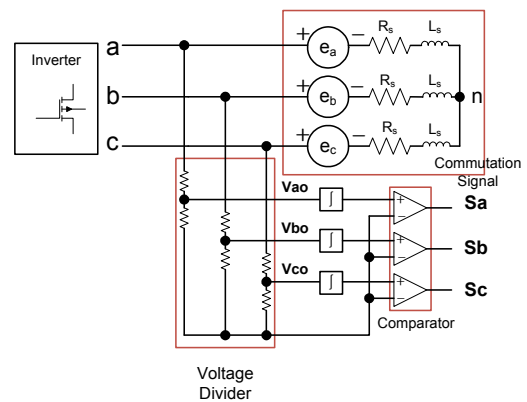
일반적으로 BLDCM은 120° 씩 구동 되는 2상 여자 방식이 사용되며 인버터 스위칭 소자의 여자는 60° 구간마다 일어나게 된다. 여자 되지 않은 개방된 상의 역기전력은 영이 되는 위치를 지나 반대 방향의 극성을 가지게 되는데, 이 방법은 역기전력이 영이 되는 위치를 검출하여 인

버터의 스위치 여자에 사용하는 방법이다.

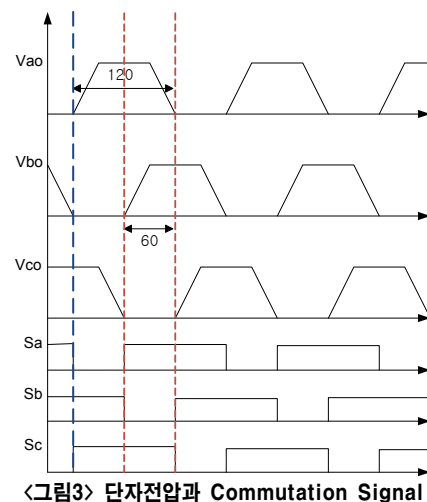
그림 2는 회전자 위치를 적분기와 비교기에 의한 추정 방식을 사용한 방법이다. 위치 신호는 단자 전압을 분분기, 적분기 및 비교기로 처리하여 발생하게 된다. 그림 3은 센싱된 각각의 단자전압 V_a , V_b , V_c 와 회로에 의해 처리하여 구해진 회전자 스위치 여자 신호 S_a , S_b , S_c 를 나타낸다.



<그림1> EHPS 제어 로직



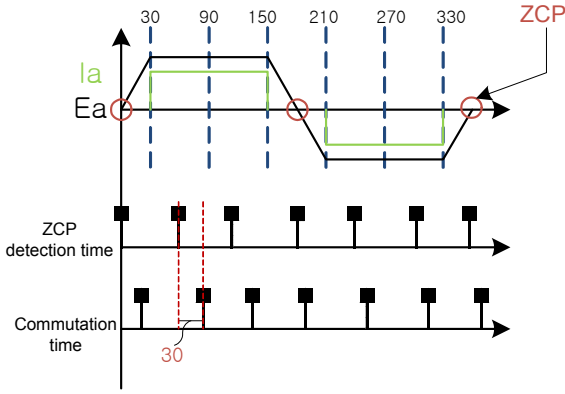
<그림2> 역기전압 센싱 및 Commutation Signal 생성



<그림3> 단자전압과 Commutation Signal

2.3 ZCP를 이용한 BLDCM 센서리스 제어 방법 [3]

2상 여자 방식으로 구동되는 구형과 전류 여자 BLDCM에서는 항상 두 상이 동시에 여자되며, 여자되지 않은 개방된 상이 항상 존재하게 된다. 개방된 상의 역기전력은 개방 구간 내에서 항상 최대값에서 최소값으로 감소하거나 최소값에서 최대값까지 증가한다. 따라서 이 구간 내에서 회전자 위치는 항상 역기전력이 0이 되는 위치를 지나게 된다. 그러므로 개방된 구간에서 역기전력을 검출하여 ZCP를 찾아내며 그 때의 회전자 위치를 알 수 있다. 그림 4는 이상적인 경우 2상 여자 방식의 구형과 전류 여자 BLDCM의 역기전력 파형과 ZCP 및 전환 시점을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 상전류의 전환 시점은 ZCP가 검출된 시점으로부터 전기각으로 30° 지연된 시점이다.

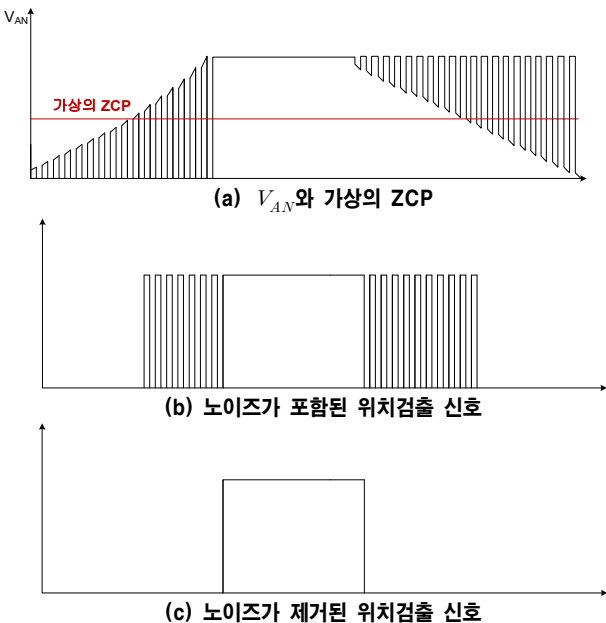


〈그림 4〉 역기전력, ZCP와 전환시점

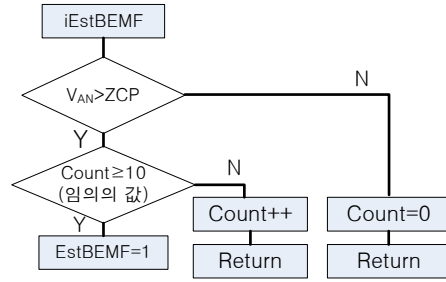
이러한 방법은 부가적인 외부 회로가 필요하기 때문에 가격이 상승하고, 환경적인 영향을 받게 된다. 따라서 본 논문에서는 부가적인 외부 회로가 필요 없는 BLDCM 센서리스 알고리즘을 제안한다.

2.4 Full-Digitize 센서리스 알고리즘

일반적인 모터는 중성점이 인출되어 있지 않으므로 상전압과 DCN간의 성분을 검출한다. BLDCM의 속도제어를 위해 Unipolar PWM을 수행하는 경우 V_{AN} 파형은 그림 5의 (a)와 같다. 가상의 ZCP를 만들어 V_{AN} 파형과 비교하면 위치검출 신호 (b)가 생성된다. 하지만 (b) 위치검출 신호에는 Open-phase 시 역기전력 정보 뿐 아니라 PWM의 영향으로 인한 펄스파형이 나타나게 된다. 따라서 그림 6의 Folw Chart와 같은 알고리즘을 통해 PWM 펄스를 제거하면, 그림 5(c)와 같은 역기전력 정보를 통한 회전자 절대위치 검출이 가능해진다.



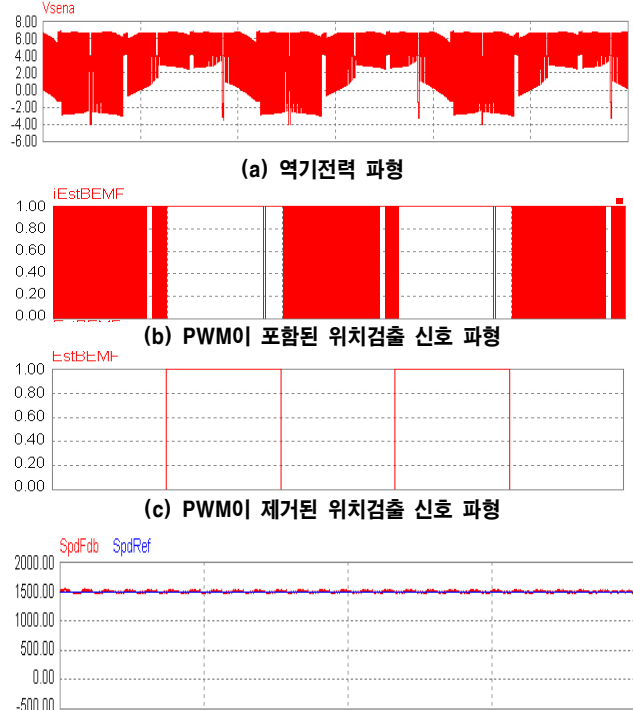
〈그림 5〉 Full-digitalize를 통한 역기전력 파형 검출



〈그림 6〉 역기전력 검출을 알고리즘

2.5 시뮬레이션

그림 7은 제안된 Full-Digitize 센서리스 알고리즘을 이상적인 조건 하에서 시뮬레이션 한 파형이다. (a)는 지령속도가 1,500rpm에서의 a상 역기전력 파형 (V_{AN})을 나타낸다. (b)는 a상의 역기전력 파형과 가상의 영점인 $1/2V_{dc}$ 와 비교된 출력파형을 나타낸다. (c)는 그림 6의 알고리즘을 통해 Open-phase 시 PWM 파형이 제거된 최종 역기전력 파형을 나타낸다. (d)는 B상 및 C상 역시 동일한 알고리즘으로 회전자의 절대 위치를 검출 한 후, 1,500rpm의 지령속도에 대한 정상상태 속도응답을 나타낸다.



(d) Reference 속도에 따른 모터 속도 응답
〈그림 7〉 시뮬레이션 파형

3. 결 론

본 논문에서는 BLDCM 센서리스 구동 시 부가적인 회로가 필요 없어 신뢰성이 및 가격 경쟁력이 향상된 Full-Digitize 센서리스 구동 방법을 제안 하였다. 제안된 센서리스 알고리즘을 통해 EHPS에 적용되는 전기 모터 뿐만 아니라 다른 분야에서도 사용 될 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 류세현, 김영균, 허진, 성하경 “42V 자동차 EHPS용 BLDC 모터 개발에 관한 연구,” 대한전기학회 학술대회논문집, pp. 119-121, 2007
 [2] 김경화, 정문중, 김태덕, 김영만, “DSP를 이용한 Brushless DC 모터의 초고속 센서리스 제어,” 전력전자학술대회 논문집, pp. 37-40, 1999
 [3] 이동명, 김학원, 조관열, “영구자석 매입형 BLDC 전동기 센서리스 제어시스템의 위치검지 오차분석 및 모델링,” 전력전자학회논문지, vol. 12, no. 1, pp. 9-18, 2007