

2레벨용 부스트 컨버터를 이용한 소형풍력발전기 제동장치 설계에 관한 연구

A Study on Design of Control Device on Small Wind Generator Using 2-Level Boost Converter

문 채 주[†] · 장 영 학* · 소 순 열** · 박 태 식** · 정 문 선** · 윤 영 찬***
(Chae-JOO Moon · Young-Hak Chang · Soon-Youl So · Tae-Sik Park ·
Moon-Seon Jeong · Young-Chan Youn)

Abstract - The small wind generator with existing mechanical control system has a frequent failure and malfunction, and its maintenance is difficult. In this paper, an electric control method using a boost converter for small wind generator was suggested. The suggested 2-level boost converter control device was manufactured and its experimental operation were conducted on a wind generator with 200 [W] capacity. As a result of experimental device, the control by a boost converter was executed at the point that the output voltage of a wind generator became 36 [V] so it could be identified that the output voltage of a wind generator diminished and then it became 0 [V] after 5 [sec]. Besides, in case of applying the method suggested in this paper to a small wind power generation facility for street lights, it is expected to reduce its maintenance by preventing a frequent failure of a generator and to improve its utilization rate.

Key Words : Boost converters, Small wind turbines, Wind generator braking, PMSG(Permanent Magnet Synchronous Generator), 2 level boost converter

1. 서 론

세계적으로 지속적인 화석연료의 사용에 따른 자원고갈 문제와 온실가스 감축 문제가 크게 대두되면서 지속가능한 발전을 위해 신재생에너지가 주목을 받고 있다. 국내의 경우 매년 여름철마다 전력위기로 인해 원자력과 화력위주의 전력공급 체계를 개편해야 한다는 것과 이를 대처할 태양광, 풍력 등의 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다.

신재생에너지원 중에서 풍력발전은 풍속의 에너지를 전기 에너지로 변환하는 기술로 무공해 발전이 가능한 발전설비이다. 하지만 풍력발전기의 출력은 풍속의 세기의 급격한 변화와 예측이 불가능한 특성에 의해 출력 변동이 심하다는 단점을 가지고 있고, 이로 인해 풍력발전 설비에서 발생하는 전력은 상시 정량을 기대할 수 없기 때문에 컨버터를 이용해 일정 출력으로 변환하여 계통에 보내주어야 한다. 또한 풍력발전설비가 정격출력 이상 발생 시에는 풍력발전 설비 보호 및 블레이드의 파손 방지를 위한 제동시스템이 작동되어야 한다. 특히 가로등에 설치되는 수평축 소형풍력발전

설비의 경우 해안가나 도심에 설치되기 때문에 과풍속으로 인한 고장과 블레이드의 파손을 일으키기 쉽다.

현재 소형풍력발전 설비의 제동시스템은 대부분 기계적인 시스템으로 회전축과 타워에 피로하중을 높이고 유지보수가 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 소형풍력발전기 연계형 2레벨 부스트 컨버터를 제작하고 200W 소형풍력발전기를 대상으로 정격 출력을 넘어서는 과풍속일때 제동하는 방법을 제시하고 실험을 통해 제안한 제동 방식의 동작을 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 제안하는 제동방식

기존에 제동시스템은 기계적인 시스템으로 고장과 오작동이 잦고 주기적인 유지보수가 필요로 한다. 본 논문에서는 기계적인 제동시스템의 문제점들을 보완하기 위해 2 레벨 부스트 컨버터를 이용한 풍력발전기 제동하는 것을 제안한다. 결정 패턴만을 가하면 고장 검출률 100%를 보장할 수 있다. 만일 256개의 의사 무작위 패턴이 가해졌을 때, 66개의 결정 패턴만을 가하면 고장 검출률 100%를 보장할 수 있다.

2.1.1 부스트 컨버터 동작원리

부스트 컨버터는 전압을 상승시키고 전류를 강하시키는 컨버터이며, 이 컨버터의 동작회로는 그림 1과 같다. 입력단

* Dept. of Control Robot Engineering, Mokpo National University, Korea

** Dept. of Electrical Engineering College of Mokpo National University, Korea

*** (Co)SeolTech

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering College of Mokpo National University, Korea

E-mail : cjmoon@mkpu.ac.kr

Received : August 6, 2013; Accepted : September 11, 2013

은 직류 전압원에 큰 인덕터를 직렬로 연결된 형태이며, 출력단은 부하저항과 큰 값의 커패시터에 병렬로 연결된 형태이다[1-3].

부스트 컨버터의 동작원리는 스위치가 닫혀있는 Mode1과 스위치가 열려있는 Mode2로 나누어 해석한다. 스위치가 닫혀있는 시간(t_1) 동안 도통할 때, 입력 전압 V_s 는 부하 양단에 나타나며 인덕터에 에너지가 축적된다. 그리고 스위치가 열려있는 시간동안 (t_2) 부하 양단의 전압은 0 [V]이고 인덕터에 축적된 에너지가 D(다이오드)을 통해 부하로 전달된다 [2, 3].

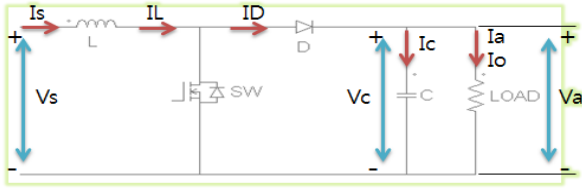


그림 1 부스트컨버터의 등가회로
Fig. 1 Equivalent Circuit of Boost Converter

그림 2의 Mode1은 $t=0$ 에서 동작 상태를 나타내는 그림이며, 그림 3의 그림과 같이 스위치 turn on시 입력전류가 증가하여 인덕터와 IGBT를 통해 흐른다. Mode2는 $t=t_1$ 에서 동작 상태를 나타내는 그림이다. 스위치 turn off 시 IGBT를 통해 흐르는 전류는 인덕터, 콘덴서, 부하와 다이오드를 통해 흐르며 다음 주기에서 turn on 될 때 까지 전류는 감소하여 인덕터 L에 축적된 에너지는 부하로 전달된다.

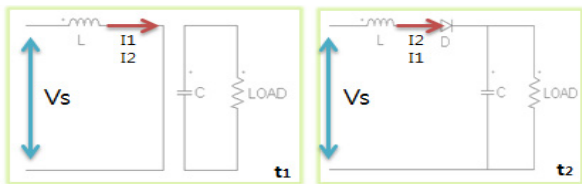


그림 2 모델1(L), 모델2(R),
Fig. 2 Mode1 (L), Mode2 (R)

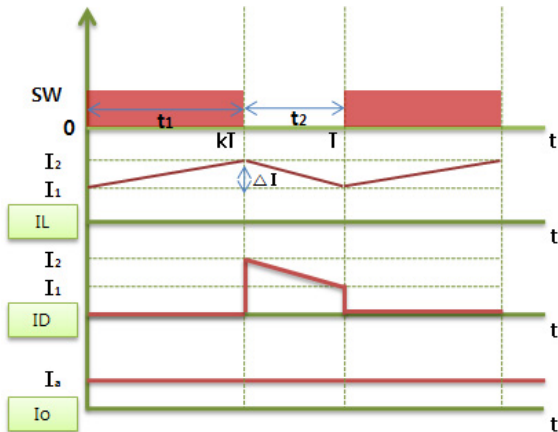


그림 3 부스트컨버터의 전류파형
Fig. 3 Current Waveform of Boost Converter

2.1.2 제동알고리즘 설계

본 논문에서 활용되는 풍력발전기의 제원은 표 1과 같고, 발전기의 형식은 200W급의 PMSG(Permanent Magnet Synchronous Generator)이다. 제어장치인 2 레벨 부스트 컨버터 설계 제원은 표 2와 같다.

표 1 풍력발전기 사양
Table 1 Specifications of Wind Generator

Space name	Value	Space name	Value
Rate power	200 [W]	Type	PMSG
Rate wind	11 [m/s]	Pulse	3 [P]
Cut_in wind	3 [m/s]	Volt	12/36 [V]

표 2 2레벨 부스트 컨버터 사양
Table 2 Specifications of 2 Level Boost Converter

20 [V] to 35 [V]		35 [V] to 55 [V]	
L	1 [mH]	L	1 [mH]
C	2200 [uF]	C	2200 [uF]
R	80 [Ω]	R	80 [Ω]
F	25 [kHz]	F	25 [kHz]

부스트 컨버터의 입력전압(V_{in})이 설정된 입력전압 (V_{in_set}) 이하인 경우에는 부스트를 할 수 없는 저전압상태로 부스트 컨버터는 동작을 하지 않고 출력전압은 0 [V]이다. 그림 4와 같이 입력전압(V_{in})이 부스트가 가능한 범위 도달하게 되면 출력전압(V_{out})은 설정된 출력전압(V_{out_set})으로 부스트가 된다. 또한 입력전압이 V_{out_set} 보다 높아지면 과출력 상태로 판단하고 더 높은 전압레벨(V_{out_set1})로 부스트 하는 구조이다[2].

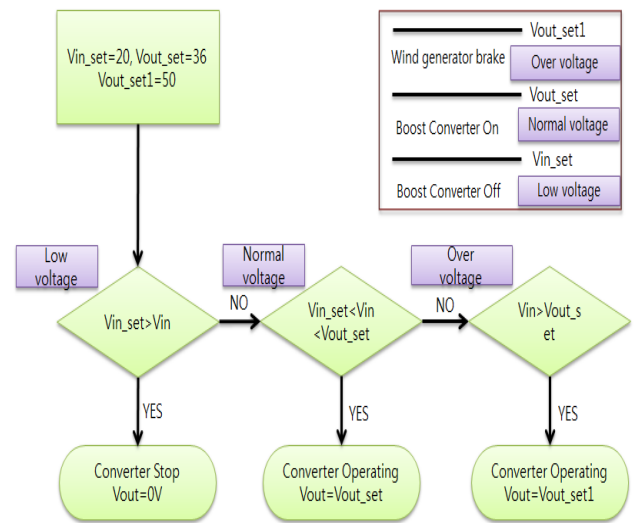


그림 4 부스트컨버터 알고리즘
Fig. 4 Algorithm of Boost Converter

2.1.3 제어 회로설계

그림 5는 부스트 컨버터의 회로 블록도이다. 마이크로컨트롤러는 ATM_2560을 사용하였고, 제어드라이브, 부스트 컨버터, 센싱부로 구성하였다.

센싱부는 전류센서(TM1A050)와 전압센서(LV25P)에서 측정된 부스트 컨버터의 출력전압 및 입력단 전류를 필터회로와 증폭회로를 통해 ATM_2560 모듈의 ADC 입력신호 레벨(0~5 [V])로 변환한다. ATM_2560 모듈은 ADC에서 측정된 값과 설정된 목표전압 값을 이용하여 디지털 제어기를 통해 듀티비를 제어하고, 그에 따른 5 [V] 레벨의 PWM 파형을 출력한다. 제어드라이브는 포토커플러(TLP250)를 이용하여 부스트 컨버터 스위칭소자(IGBT;BSM300GB)의 게이트 신호 레벨(12 [V])로 변환하고, 부스트 컨버터는 스위칭소자의 스위칭을 통해 입력전압을 설정된 목표전압으로 출력한다.

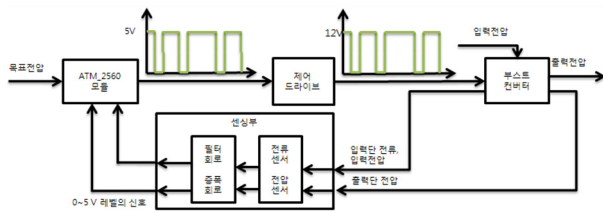


그림 5 부스트 컨버터의 블록다이어그램
Fig. 5 Block diagram of the boost converter

부스트 컨버터의 출력전압 제어를 하기 위해서는 식 2-1 부스트 컨버터의 입출력 관계식에 의해 출력전압은 리액터에 흐르는 전류에 의해 결정됨으로 전류제어가 필수적이다.

$$V_a = V_s + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

부스트 컨버터를 포함한 제어계의 구성은 그림 6과 같이 전압·전류 제어를 위한 제어기가 직렬로 연결된 구조이며, 전류 제어기에 의해 출력전압을 제어 할 수 있기 때문에 전류 제어기는 제어기의 가장 내부 루프에 위치해야 한다. 목표전압과 출력단 전압 그리고 입력단 전류가 전압제어기와 전류제어기를 통해 PWM 파형의 듀티비를 제어함으로써 부스트 컨버터의 출력전압을 제어 할 수 있다[4-6]. 본 논문에서는 그림 6과 같이 적분 제어기에서 발생하는 잔류편차를 없애기 위해 적분기를 부가시킨 PI제어기를 적용하여 회로를 구성하였다.

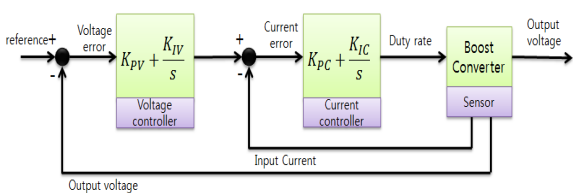


그림 6 PI제어 알고리즘
Fig. 6 Algorithm of PI Control

2.1.4 시뮬레이션

그림 7의 a) 부스트 컨버터의 회로, b) 전압, 전류 PI제어를 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같다. 목표전압이 35 [V], 입력전압이 20~30 [V]의 구형파형 일 때 정상응답 시 출력전압은 35±0.5 [V] 이내, %오버슈트 101.7 [%] 이하, 응답시간 0.03 [sec]로 나타났다.

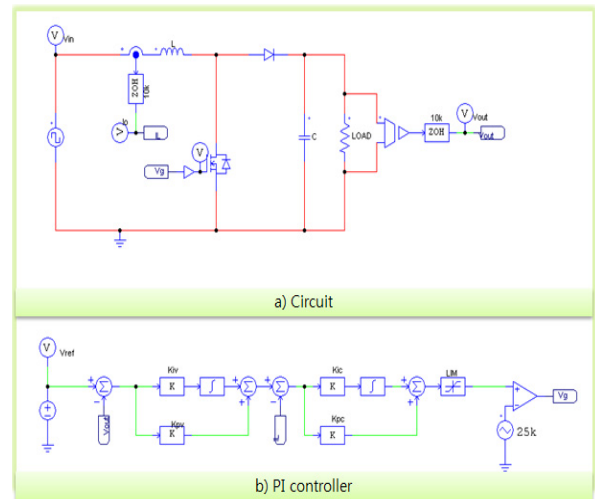


그림 7 부스트컨버터 시뮬레이션
Fig. 7 Boost Converter Simulation

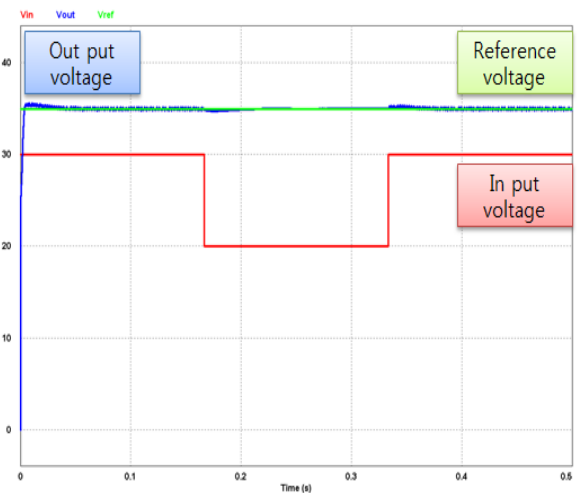


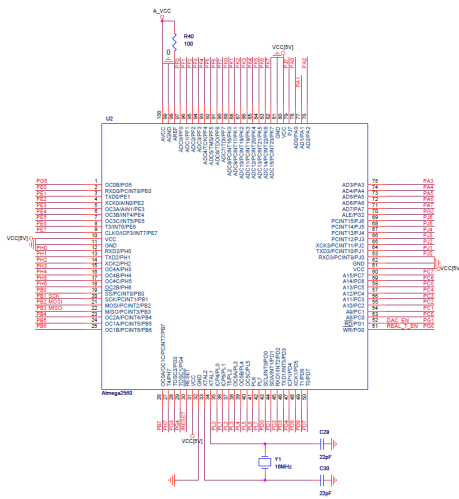
그림 8 시뮬레이션 파형
Fig. 8 Waveform of Simulation

2.2 부스트컨버터 제작

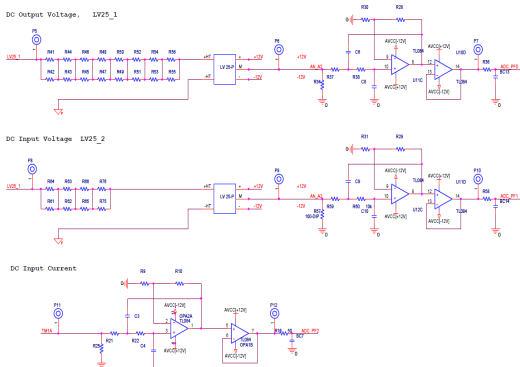
ATM_2560 Module은 sensing part에서 측정된 부스트 컨버터의 출력단 전압 및 입력단 전류와 설정된 목표전압 값을 입력받아 제한한 디지털 제어기를 통해 듀티비를 제어하고, 그에 따른 5 [V] 레벨의 PWM 파형을 출력한다[7].

제어드라이브에 주된 목적은 ATM_2560 모듈에서 생성된 5 [V] 레벨의 PWM 파형을 부스트 컨버터의 스위칭 소자

(IGBT) 게이트 신호 레벨(12 [V])의 PWM 파형으로 변환하는 것이다. 그리고 포토키프러(TLP250)를 사용하여 부스트 컨버터의 하드웨어와 ATM_2560 부분의 집지를 분리시켜



(a) ATM_2560 Module



(b) sensing part

그림 9 회로 다이어그램
Fig. 9 Diagram of Circuit

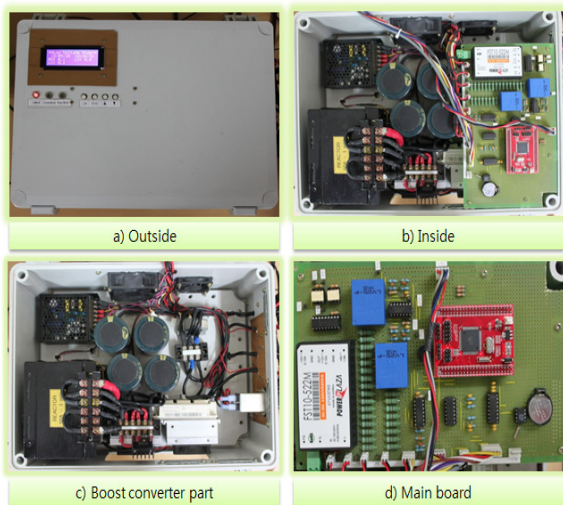


그림 10 부스트컨버터 시제품
Fig. 10 Prototype of Boost Converter

시스템의 안전성을 향상 시켰다.

Sensing part의 전류센서(TM1A050)과 전압센서(LV25P)에서 측정된 부스트 컨버터의 출력전압 및 입력단 전류를 필드회로와 증폭회로를 통해 ATM_2560 모듈의 ADC 입력 신호 레벨(0~5 [V])로 변환한다.

그림 9는 ATM_2560 module를 이용하여 sensing part를 PSpice 프로그램을 이용해 회로를 설계한 도면이고 그림 10은 설계한 부스트 컨버터의 외관 및 내관 사진이다.

2.3 실험 및 고찰

2.3.1 부스트컨버터 동작실험

부스트 컨버터의 동작 상태를 확인하기 위해 응답특성 실험 및 정상응답에서의 동작을 확인해야 한다.

전원 공급 장치(XANTREX), 부스트 컨버터, 부하(저항 20Ω 4개를 직렬연결)를 그림 11과 같이 직렬로 구성하여 오실로 스코프(TDS 3054C)로 출력전압과 입력전압을 측정하였으며, 그림 12와 같이 응답특성이 나타난다.

부스트 컨버터의 입력전압을 25 [V], 36 [V], 40 [V]로 순차적으로 인가하였을 때 36 [V]이상 되는 지점에서 출력전압이 55 [V]로 출력되는 것을 오실로스코프로 이용하여 그림 13과 같이 확인하였다.

2.3.2 제동실험

부스트 컨버터를 이용한 풍력발전기 제동 실험을 하기 위해 강풍기를 이용하여 풍력에너지를 공급해주고 풍력발전기, 부스트 컨버터, 부하는 직렬구조로 구성하였고, 강풍기의 속

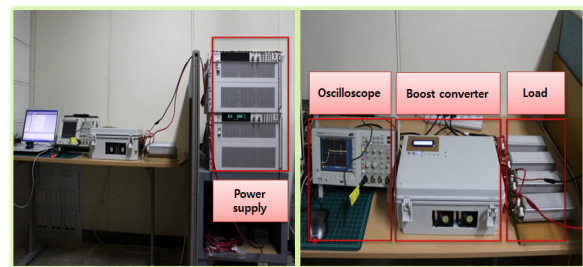


그림 11 부스트컨버터 동작실험
Fig. 11 Experiment of Boost Converter

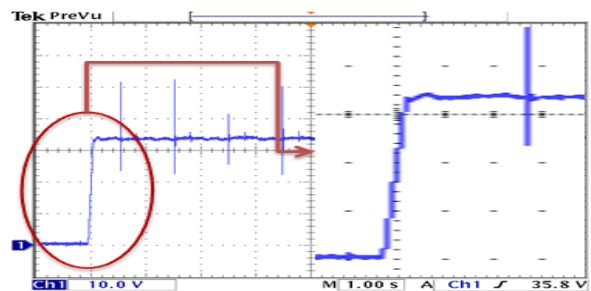


그림 12 응답특성파형
Fig. 12 Waveform of Response Characteristic

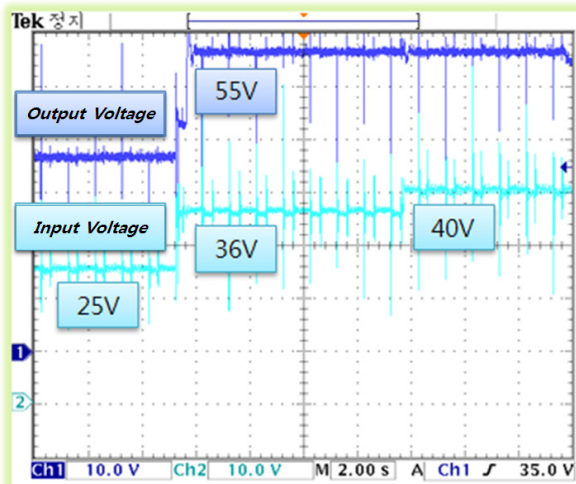


그림 13 부스트 컨버터 동작 파형
Fig. 13 Boost converter operation waveform



그림 14 풍력발전기 제동 실험
Fig. 14 Experiments of wind generator braking

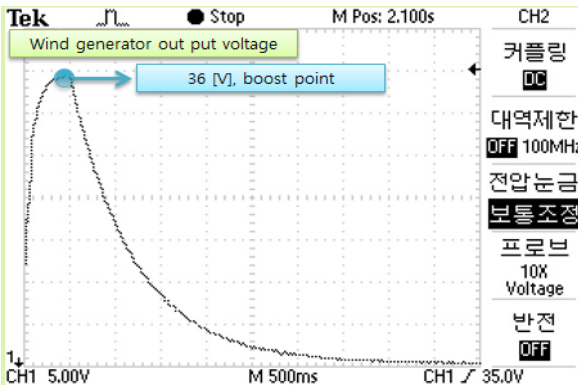


그림 15 풍력발전기 제동에 대한 파형
Fig. 15 Braking Waveform of Wind Generator

도 조절을 통해 부스트 되는 시점의 출력전압을 오실로스코프를 이용하여 측정하였다.

풍력발전기의 출력전압이 36 [V]되는 지점에서의 출력전압은 그림 15와 같이 줄어들다가 3.5 [sec] 후에 출력전압이 0 [V]가 되는 것을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 부스트 컨버터를 이용한 소형풍력발전기의 전기적인 제동 방법을 제시하고 200W 풍력 발전기를 대상으로 실험을 실시하였다. 부스트 컨버터를 설계 및 제작

하여 풍력발전기 제동 실험을 하였으며, 풍력발전기의 출력전압이 36 [V] 되는 지점에서 부스트 컨버터에 의한 제동이 실행되어 풍력발전기의 출력전압이 줄어들다가 5 [sec] 후에 0 [V]되는 것을 확인하였다. 또한 가로등용 소형풍력발전설비에 본 논문에서 제시한 방법을 적용할 경우 발전기의 잦은 고장을 예방하여 유지보수를 줄이고 이용률을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 “지식경제부”, “한국에너지관리공단”의 “풍력시스템 Test-Bed 센터 구축사업”과 목포대학교 스마트그리드연구소 지원으로 수행된 연구결과입니다.

References

- [1] S.C, Hong, H.J, Jeon, H.L, Beak, C.Y, W, “ Power electronics”, Intersivion, P 243~247, 08. 2009
- [2] G.Y, Park “A Study on wind power generation system using electrical braking system”, Mokpo National Universit, master’s degree paper, P 6~17, 2010
- [3] Y.C,Youn, C.J.Moon, Y.H, Cjang, “A Study on Wind Generator Braking using Boost Converter” Power Electronics Annual Conference, P 177~178, 11.2012
- [4] W.H, Kwon, K.S, Hong, J.H, Lee, “ Control System Engineering”, CheongMoonGak , P 294~309, 1999
- [5] Charles I. Hubert, “ELECTRIC MACHINES”, Prentice Hall, Second Edition, P 341~342
- [6] S.K. Ji, “New Sensorless Control Algorithm of PMSG for MPPT of Small Wind Turbines”, Power Electronics Annual Conference, P 473~475, 07. 2009
- [7] <http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf>, ATmega640/1280/1281/2560/25 61

저 자 소 개



문 채 주 (文彩柱)

1959년 12월 26일생. 1981년, 1983년 및 1994년 전남대학교 계측공학과(공학사), 대학원 전기공학과(공학석사, 공학박사), 1997년~현재 목포대학교 공과대학 전기공학과 교수, 1986~1997 한국전력기술책임연구원, 2011~2012 전력전자학회 부회

장, 목포대학교 스마트그리드연구소장 겸 풍력시험센터장

Tel : 061-450-6424

Fax : 061-453-6424

E-mail : cjmoon@mokpo.ac.kr



장 영 학 (張 永 學)

1960년 3월 1일생. 1981년 전남대학교 공대 계측공학과 졸업, 1984년 전남대학교 대학원 전기공학과(석사), 1991년 전남대학교 대학원 전기공학과(공학박), 1991년 ~ 현재 목포대학교 제어로봇공학과 교수
Tel : 061-450-2752
Fax : 061-450-6471
E-mail : yhchang@mokpo.ac.kr



정 문 선 (鄭 文 善)

1983년 10월 1일생. 2009년 목포대 전기공학과 졸업, 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 동 대학원 박사과정 수료
Tel : 061-450-6451
Fax : 061-453-6424
E-mail : suny3124@mokpo.ac.kr



소 순 열 (蘇 淳 烈)

1970년 10월 8일생. 2003년 일본 홋카이도대학교 대학원 전자정보공학 졸업(공학박), 2005년~현재 목포대학교 전기공학과 부교수
Tel : 061-450-2462
Fax : 061-450-6285
E-mail : syso@mokpo.ac.kr



윤 영 천 (尹 泳 千)

1986년 2월 8일생. 2011년 목포대 전기공학과 졸업, 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2013년~현재 (주) 선택 연구원.
Tel : 053-5807-400
Fax : 053-5807-499
E-mail : ilovekorean@seoltech.com



박 태 식 (朴 太 植)

1972년 1월 19일생. 1996년 고려대 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 2000년~2005년 삼성전자 책임연구원, 2005년~2013년 특허청 사무관, 2010년~2011년 미국 University of Michigan Researching fellow, 2013년~현재 국립목포대학교 전기공학과 조교수
Tel : 061-450-2752
Fax : 061-450-6471
E-mail : tspark@mokpo.ac.kr