

가솔린 차량용 가변 밸브 BLDC 모터 제어기 개발

박준성*, 최준혁*, 구본관*, 김진홍*, 정인성*
전자부품연구원*

Development of BLDC motor Controller for VVA Module of Gasoline Vehicle

Joon Sung Park*, Jun Hyuk Choi*, Bon Gwan Gu*, Jin Hong Kim*, In Soung Jung*,
Korea Electronics Technology Institute*

ABSTRACT

자동차 산업에 있어서 반도체 기술발전과 더불어 차량 내 기능들이 효율성, 경제성 및 친환경적인 관심을 고려하여 기계식 방식에서 전력전자식 방식으로 대체되고 있는 실정이다. 엔진의 연비를 향상시키기 위해서는 엔진의 연소효율을 개선하거나, 엔진에서 발생하는 손실을 줄이는 것이 필요한데, VVA (Variable Valve Actuation, 가변 밸브 작동) 기술은 엔진 흡기 유동 강화, 펌핑 손실 저감, 기계적 마찰 손실 저감등을 통해 엔진의 연비를 향상시킬 수 있다. 또한 VVA 엔진을 장착한 차량은 차량의 발진 응답성이 향상되고, 배기가스 배출량을 줄일 수 있어 친환경 저연비 차량을 실현하는데 핵심 차량부품기술이다. 최근까지 차량의 동구동 구동의 경우 DC모터 방식이 많이 적용되어 왔으나 DC모터의 내구성 및 효율 등의 이유로 BLDC모터로 바뀌고 있는 추세이다. 본 논문에서는 이와 같은 VVA 기구의 적용을 위하여 BLDC모터 제어기를 개발하였다.

1. 서론

최근 환경 문제로 인하여 세계 각국의 자동차 연비 관련 규제가 강화되고 있으며, 저연비 차량에 대한 시장의 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 완성차 업계에서는 엔진 연비를 향상시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 엔진의 연비를 향상시키기 위해서는 엔진에서 발생하는 손실을 줄이거나, 엔진의 효율을 개선할 필요가 있으며, VVA(가변 밸브 작동)기술은 엔진 흡기 유동강화, 펌핑 손실 저감, 기계적 마찰 손실 저감 등을 통하여 엔진의 연비를 향상시킬 수 있다. 또한 VVA기술은 엔진의 저속운전과 고속운전에 각각 적합한 밸브 리프트를 구현하여, 전 운전 영역에서 엔진 성능을 향상시킬 수 있다. 이로 인하여 차량 기어비를 최적화하여 차량 연비를 향상시킬 수 있다. 아울러 VVA기술은 엔진 시동 초기에 촉매 활성화 시간을 단축하여 배기가스 배출량을 저감할 수 있고, 운전 중 엔진실 압축비를 낮춰 질소 산화물 배출량을 줄일 수 있다.

모터와 제어기가 위치하는 곳은 엔진주위로서 사용환경온도는 40~125[°C]로 매우 높으며 엔진의 밸브를 직접 제어함으로써 고신뢰성이 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 고신뢰성 소자를 선정하여 제어기를 설계하였으며, 특히 양산성 확보를 위하여 8bit 프로세서를 선정하였다.

2. 본론

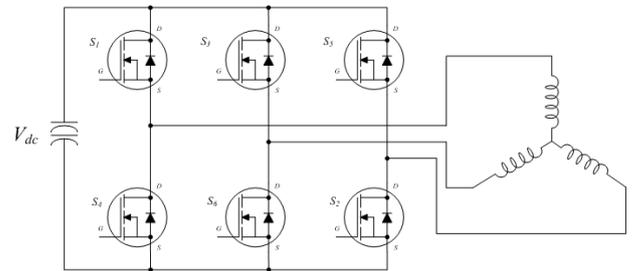


그림 1 BLDC 모터와 인버터 구조

현재 자동차 시스템은 12V시스템으로써 적용하고자하는 VVA모터의 출력은 약 250W급으로써 대용량 전류가 필요하게 된다. BLDC모터 및 제어기는 영구자석의 고밀도화/저가격화와 함께 반도체 소자의 저가격화로 많은 산업 분야에서 활용되고 있으며, 특히 최근 고유가 문제로 인한 친환경 저연비 자동차에 대한 관심과 함께 자동차에서도 많이 적용이 되고 있다. 또한, DC 모터 대비 정류자, 브러쉬가 없어 효율이 높고, 소음이 적으며, 내구성이 좋은 장점이 있다.^[1] BLDC모터는 일반적인 DC모터의 구조와 서로 상대적인 특징이 있다. DC모터는 고정자에 영구자석이 부착되어 계자를 제공하며 전기자 권선은 회전자에 위치한다. 이와는 상대적으로 BLDC모터는 회전자에 영구자석을 장착하고 고정자에 권선이 위치한, 영구자석 동기전동기 구조를 갖는다. 일반적인 DC모터는 회전자의 연속적인 회전을 위해 전기자 권선의 단자를 정류자 편에 연결시키고 외부전압이 인가되는 브러시와의 접촉을 통하여 전기자 권선에 전류가 흐르도록 하고 있다. 반면에 BLDC모터는 인버터를 이용하여 고정자의 전기자 권선에 순차적으로 여자 전류를 인가하여 회전력을 발생시킨다.^{[4][5]}

BLDC모터는 일반적으로 120도 도통방식을 많이 사용한다. 120도 도통방식 제어 시 Back EMF와 상전류의 위상을 일치시켜 최소의 전류로 최대의 출력 토크를 발생시킨다. 그러나 고속운전 하에서 큰 부하가 발생할 경우 상전류와 주파수가 증가하여 모터 상인덕턴스에 의한 임피던스가 증가하여 상전류를 Back EMF에 비하여 상전류 지상이 발생한다. 이러한 현상은 상전류의 양을 증가시켜 전체 시스템 효율을 감소시킬 뿐 아니라 모터의 출력 면에서도 감소를 가져오게 된다.^{[2][3]} 본 논문에서는 출력전류를 조정하여 Back EMF와 일치시킬 수 있는 Lead angle 기법을 적용하였다. 또한 자동차에 적용하기 위하

여 역전압방지회로 및 인러쉬방지회로를 구현하였으며, 제어기가 엔진룸인근에 위치함을 고려하여 모든 부품은 사용환경온도 (40~125[°C])를 고려하여 적용하였다.

기존의 역전압방지회로는 릴레이등을 이용하여 간단히 구현할 수 있었으나 릴레이는 사이즈가 크고 적용제어기의 용량이 250[W]급으로 전류용량이 크며 엔진주위의 환경온도를 고려하면 125[°C]급으로 릴레이를 이용하여 구현할 수 없다. 이와 같은 문제를 극복하기 위하여 MOSFET를 사용하여 회로를 구현하였다. 순방향 접속시 초기에는 MOSFET의 다이오드를 통하여 동작되다가 일정전압 이후로는 MOSFET를 동작시키도록 하였다. 역방향 접속시에는 다이오드에 의해 제어기의 회로에 역전압이 걸리지 않도록 하였다.

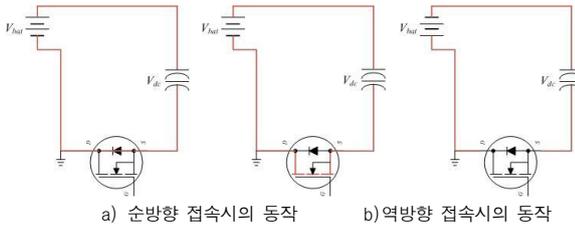


그림 2 역전압 방지회로의 동작

VVA제어기를 배터리에 연결시 캐패시터 충전에 의해 전류가 급격히 상승할 수 있다. 또한 현재 사용하는 제어기의 용량은 매우 크기 때문에 이 때 발생하는 인러쉬전류는 매우 크다. 이러한 인러쉬전류의 발생으로 인하여 자동차의 퓨즈는 쉽게 타버릴 수 있다. 이를 방지하기위해 인러쉬 방지회로를 적용하였다. 인러쉬저항을 사용하여 초기 충전시 전류를 조절하였다.

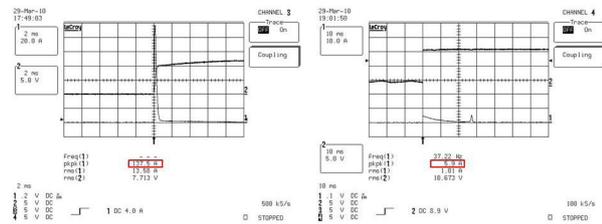


그림 3 인러쉬방지회로의 동작파형

본 논문에서 적용하는 VVA용 BLDC모터 드라이브는 기존의 일반적인 산업용 드라이브와 비교하여 고밀도, 고풍력의 사양이 요구된다. 또한 제어기가 엔진룸인근에 위치하여 고온 동작시 위하여 각 부품소자를 3D로 설계하여 이를 바탕으로 부품을 배치하고 하드웨어를 설계하였다.

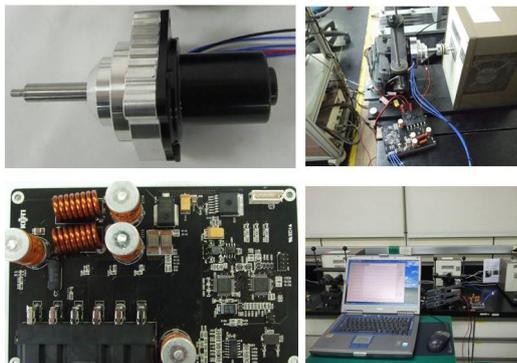


그림 4 개발된 BLDC모터 및 제어기

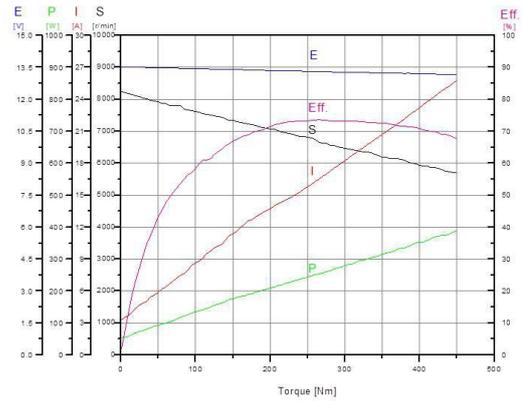


그림 5 모터 및 제어기의 NTI그래프

그림 4는 개발된 BLDC모터 및 제어기 사진이다. VVA제어기는 주위환경온도를 고려하여 125[°C]급 소자를 이용하여 설계되었다. 개발된 BLDC모터는 960[g]으로 이를 중량에 대한 출력밀도로 환산하면 0.26[W/g]의 출력밀도를 가진다. 그림 5는 BLDC모터 및 제어기 시료를 정격전압인 135[V]를 입력하여 무부하에서 0.45[Nm]까지 연속으로 측정된 결과이다. 무부하 속도는 약 8,200[rpm]이며 정격부하 0.2 및 0.35 [Nm]지점에서의 속도는 각각 7,000 및 6,000 [rpm]이며, 최대효율은 0.25 [Nm] 부근에서 약 73[%]로 측정되었다.

3. 결론

본 논문은 가솔린 차량에 적용되는 VVA 기구의 BLDC모터 및 제어기 개발에 관한 것으로서 사용환경온도인 40~125 [°C]를 고려하여 설계하였다. 양산성을 고려하여 제어기는 8bit 프로세서를 적용하였다. 차량에 적용하기 위해서 소형 고풍력 모터 및 드라이브를 실현하였으며, 부하시험을 통하여 성능을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Zeraouia M., Benbouzid M.E.H., Diallo., "Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion System : A Comparative Study," IEEE Trans. Vehicular Technology Vol. 55, Issues 6, pp. 1756 1764, Nov. 2006.
- [2] A. Tozune, and T.Takeuchi, "Improvement of torque speed characteristics of brushless motor by automatic lead angle adjustment," IPENC 2004, pp 583 587, 2004.
- [3] S. K. Safi, P. P. Acaarnley, and A. G. Jack, "Analysis and simulation of the high speed torque performance of brushless DC motor drives," IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol. 142, No. 3, May 1995.
- [4] T.J.E. Miller, Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives, Clarendon Press, Oxford 1989.
- [5] Richard Valentine, Motor Control Electronics Handbook, McGraw Hill Handbook, 1998.