

## DC 전력선 통신을 이용한 Plug-in형 BLDC 구동 시스템

于韜<sup>†</sup>, 宋成根<sup>†</sup>, 李敏中<sup>\*\*</sup>, 金堯憲<sup>\*\*\*</sup>, 朴晟濬<sup>\*\*\*\*</sup>

## Plug-in BLDC Control System using DC-link Communication

Yu Tao, Sung-Geun Song, Min-Jung Lee, Kwang-Heon Kim and Sung-Jun Park

## 요 약

현재 생활의 이기인 자동차 등에서 구동되는 기기의 전원은 배터리 전원을 주로 사용하고 있으며, 또한 산업체에 사용되는 인버터를 사용하는 기기에서도 DC 전원 사용이 확대되고 있다. 이와 같이 DC 전원이 사용되는 곳에서 전력선을 활용한 데이터 통신방식에 대한 수요가 급증할 것으로 사료된다. 본 논문에서는 DC 전원을 기반으로 하는 DC 전력선 통신을 이용하여 BLDC(Brushless DC) 전동기 구동시스템을 제안한다. 이 시스템의 특징은 인출되는 DC 전원으로 사용되는 2 선만으로 구성하여 데이터 통신을 할 수 있는 장점이 있다. 외부 설정치와 지령치로 사용되는 신호선을 제거하고 전력선과 엔코더 신호선의 단축으로 신뢰성 확보되며, 또한 멀티 제어 시 배선수의 최소화 및 회전기기 장착 시 슬립링 수를 최소화 할 수 있다. 위험한 환경에서도 안정성이 증가되며, 시스템 제작단가를 저감할 수 있다. 마지막으로 제안된 방식에 대한 우수성을 검증하기 위해서 PSIM 및 MATLAB를 활용하여 시뮬레이션을 실시하였고, 실제 프로토타입을 제작하여 실험을 통하여 그 타당성을 검증 하였다.

## ABSTRACT

The powers used in the motor drive system are mostly DC sources like batteries. Even AC powers in some systems are generated from DC sources by the inverter. It is can be forecasted that the DC-link communications will be widely used in various industrial fields. In this paper a novel BLDC motor drive system using DC-link communications is proposed. The characteristic of this system is that the communication only needs 2 DC lines. There are not additional lines to translate the reference signals. And the reliability of the system is ensured especially under some terrible circumstances. The number of lines can be minimized when the DC-link communication method is applied in the multi motor control system and the slip ring design also can be simplified when this method is applied in rotation machines. The proposed motor system is clarified by the PSIM and MATLAB simulations and tested through the hardware prototype.

**Key Words** : DC-link communication, BLDC control

## 1. 서 론

<sup>†</sup>교신저자 : 정희원, 전자부품연구원 선임연구원  
E-mail : fid111@naver.com

\*정희원, 전남대 전기공학과 박사과정

\*\*정희원, 전남대 전기공학과 연구교수

\*\*\*정희원, 전남대 전기공학과 교수

\*\*\*\*정희원, 전남대 전기공학과 부교수

접수일자 : 2008. 8. 18                      1차 심사 : 2008. 11. 18

2차 심사 : 2008. 12. 19                      심사완료 : 2008. 12. 22

전력선을 이용한 통신방법은 외국에서 1920년대 초부터 제안되어 왔다<sup>[1]</sup>. 기존의 전력선 통신은 전기가 공급되는 교류 전력선에 데이터 신호를 전송하는 방식을 주로 사용하였으며, 원격검침, 홈오토메이션, 공장 자동화를 구현하기 위하여 사용 되고 있다<sup>[2]</sup>. 현재까지 전력선 통신의 대부분은 교류전원에 대해 개발되었다. 그 이유는 가정이나 산업계에서 사용되는 전력의 대부분이 교류전원 체제로 구성되어 있기 때문이다<sup>[3]</sup>.

FPGA 및 USB 인터페이스 기반으로 자동차용 DC 전력선 통신방식에 연구를 진행하였으며, 기존의 AC 기반 통신 프로토콜을 DC기반 통신 프로토콜로 간략화를 추진하였다<sup>[4,5]</sup>. 펌웨어 코어와 스위칭 증폭기를 이용한 PLC 통신신호 감쇠 저하 방안도 제안된다<sup>[6]</sup>. HVDC 시스템에서 DC 전력선 통신방식을 적용함에 있어서 기존의 높은 주파수를 통신에 의존하였던 것을 낮은 주파수(저주파)에서 적용가능 함을 주파수 분석을 통하여 증명하였다<sup>[7]</sup>. 유도 전동기 등 현 산업에 사용되는 전기기기 및 가전기기의 전원들 중 대부분이 DC 전원을 요구하고 있으며, 각 기기마다 교류전원에서 DC 전원으로 변환하는 정류기를 내장하고 있다. 이러한 정류기를 내장함으로 기기의 단가 경쟁력이 떨어지고 있는 실정이다. 이를 극복하기 위해 향후 전력시스템은 교류에서 DC 시스템으로 변환할 것이다. 따라서 전력선 통신도 교류 전력선 통신방식에서 DC 전력선 통신 방식으로의 전환이 필요하다. 또한 현재 이동용 기기인 자동차에서 구동되는 기기의 전원은 배터리 전원을 사용하며, 산업체에 사용되는 인버터를 사용하는 기기에서도 DC 전원을 사용하고 있다. 그러므로 향후 이와 같은 시스템에서 DC 전력선 통신에 대한 수요가 급증할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 DC 전원 및 DC 전력선 통신을 이용하여 BLDC 전동기 구동시스템을 제안한다. 본 방식은 DC 전원에서 DC 전력선 통신을 이용한 전동기 제어 구성 장치에 관한 것으로, 본 장치의 특징은 인출되는 선의 수는 DC 전원인 2 가닥만으로 구성이 가능한 장점이 있다. 또한 본 방식의 전력선통신방식은 기존의 트랜스리스 전력선 통신이 가능한 저가형 방식이 그 특징이다. 마지막으로 제안된 방식을 PSIM 및 MATLAB를 이용한 시뮬레이션 수행하였으며, 또한 실험 장치 제작 및 시험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

## 2. 시스템의 구성

그림 1은 본 논문에서 제안하는 DC전력선 통신을 이용한 BLDC 구동시스템을 나타낸다. 그림 1과 같이 시스템은 DC 전원단 제어부와 모터 제어부를 구성되어 있으며, 제어신호는 DC link와 BPF(Band Pass Filter)필터를 통해 양 제어부 사이에 전송된다.

### 2.1 전원단 제어부 구성

그림 2는 본 논문에서 제안한 DC-link통신에서 DC

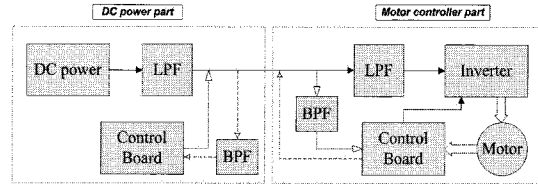


그림 1 전체 시스템의 블록도  
Fig. 1 Block diagram of system

전력선 통신부를 포함한 DC파워부분에 대한 구성도를 나타내고 있다. 그림 2와 같이 전원단 제어부는 DC-link, 소형 마이크로프로세서(AVR), 포토커플러, 필터 그리고 비교기로 구성되어 있다. DC 전력선 통신부의 제어보드에서 전송하는 제어 지령신호는 AVR TX단자 및 포토커플러를 이용하여 DC-link에 중첩하여 모터단 DC 전력선 통신부로 전송한다. 그리고 모터단 DC 전력선 통신부에 전송되는 피드백 신호(속도, 전류 등)는 필터, 비교기를 통하여 디지털화 된다. 디지털화 된 피드백 신호는 AVR의 RS232-RX단자를 통하여 데이터를 받아서 AVR에서 구현된 비례적분제어를 통해서 모터구동 필요한 스위치 PWM 지령신호를 생성한다. 여기서 통신신호가 DC전원 측으로의 누출을 방지하기 위해 DC 전원측으로 LPH인 L-C필터를 삽입하였다. 따라서 DC 전원측의 고주파 성분에 대한 임피던스가 매우 커져 대부분 제어 고조파신호가 모터단 통신부로 전달된다.

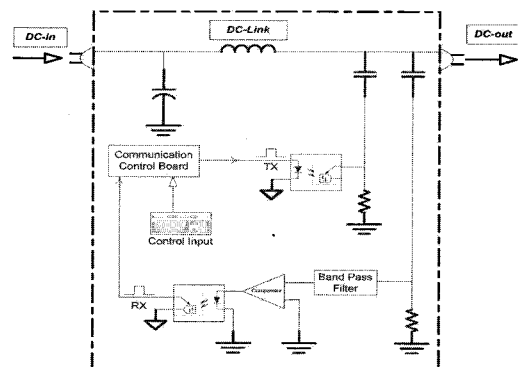


그림 2 전원단 통신부의 구성도  
Fig. 2 Configuration of controller in DC power part

### 2.2 모터 제어부의 구성

그림 3은 모터 제어부의 구성도를 나타내었다. 그림 3에서, 모터 제어부는 BLDC 모터, 모터구동용 DC-AC 인버터, AVR, DC 전력선 통신 수신부 및 발신부로 구성된다.

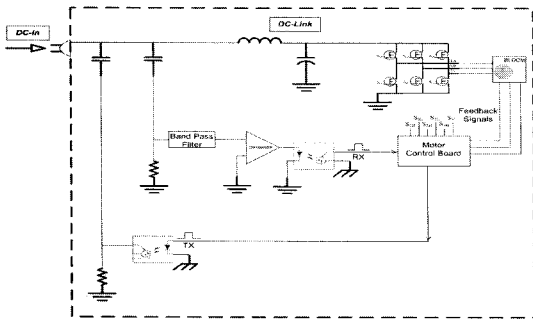


그림 3 모터 제어부의 구성도  
Fig. 3 Configuration of motor controller part

DC 전력선 통신 수신부는 DC-link에서 전원단 통신부와 같이 RS232신호를 검출하고, 발신부는 모터의 실시간 피드백 값을 포토커플러를 통해 DC-link에 중첩해서 전원단 통신부로 전송한다. 그리고 통신신호가 BLDC DC전원 측으로의 누출을 방지하기 위해 스위칭 주파수 성분을 제거할 수 있도록 DC 전원 측으로 LPH인 L-C필터를 삽입하였다.

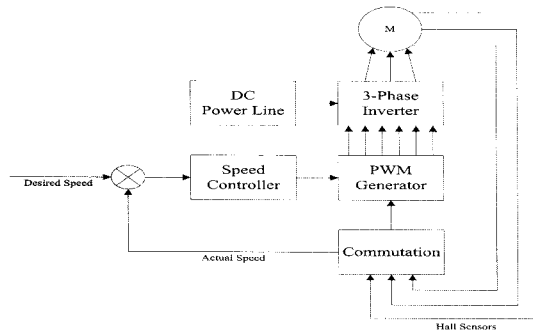


그림 4 BLDC 모터 제어 블록도  
Fig. 4 Communication program in motor part

그림 4는 BLDC 모터 제어 블록도를 나타내었다. 모터단 제어부의 DC 전력선 통신부에서 전송된 지령 속도 값과 실제 속도 값을 속도 제어기 통해 맞는 PWM 듀티비를 3상 인버터 출력을 제어하게 된다.

### 2.3 필터의 구성

본 논문에서 제안하는 DC-link 통신을 위해서는 두 종류의 필터를 사용하였다. 먼저, 전원부분 출력단과 인버터 입력단의 고주파 통신신호의 통과를 저지하기 위한 저역통과필터를 사용하였다. 그리고 전원단 통신부와 모터단 통신부의 발·수신 신호를 검출하기 위한 신호 검출용 대역통과필터를 사용하였다. 이 두 종류

의 필터 선정이 제안한 DC전력선 통신 성능을 좌우하는 중요한 파라미터로 저역통과필터는 L-C형 2차로 선정하였으며, 대역통과필터는 능동 BPF로 설계된다. BPF는 버터워스형 3차 고역통과 필터와 1차 저역통과 필터로 구성하였다.

그림 5는 본 논문에서 사용한 대역통과필터의 구성도이다.

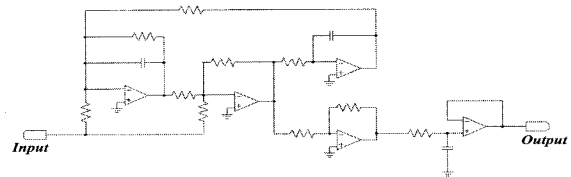


그림 5 대역통과필터의 구성도  
Fig. 5 Configuration of BPF

그림 6은 전력선을 통하여 전송되는 통신 데이터를 그림 5의 대역통과필터를 통하여 데이터 복원이 가능한지를 검증하기 위한 신호 종류를 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 주기는 모두 동일하지만 전송되는 데이터들이 다름을 알 수 있다. 그림 6에서 (a)는 '1'의 값을 갖는 데이터가 하나일 때 이고, (h)는 '1'의 값을 갖는 데이터가 8개임을 나타내고 있다.

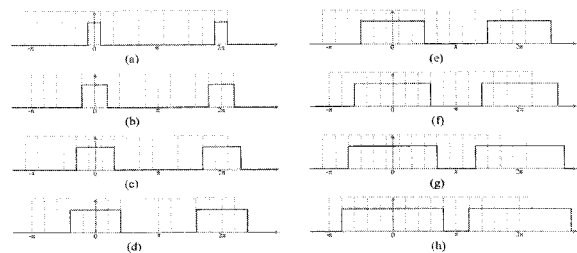


그림 6 한주기의 신호종류  
Fig. 6 Signals in one period

본 논문에서 제안한 DC 전력선 통신 데이터를 복원하기 위해서 수식 (1)과 같이 푸리에 급수를 사용하였다.

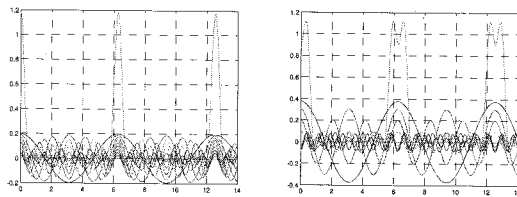
$$x(t) = \frac{\tau}{2\pi} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\tau}{2\pi} \frac{\sin(n\omega\tau/2)}{n\omega\tau/2} \cos(n\omega t) \quad (1)$$

수식 (1)의 주기  $\tau$ 는  $\frac{\pi}{5}$ 에서  $\frac{8\pi}{5}$ 까지에 대한 분석을 나타내었다. 본 논문에서는 한 주가  $2\pi$ 이므로 수식 (2)를 얻을 수 있다.

$\tau = \frac{m\pi}{5}$  일때, (m=1,2,...8)

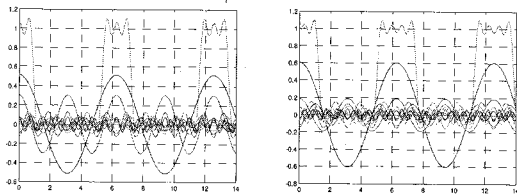
$$x(t) = \frac{m\pi}{5} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \times \frac{m\pi}{5}}{2\pi} \times \frac{\sin(n\omega \frac{m\pi}{5} \times \frac{1}{2})}{n\omega \frac{m\pi}{5} \times \frac{1}{2}} \cos(n\omega t)$$

$$x(t) = \frac{m}{10} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m}{5} \times \frac{\sin(\frac{n\omega m\pi}{10})}{\frac{n\omega m\pi}{10}} \cos(n\omega t) \quad (2)$$



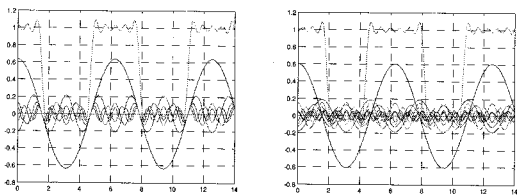
(a)  $\tau = \frac{\pi}{5}$

(b)  $\tau = \frac{2\pi}{5}$



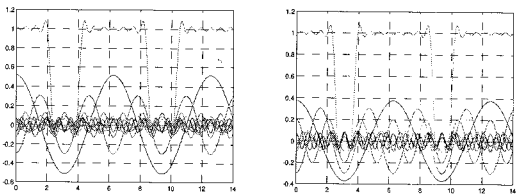
(c)  $\tau = \frac{3\pi}{5}$

(d)  $\tau = \frac{4\pi}{5}$



(e)  $\tau = \pi$

(f)  $\tau = \frac{6\pi}{5}$



(g)  $\tau = \frac{7\pi}{5}$

(h)  $\tau = \frac{8\pi}{5}$

그림 7 구형파 신호 푸리에 시뮬레이션 결과  
Fig. 7 Fourier simulation of square waves

그림 6의 8개의 신호를 복원하기 위해서 푸리에 급수위해서 한주기 T 동안에 T/n (n=1,2,3...) 구형파 푸

리에 분석 10차까지 합성하였으며, 대역통과필터는 대역 기본주파수에서 10차 고조파성분을 고려하였다.

그림 7은 대역통과필터를 이용하여 복원된 그림 6의 신호를 나타내었다. 그림 7의 (a)는 그림 6의 (a)신호를 복원한 것을 나타내었고, 그림 7의 (h)는 그림 6의 (h)신호가 복원되었음을 나타내었다.

본 논문에서는 DC 전력선 통신을 위해서 통신 속도는 115200bps를 선정하였으며, 제안된 DC 전력선 통신 데이터 비트는 시작 비트(1비트), 데이터 비트(8비트) 및 정지비트(1비트)를 포함하여 총 10비트를 사용하였다. 그러므로 USART 통신에서 10비트 데이터를 전송하기 위한 기본과 주파수는 수식 (3)과 같다.

$$f_{base} \approx BAUD/10 = 11520Hz \quad (3)$$

여기서  $f_{base}$ 는 10비트 데이터를 전송하기 위한 기본주파수를 나타내었고, 그림 7에서 나타낸 것과 같이 그림 6의 신호를 복원하기 위해서 10차까지의 고조파성분을 사용하면 되므로 본 논문에서 사용한 대역통과필터의 차단 주파수는 저주파 영역 11kHz, 고주파 영역 120kHz로 선정하여 설계 하였다.

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 송수신 시뮬레이션

본 논문에서 제안된 DC-link방식의 통신 가능성을 검증하기 위해 그림 8과 같이 PSIM을 이용한 송수신 시뮬레이션을 위한 회로도를 구성하였다.

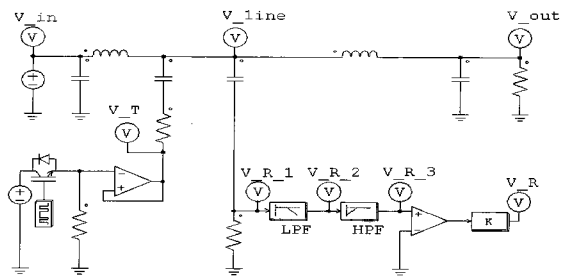
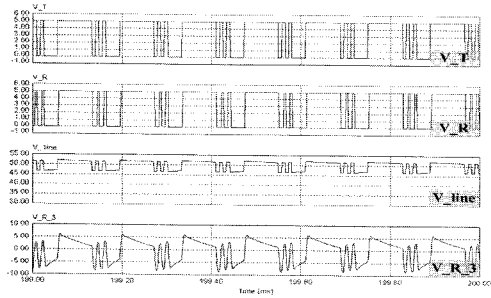
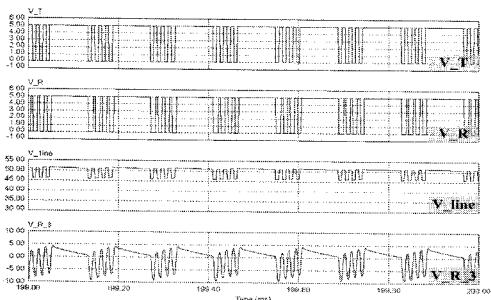


그림 8 송수신 시뮬레이션 회로도  
Fig. 8 Circuit of Transmit-Receive simulation in PSIM

그림 9은 PSIM을 이용한 송수신 부분의 시뮬레이션 파형을 나타내었다. 그림 9에서 보는바와 같이 송신 신호 V\_T DC-link 통해 수신단 V\_R 그대로 양호하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



(a) (0x05)데이터 전송



(b) (0x55)데이터 전송

그림 9 PSIM 송수신 시뮬레이션 각단 파형  
Fig. 9 Waveforms in Transmit-recvie simulation in PSIM

### 3.2 필터효과 시뮬레이션

그림 10는 송신부, 인버터부 및 DC-link의 전압파형을 나타낸 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 송신부와 인버터에는 통신신호가 나타나지 않고, DC-link에서만 통신신호가 나타남으로 DC-link단을 이용한 전력선 통신이 가능함을 알 수 있었다.

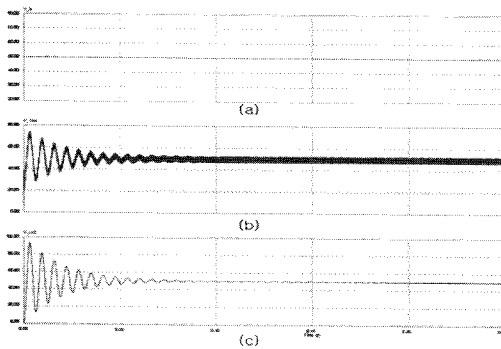


그림 10 출력 시뮬레이션 결과  
(a)DC 입력, (b)DC-link 및 (c)모터 출력  
Fig. 10 Simulation results  
(a)DC input part, (b)DC-link, (c)Motor part

## 4. 실험결과

그림 11은 본 논문에서 제안한 DC 전력선 통신을 이용한 BLDC 구동시스템을 나타내었다. 송·수신단 및 BLDC 제어용으로 전원단 제어부와 모터단 제어부에 소형 마이크로프로세서인 Atmel사 ATmega128 (AVR)칩을 사용하였다. 송신단 AVR은 마스터로써 여러 대의 BLDC를 제어하기 위해 사용되고, 수신단 AVR은 통신 및 BLDC제어용으로 사용하였다. 모터는 PITTMANS사 5500시리즈를 사용하였다.

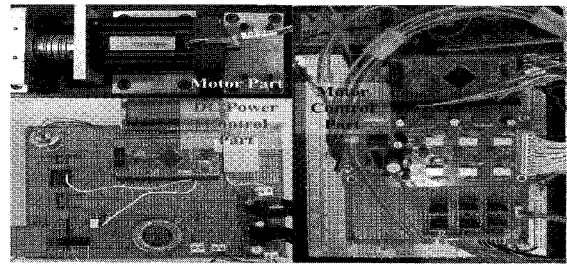
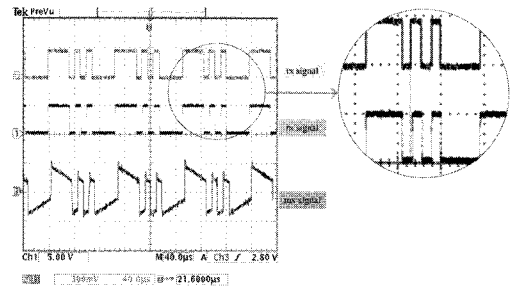
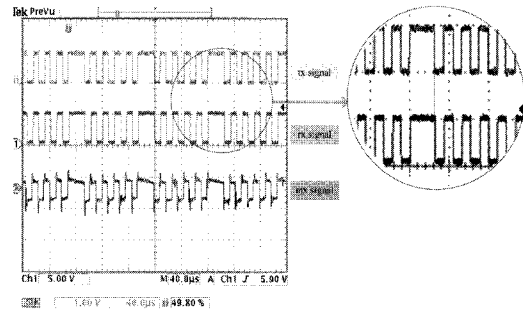


그림 11 DC-link 통신 모터 제어 시스템  
Fig. 11 Motor control system using DC-link Communication



(a) (0x05)데이터 전송



(b) (0x55)데이터 전송

그림 12 송수신 실험 파형  
Fig. 12 Waveforms in transmit-recvie test

그림 12(a)는 데이터(0x05)를 보낼때의 송신신호(tx), 수신신호(rx)와 DC-link 신호(mx)를 나타내고 있으며 그림 12(b)는 데이터(0x55)를 전송하는 경우의 결과이다. 시뮬레이션 결과와 수신단 신호와 송신단 신호는 위상차는 다소나타고 있으나, 신호의 형태는 동일하게 나타나기 때문에 RS232 통신으로 사용이 가능하며, 송신 데이터를 바꿔도 신호는 DC-link에 통한 수신측 검출이 양호하게 됨을 볼 수 있다.

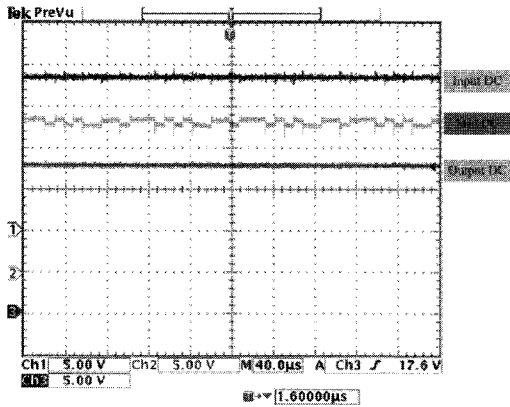


그림 13 DC 입력, 통신구간 및 출력 파형  
Fig. 13 Input, communication part and output on DC link

그림 13은 입력 DC 전압, DC-Link 전압과 출력 DC 전압 파형들은 나타낸다. 통신신호는 저역통과 필터 있기 때문에 DC 전원단과 모터의 DC전원 입력단에 영향이 거의 없는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 통신신호는 DC-link에 한정되어 나타나며, 이로 인하여 DC 전력선 통신이 가능하다는 결론을 내릴 수 있다.

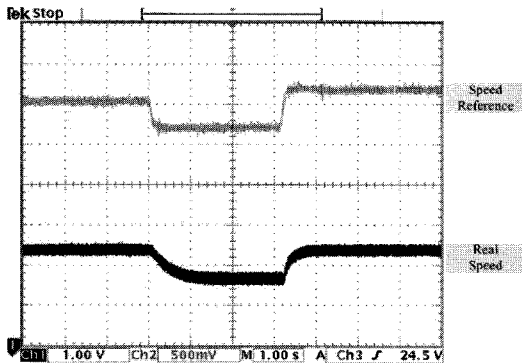


그림 14 모터 속도 제어 실험 파형  
Fig. 14 Waveform of Speed control test

그림 14에서 전원단의 모터 속도 지령치와 실제 모터의 속도를 DA로 출력한 실험 파형으로 DC 전력선 통신이 잘 이루어지고 있음을 확인 할 수 있으며 BLDC 모터의 속도 제어 또한 잘 되고 있음을 확인 할 수 있다.

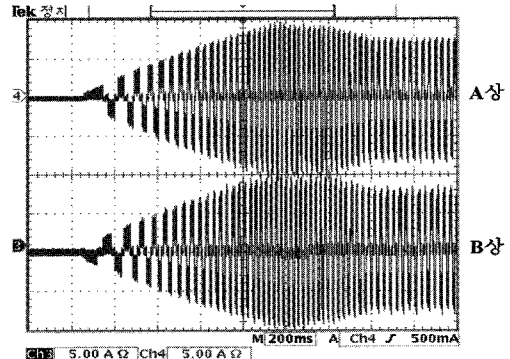


그림 15 기동 시 상별 전류 파형  
Fig. 15 Phase current waveform at starting

그림15는 기동 특성을 알아보기 위한 상별 전류 파형 결과로 지령치를 0A에서 7A로 변경한 경우의 결과로 실험결과 1번의 오버슈트를 가지고 제어가 안정적으로 동작함을 알 수 있다.

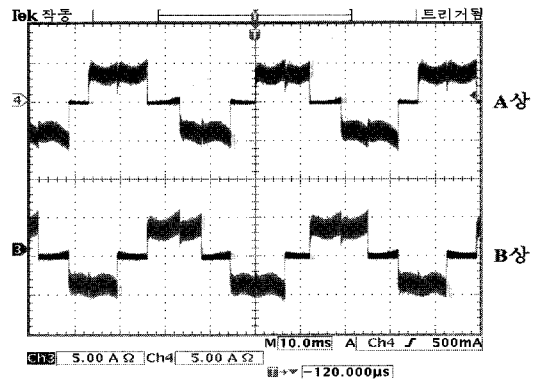


그림 16 정상상태 상별 전류 파형  
Fig. 16 Phase current waveform at steady state

그림16은 정상 상태에서의 A상 및 B상의 전류 파형으로 120도 도통이 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 BLDC 구동에 필요한 많은 신호선을 제

거하여 사용의 편리성을 도모하기 위해 DC 전력선 통신을 이용한 Plug-in 형 BLDC 구동 시스템을 제안하였다. 또한 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션 및 실험실 차원의 선행 실험을 수행하였으며, 실제 BLDC 모터제어를 통한 DC 전력선 통신의 가능성을 확인 하였다. 또한 RS232의 모든 통신 속도 115200bps에서 통신이 정상적으로 이루어짐을 확인 하였다. 따라서 현장의 노이즈 정도에 따라 적당한 통신 속도를 사용 한다면, 강인한 통신 시스템이 될 것으로 사료된다.

이 논문은 2004년도 전남대학교 연구년교수연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] Min-Sang Seo, Seuk-Kyung Sung, Byung-Gyu Ann, "Spread Spectrum Method based Power Line Communication for Plant Monitoring and Control System", Power Electronics Annual Conference of the Korean Institute of Power Electronics, pp. 211-215, 1997, July.
- [2] Joon-Myung Kang, Chang-Keun Park, "Design and Implementation of Network Management System for Power Line Communication Network", ISPLC 2007, pp. 23-28, 2007, March.
- [3] Ferreira, H.C.; Grove, H.M.; Hooijen, O.; Han Vinck, A.J., "Power line communications: an overview", IEEE AFRICON 4th, Vol. 2, 24-27, pp. 558-563, 1996.
- [4] M. Trnka, M. Purkert, "Communications over DC power lines", CTU 2005, pp. 366-367, 2005.
- [5] M. Trnka, M. Purkert, "Development system for Communications over DC power lines", In Applied Electronics 2005, pp. 341-344, 2005.
- [6] Jong-Sun Ko, Young-II Kim, "The Signal Anti-reduction System in PLC Using Ferrite Core and Switching Amplifier", KIPE 2001, pp. 471-474, 2001, July.
- [7] Tatro, P.J.; Adamson, K.A.; Eitzmann, M.A.; Smead, M., "Power line carrier interference from HVDC converter terminals", Power Delivery, IEEE Transactions on Vol. 8, Issue 3, pp. 827-840, 1993, July.

## 저 자 소 개



### 우도(于翰)

1977년 1월 28일생. 1999년 중국 칭도대 전기공학과 졸업. 1999년~2003년 중국 산둥성 칭도 화하고등학교 교사. 2005년 한국 목포대 전기공학과 졸업(석사). 2005년~현재 전남대 전기공학과 박사과정.



### 송성근(宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원(공학박), 2001년~2004년 (주)프로컴 시스템 연구원. 2004년~2005년 (주)세오전자 연구원. 현재 전자부품연구원 선임연구원.



### 이민중(李敏中)

1996년 부경대 전기공학과 졸업. 1998년 부산대 전기공학과 졸업(석사). 2001년 부산대 전기공학과 졸업(공학박). 2001년 9월~2003년 8월 부산대 연수연구원. 2002년 2월~2005년 2월 경남정보대학 겸임교수. 2005년 5월~2006년 6월 경남테크노파크 책임연구원. 2005년 7월~2008년 6월 동서대 지역혁신센터 연구교수. 2008년 6월~현재 전남대 에너지파워센터 학술연구교수.



### 김광현(金堉憲)

1960년 12월 27일생. 1983년 전남대 제어계측공학과 졸업. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전남대 전기공학과 교수. 당 학회 평의원.



### 박성준(朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공학박). 1996년~2000년 거제대학 전기과 조교수. 2000년~2003년 동명대학 전기과 조교수. 2003년~현재 전남대 전기공학과 부교수. 당 학회 평의원.