

저가형 모터 드라이브 기술동향

이병국, 김종수, 임근희
한국전기연구원

State-of-the-Art of Low Cost Motor Drives

B.K. Lee, J.S. Kim, and G.H. Rim
Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

In this paper, the research trend and the state-of-the-art of low cost motor drives are introduced with the recently increasing interest in various industrial applications, such as home appliance, hybrid electric vehicles, wind power systems, fuel cell systems, and etc. Based on this presented work, it is highly expected the power electronics technologies, which are accumulated through the last 20 years, can be effectively applied to actual application fields.

1. 서 론

전력전자 기술은 전력용반도체 스위칭 소자의 급속한 발전에 힘입어 AC-DC PWM 컨버터 회로, DC-AC PWM 인버터 회로, DC-DC Switched Mode Power Supply 회로 등의 전력변환 회로 설계 기술과 AC 모터 구동기술 및 제어기법에 많은 발전을 이루어 왔으며 산업계의 여러부분에 주요기술로 활발하게 적용되고 있는 실정이다. 국내 기술 상황도 1980년대 이후 학계 및 산업계 그리고 연구계에서 많은 인적, 물적 지원으로 세계기술과 어깨를 나란히 할 수 있을 정도의 기반기술이 확보되어 있는 실정이다. 하지만 급속한 양적인 성장을 이룬 것에 비해 실질적으로 산업계 현장에서 사용되고 있는 기술은 제한을 받고 있다. 이의 주요한 원인으로서는 신뢰성 확보의 미비와 고가의 구현 기술에서 문제점을 찾아볼 수 있다.

최근들어 전력전자의 기술을 구현하기 위한 "Cost"에 주요한 관심을 두고 저가형 드라이브에 관한 연구에 많은 노력이 기울여지고 있다. 적용 대상에서 요구되는 최적의 성능을 만족시키기 위한 가장 간단한 전력변환 회로는 무엇인가? 가장 간단한 제어 알고리즘은 무엇인가? 이런 제어 알고리즘을 구현하기 위한 가장 간단한 Micro-Processor는

무엇인가? 또한 어떠한 전기모터를 선정해야 하며 선정된 모터를 어떻게 가장 간단하게 설계 할 수 있는가?

이러한 질문들에 만족할 답변을 줄 수 있는 시스템을 개발하기 위해서는 적용 대상에서 요구되는 성능을 부하 특성과 연관하여 정확하게 파악을 해야 하는 것이 가장 선행되어야 하는 과제이며 이러한 요구조건을 만족시킬 수 있는 시스템을 제한된 "Cost" 안에서 구현 하는 설계, 제조 기술이 저가형 드라이브 연구에 핵심을 이루는 것이다.

일례로 최근 미국 DOE (Department of Energy) 에서는 Solid State Energy Conversion Alliance (SECA)를 구성하여 2010년까지 연료전지 (Fuel Cell) 기술의 실질적인 보급을 위하여 \$85.7 Million의 연구투자비를 책정하였다 [1]. 이의 핵심 연구 목표는 효율 70-80%, 가격 \$400/kW의 조건을 만족하는 5kW급 Solid-State Fuel Cell Module 개발에 있다. 이를 실현하기 위해서는 일차적으로 Fuel Cell Stack 개발이 선행되어야 하지만 Fuel Cell 를 구동하는 저가의 전력변환 시스템의 개발도 연구의 주요부분을 이루고 있다. Fuel Cell 구동형 전력변환 회로에서는 에너지 손실 3% 이하, 40,000시간 이상 동작 가능한 저가형 인버터 시스템의 개발이 연구목표로 책정되어 있다.

위와 같은 국제적인 연구동향에 발맞추어 본 논문에서는 저가형 드라이브 시스템에서 요구되는 기술적인 고려사항들과 최근 연구 동향에 대해서 살펴봄으로써 인해 이 분야에 대한 국내 기반기술 확보에 이바지 하고자 한다.

2. 저가형 모터 드라이브

그림 1은 저가형 드라이브의 전체 시스템 개요를 나타내고 있다. AC 입력부 (단상, 3상)와 입력전원의 역할 및 인버터부의 입력 DC 전압을 조절하는 PWM 컨버터, 커패시터와 인덕터로 구성되는 에너지 저장부 및 전기모터를 구동하기 위한 PWM

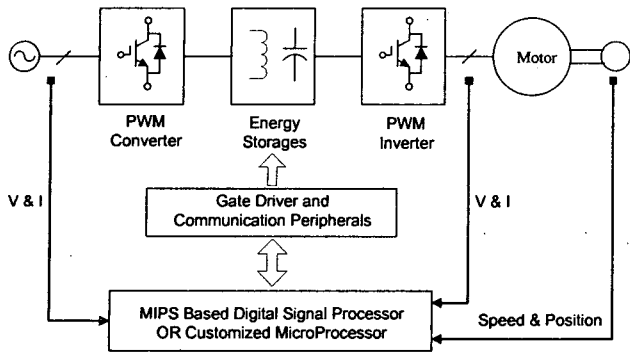


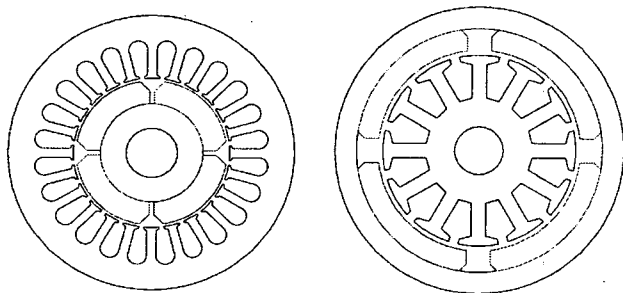
그림 1 저가형 드라이브 시스템 개요

Fig. 1. Overall diagram of low cost drive systems.

인버터로 주 회로가 구성되며 이를 구동하기 위한 전압, 전류의 센싱부 및 Micro-Processor와 Gate Drive 회로로 제어부가 구성이 된다. 지금까지는 주로 컨버터, 인버터와 모터의 세 분야에서 개별적으로 저가형에 대한 연구가 이루어져 왔으나 원하는 토크, 속도 특성을 만족시키는 궁극적인 저가형 드라이브를 구성하기 위해서는 전체 시스템의 상호 연관성을 고려하여 단계적이면서 상호 복합적인 연구가 반드시 수행되어야 한다.

2.1 저가형 전기모터 설계

Synchronous 모터, Induction 모터, BLDC 모터, SR 모터, Linear 모터 및 초음파 모터 등 여러 모터들이 지니고 있는 고유한 특성분석에 근거하여 부하에서 요구하는 전기적, 기계적 특성을 충족시킬 수 있는 모터를 선정 후 컨버터 및 인버터 회로의 구성과 구동방식 등 제한된 구동부 환경속에서 원하는 성능을 낼 수 있는 방안을 고려하여 최종적으로 모터 형상설계 방안이 마련되어야 한다. 최근들어 여러 전기모터 중에서 특히 구조가 간단하고 제어가 간단한 BLDC 모터는 저가형 드라이브에 적합한 것으로 인식이 되고 있다. 하지만 이러한 BLDC 모터도 제한된 가격 안에서 가격대비 성능의 조건을 만족시키기 위해서는 그림 2에서 보



(a) Inner rotor type (b) Outer rotor type

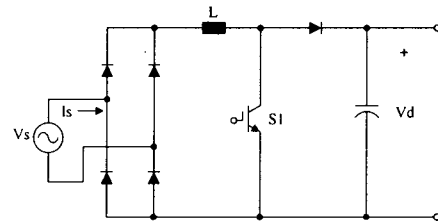
그림 2 BLDC 모터 형상

Fig. 2. BLDC Motor Structures.

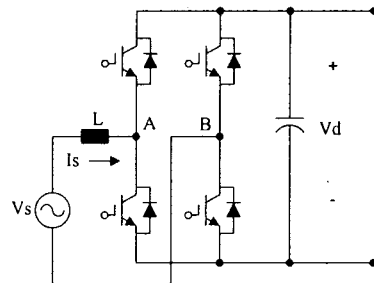
듯이 고정자와 회전자의 형태, 회전자에 부착되는 자석의 종류 및 상수 (Number of Phase) 등 수많은 세부적인 고려사항이 뒤따르게 된다. 1998년 미국 Emerson 회사의 연구 결과에 의하면 기존의 3상 BLDC 모터를 대체하기 위하여 2상 BLDC 모터를 설계하여 가격절감을 이루고자 하였다 [2]. 참고문헌 [3]에서는 모터구조에 따른 전력변환 회로의 설계 방안에 대하여 고찰하였다. 연구결과에 따르면 컨버터 회로구성이 모터 설계의 중요한 설계 변수가 되는 것으로 밝혀져 궁극적인 저가형 드라이브 설계를 위해서는 최초 설계 시 컨버터 회로와 모터 형상의 상호 영향에 대한 충분한 검토가 반드시 이루어져야만 한다.

2.2 저가형 전력변환 회로 설계

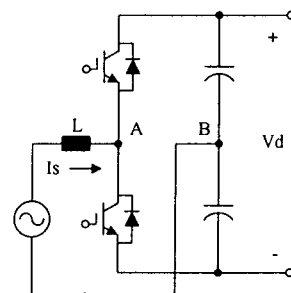
저가형 전력변환 회로의 설계를 위해서는 회로를 구성하는 전력용 반도체 스위치 및 수동소자의 개수를 줄이는 방안과 제한된 하드웨어에서 최적의 성능을 구현 할 수 있는 제어알고리즘에 관한 연구가 수행된다. 그림 3은 PWM 컨버터 회로의 구성에 따른 변화를 보여주고 있으며 전압, 전류 특성을 그림 4에 나타내고 있다 [4].



(a) Boost 컨버터



(b) Full-Bridge 컨버터



(c) Voltage-Doubler

그림 3 저가형 PWM 컨버터 회로

Fig. 3. Variation of PWM Converters.

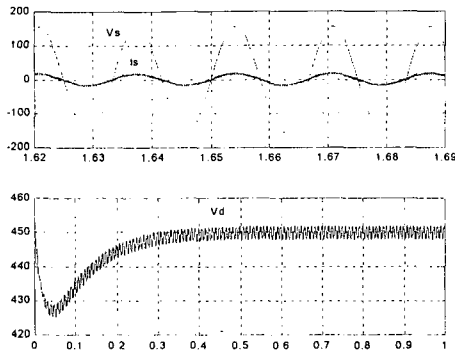
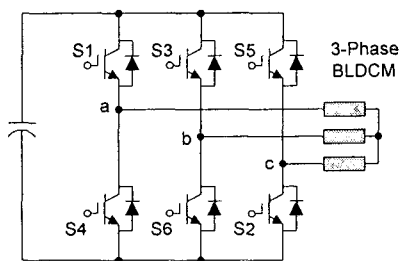


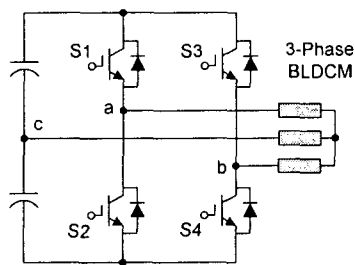
그림 4 PWM 컨버터 회로의 제어특성

Fig. 4. Overall characteristics of PWM converters (top: input voltage and current; bottom: DC-Link voltage).

저가형 PWM 인버터 회로에 관한 연구는 1984년 Van Der Broeck에 의해 제안된 기존 6스위치 인버터 회로의 스위치 소자 개수를 줄인 4스위치 회로에 바탕을 두고 지속적으로 연구가 진행되고 있다 [5]-[7]. 지금까지 4스위치 회로가 주로 Induction 모터에 적용이 되어왔던 현실에 비해 최근 이를 BLDC 모터에 적용하여 새로운 제어알고리즘으로 3상 BLDC 모터를 구동한 저가형 BLDC 모터 드라이브에 관한 연구결과가 발표되어 BLDC 모터를 저가형 드라이브에 적용할 수 있는 새로운 가능성을 제시하였다 [8]. 그림 5에서는 3상 BLDC 모터를 구동용 기존의 6스위치 인버터와 저가형 4스위치 인버터 회로를 제시하였으며 이에 대한 구동특성을 그림 6에 보여주고 있다.

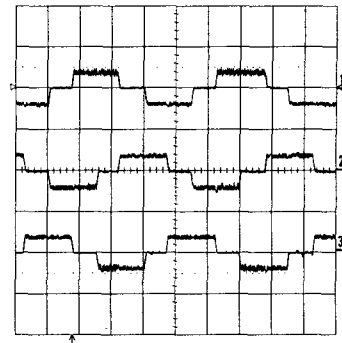


(a) 기존의 6스위치 인버터회로

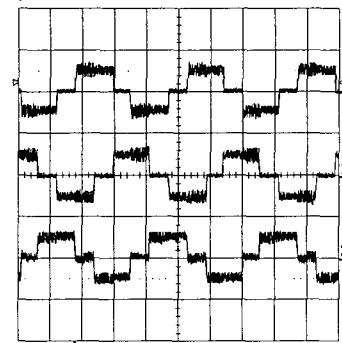


(b) 저가형 4스위치 인버터회로

그림 5 저가형 3상 BLDC 모터 드라이브 회로
Fig. 5. Low cost 3-phase BLDC motor drives.



(a) 6스위치 인버터 특성 (20ms/div., 5A/div.)



(b) 4스위치 인버터 특성 (50ms/div., 2A/div.)

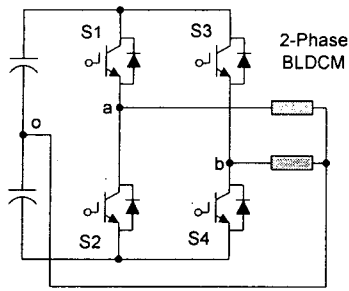
그림 6 저가형 BLDC 모터의 구동특성

Fig. 6. Performance characteristics of low cost BLDC motor drives.

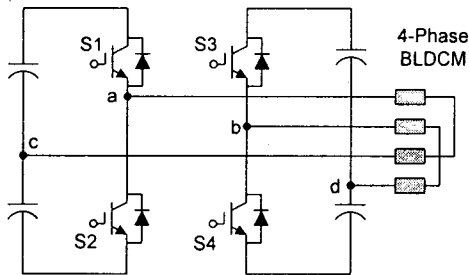
2상 및 다상 모터 설계에 따른 저가형 전력변환 회로 설계에 대한 연구결과를 그림 7에 나타내었으며 자세한 내용은 참고문헌 [3]에 설명이 되어있다.

2.3 저가형 Micro-Processor 설계

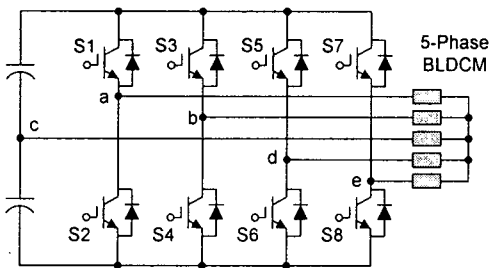
앞에서 언급했듯이 궁극적인 저가형 드라이브를 구성하기 위해서는 저가형 전력변환 회로의 설계와 더불어 저가의 제어알고리즘이 개발되어야 한다. 이는 복잡한 제어알고리즘을 시행하기 위한 고가의 고성능 DSP 사용의 수반을 배제하기 위함이다. 일례로 3상 BLDC 모터를 구동하기 위해 4스위치 회로를 구성하였다 해도 복잡한 SVPWM을 바탕으로 한 제어알고리즘을 결합시킨다면 회로측면에서는 가격절감을 이루었지만 제어측면까지 고려한다면 최종적인 저가형 드라이브의 목적성에 미치지 못한다고 볼 수 있다. 실례로 참고문헌 [8]에서는 수식이 전혀 사용되지 않는 새로운 제어기법을 개발하여 간단한 Micro-Processor만으로도 4스위치 회로를 구동할 수 있는 방안을 마련하였다. 이와같이 궁극적인 저가형 드라이브의 구성을 위해서는 하드웨어적인 면과 소프트웨어적인 면을 동시에 고려해야만 한다.



(a) 저가형 2-phase BLDC 모터 드라이브 회로



(b) 저가형 4-phase BLDC 모터 드라이브 회로



(a) 저가형 5-phase BLDC 모터 드라이브 회로

그림 7 2상 및 다상 저가형 BLDC 모터 드라이브 회로
Fig. 7. Variation of low cost BLDC motor drive circuits.

최근 미국에서는 기존의 상용 DSP의 고가성에 제한을 받아 Customized DSP 설계 및 제작에 많은 연구를 진행하고 있다. 이는 잘 알려진 FPGA (Field Programmable Gate Array) 기술을 바탕으로 한 것으로 적용되는 특정 분야에서 요구되는 성능을 구현하기 위해 최소한으로 설계된 DSP를 장착시키는 방안으로 연구가 진행되고 있다. "What are the minimum functions or requirements of the DSP for this specific application?"에 대한 질문에 합당한 답을 줄 수 있는 Customized DSP를 각각의 응용분야에 적용하고자 하는 시도라 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 최근 많은 관심을 받고 있는 저가형 드라이브의 기술동향에 대하여 고찰하였다. 지금까지의 많은 연구에 의하여 한국의 전력전자 기술은

튼튼한 기반을 마련하였다고 사료된다. 이러한 기반을 바탕으로 앞으로 전력전자 기술이 나아가야 할 방향에 대하여 많은 염려와 더불어 심각한 논의가 이루어지고 있다. 응용분야와 동떨어진 전력전자는 의미가 없는 만큼 새로운 응용분야에 실질적으로 전력전자 기술이 적용될 수 있도록 본 논문에서 살펴본 세계의 연구 추이를 통하여 미약하나마 향후 전력전자 연구에 도움이 되기를 고대한다.

참 고 문 헌

- [1] US Department of Energy Technical Report, http://www.fe.doe.gov/coal_power/fuelcells/fuelcells_sec2.shtml
- [2] Y. Li, T. A. Walls, J. D. Lloyd, and J. L. Skinner, "A novel two-phase BPM drive system with high power density and low cost," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 34, no. 5, pp. 1072-1080, September/October.
- [3] B. K. Lee and M. Ehsani, "Generalized design methodology of reduced parts converters for low cost BLDC motor drives," *IEEE-APEC Conf. Rec.*, pp. 277-280, 2003.
- [4] B. K. Lee, B. Fahimi, and M. Ehsani, "Overview of reduced parts converter topologies for ac motor drives," *IEEE-PESC Conf. Rec.*, pp. 2019-2024, 2001.
- [5] H. W. Van Der Broeck and J. D. Van Wyk, "A comparative investigation of a three-phase induction machine drive with a component minimized voltage-fed inverter under different control options," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 20, no. 2, pp. 309-320, Mar./Apr. 1984.
- [6] H. W. Van Der Broeck and H. C. Skudelny, "Analytical analysis of the harmonic effects of a pwm ac drive," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 3, no. 2, pp. 216-223, Apr. 1988.
- [7] F. Blaabjerg, D. O. Neacsu, and J. K. Pedersen, "Adaptive SVM to compensate dc-link voltage ripple for four-switch three-phase voltage-source inverter," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 14, no. 4, pp. 743-752, July 1999.
- [8] B. K. Lee, T. H. Kim, and M. Ehsani, "On the feasibility of four-switch three-phase BLDC motor drives for low cost commercial applications: topology and control," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 18, no. 1, pp.164-172, Jan. 2003.