

PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle) 의 클러치 구동 시스템을 위한 BLDC 모터의 위치제어 알고리즘

진용신*, 신희근*, 조관열*, 김학원*, 목형수**
충주대학교*, 건국대학교**

Position Control algorithm for clutch drive system of PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle)

Yong Sin Jin*, Hee Kuen Shin*, Kwan Yuhl Cho*, Hag Wone Kim*, Hyung Soo Mok**
Chungju National Univ*, Konkuk Univ**

ABSTRACT

본 논문에서는 자동차가 전기모터로 주행하다가 배터리가 방전되면 엔진으로 구동할 수 있도록 연결해 주는 클러치 시스템에 적용된 BLDC 모터의 위치제어기를 제안한다. 클러치 시스템에 사용되는 BLDC 모터의 구동은 Hall 센서로부터 검출된 회전자 위치정보를 이용하여 위치제어를 수행하였다. PHEV 시스템에서는 클러치를 엔진과 전기모터로 연결해야 하므로 정확하고 빠른 위치제어를 위해 위치제어기를 적용하였고, 클러치 연결 시 진동을 최소화하기 위해 속도제어기를 사용하여 엔진의 속도와 클러치 모터의 속도를 동기가 되도록 하였다. 또한 위치제어를 하기 전에 클러치의 초기 위치를 맞춰 줘야 하므로 모터의 위치정보를 이용하여 속도제어기와 전류제어기로 모터를 일정한 위치로 이동시켰다. BLDC 모터의 전압제어를 위한 PWM 방법은 기존의 바이폴라 PWM 보다 전류리플이 적은 유니폴라 효과를 내는 새로운 바이폴라 PWM 방법을 사용하였다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 전 세계적으로 심각한 환경오염으로 인해 내연기관 자동차를 전기모터를 사용하는 전기자동차로 대체하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 전기모터만 사용하는 전기자동차는 배터리 충전 등의 문제로 인해 제한적으로 사용되고 있으며 엔진과 전기모터를 같이 사용하는 하이브리드 자동차의 개발에 집중하고 있다.^{[1][2]}

본 논문에서는 PHEV 시스템에서 자동차가 전기모터로 주행하다가 배터리가 방전되면 엔진으로 구동할 수 있도록 연결해 주는 클러치 시스템에 적용된 BLDC 모터의 위치제어기를 제안한다. 클러치 시스템에 사용되는 BLDC 모터의 구동은 Hall 센서로부터 검출된 회전자 위치정보를 이용하여 위치제어를 수행하였다. 클러치를 엔진과 전기모터로 연결되는 시간은 0.3초 이내의 빠른 시간이 요구되므로 위치제어기를 사용하여 빠른 응답을 갖도록 제어하였다. 클러치 연결 시 진동을 최소화하기 위해 속도제어기를 사용하여 엔진의 속도와 클러치 모터의 속도를 동기가 되도록 하였다. 또한 위치제어를 하기 전에 클러치의 초기 위치를 맞춰 줘야 하므로 모터의 위치정보를 이용하여 속도제어기와 전류제어기로 모터를 일정한 위치로 이동시켰다. BLDC 모터의 전압제어를 위한 PWM 방법은 기존의 바이폴라 PWM 보다 전류리플이 적은 유니폴라 효과를 내는 새로운 바이폴라 PWM 방법을 사용하였다.^[3]

2. 본문

2.1 PHEV용 BLDC 모터

PHEV 시스템의 경우 그림 1에 나타난 바와 같이 동력원으로 전기 모터와 엔진을 모두 사용하지만 전기 모터가 주 동력원이 된다. 전기모터로 주행 시 배터리가 방전되면 엔진을 이용하여 주행하고 엔진모드로 동작 할 때 모터에서 발생하는 회생에너지를 배터리로 충전한다. 플러그인 하이브리드 자동차에서는 자동차의 동력원을 전기모터에서 엔진으로 원활하게 이동하기 위한 클러치가 필요하며 클러치가 전기모터 구동모드에서 엔진모드로 변환될 때 빠르고 정확하게 연결해 줘야 한다.

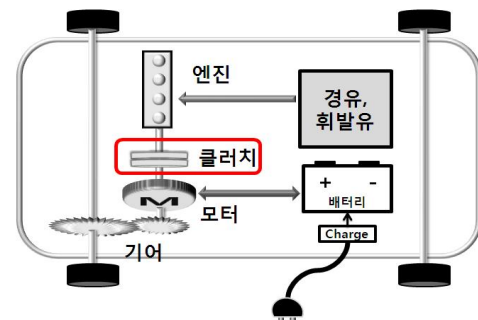


그림 1 플러그인 하이브리드 자동차 구조
Fig. 1 Structure of PHEV

PHEV의 클러치용 BLDC 모터의 사양은 표 1과 같다. BLDC 모터는 1차 및 2차 기어를 통하여 부하가 요구하는 토크를 발생한다. 이 경우 높은 기어비로 인한 클러치의 위치제어 완료시간의 지연을 최소화하기 위해 빠른 응답특성을 갖도록 위치제어를 수행하였다.

표 1 BLDC 모터의 사양 및 요구사항
Table 1 Specs. and requirement of BLDC motor

정격 속도	9,050 rpm
최대 토크	0.107 Nm
정격 전압 및 최대 전류	12 V / 10.4 A
모터 극수	2
1차 기어 비	74 : 1
2차 기어 비	120 : 47
위치 제어 동작 완료시간	0.3 sec / 60°
부하 요구토크	8.361Nm

2.2 클러치 시스템의 BLDC 모터의 모의실험

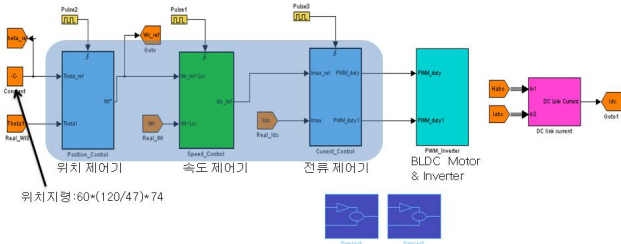


그림 2 시뮬레이션 블록도
Fig. 2 Simulation block

BLDC 모터의 전압제어를 위한 PWM은 새로운 바이폴라 (Bipolar) PWM 방법을 사용하였다. 유니폴라(Unipolar) PWM 방법은 바이폴라 PWM에 비해 토크리플이 작다. 그러나 클러치용 BLDC 모터의 위치제어 시스템에서는 모터의 제동이 필요하므로 유니폴라 PWM 방법을 사용하기 어렵다. 새로운 바이폴라 방법을 사용하여 기존 바이폴라 방법에 비해 토크리플을 작게 하였다. 그림 3에서 위의 파형은 새로운 바이폴라 PWM을 사용할 때 모터에서 발생하는 토크를, 아래 파형은 기존의 바이폴라 PWM을 사용할 때의 토크를 나타낸다. 기존의 바이폴라 방법에 비해 새로운 바이폴라 방법을 사용하였을 때 모터의 토크리플이 작은 것을 확인할 수 있다.

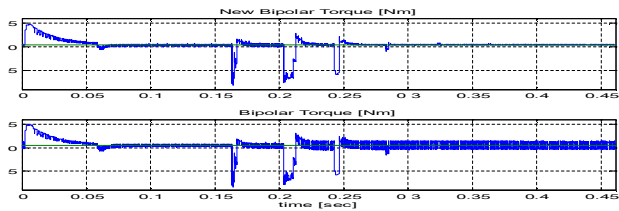


그림 3 기존 바이폴라방법과 제안된 바이폴라 방법의 모터토크
Fig. 3 Motor torque of the conventional bipolar method and proposed bipolar method

위치지령과 회전자의 실제위치의 차이인 위치오차는 위치제어기를 거쳐 속도지령을 만든다. 속도제어기는 속도지령과 모터의 실제속도로부터 모터에 인가할 전류지령을 생성한다. 또한 전류제어기는 전류지령과 모터의 권선에 흐르는 전류로부터 모터에 인가할 전압의 duty 지령을 발생한다. Duty 지령과 캐리어(Carrier) 파를 비교하여 인버터 스위치의 On/Off 상태를 결정한다. 그림 4는 클러치용 BLDC 모터의 위치제어 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 모터의 속도는 속도지령을 잘 추종하고 있으며 회전자의 위치도 0.3초 이내에 제어됨을 알 수 있다.

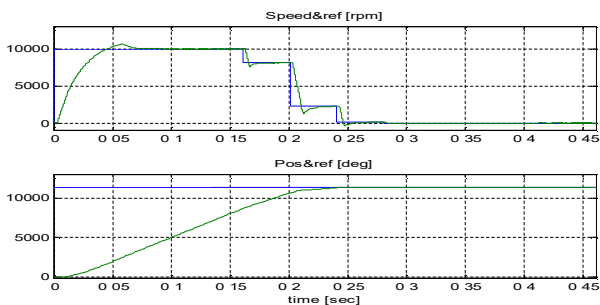


그림 4 위치제어 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation result of the position control

2.3 클러치 시스템의 BLDC모터의 실험

그림 5는 실험에 사용한 클러치용 BLDC 모터와 제어기를 나타낸다. BLDC 모터의 제어기는 시뮬레이션 결과를 토대로 위치제어 알고리즘을 구현하였다. 그림 6은 제안된 위치제어 알고리즘에 의한 BLDC 모터의 위치제어 및 속도제어 특성을 나타낸다. BLDC 모터의 회전자 위치가 지령위치까지 0.3초 이내에 도달함을 알 수 있다.

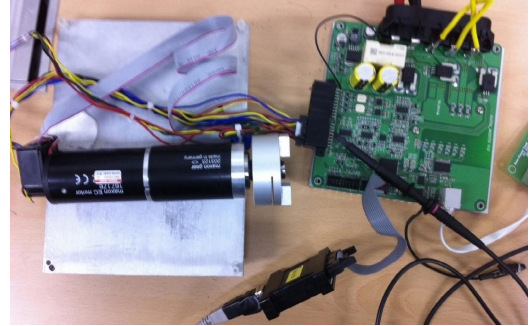


그림 5 인버터 보드와 BLDC 모터
Fig. 5 Inverter Board And BLDC Motor

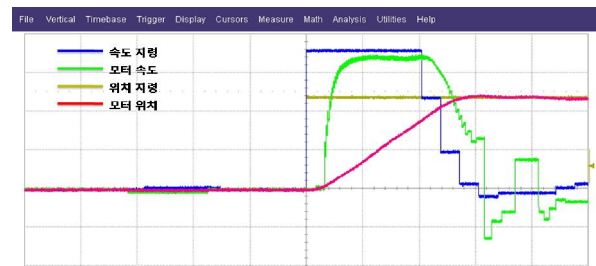


그림 6 위치 제어 실험 결과 (time : 0.1sec/div.)
Fig. 6 Experimental result of position control

3. 결론

본 논문에서는 플러그인 하이브리드 자동차의 클러치 구동 시스템을 위한 BLDC 모터의 위치제어를 제안하였다. 클러치 시스템에 사용되는 BLDC 모터의 구동은 Hall 센서로부터 검출된 회전자 위치정보를 이용하여 위치제어를 수행하였다. BLDC 모터의 속도를 10,000rpm의 고속으로 제어함으로써 클러치 시스템에서 요구하는 BLDC 모터의 위치제어 완료시간인 0.3초를 만족하였다.

본 논문은 지경부의 연구비지원에 의해 연구되었음.
(AR연장형 PHEV용 고효율 고성능 모터 변속기의 제어시스템 개발 : 과제 번호 10035276)

참고 문헌

- [1] 김상훈, DC, AC, BLDC 모터제어, 북두출판사
- [2] Yongxiang Xu, Yu Tang, Junwei Zhu, Jibin Zou, and Changjun Ma, "Control of a BLDC motor for electromechanical actuator," Proceedings of ICEMS 2008, pp. 3266-3269, 2008.
- [3] H. W. Kim, "Novel bipolar PWM method having low ripple current for brushless DC motor" submitted for publication on JPE.