전력감시 및 이상전력 차단 기능을 갖는 저전력 전력선통신 모뎀 개발

논 문
58-11-32

Development of Low Power PLC Modem for Monitoring of Power Consumption and Breaking of Abnormal Power

윤 재 식† · 위 정 철* · 박 중 하* · 송 용 재* 김 재 헌*
(Jae-Shik Yoon · Jung-Chul Wee · Chung-Ha Park · Yong-Jae Song · Jae-Heon)

Abstract - Powerline communication is the data signal which is modulated by carrier frequency through the installed powerline at in-home or office is transmitted and received signals are separated into data signal with using band-pass filter which cent-frequency is carrier frequency. The home gateway, an equipment which works as an gateway for ubiquitous home network, relays all functions of a home network. The home gateway must always be connected in order to provide seamless services. However it gives unfavorable power consumption. Therefore the needs for working in maximum power saving mode while there is no data traffic and for invoking to the normal function when it is necessary. So, in this paper we survey the development of low power PLC modem monitoring of power consumption and breaking abnormal power in the home Network.

Key Words : Power Line Communication, PLC, Low Power, Home Network, Power Consumption

1. 서 론

최근 경제성장과 함께 생활수준의 향상으로 인하여 홈 게이트웨이는 디지털 홈 가전기기에 초고속 통신망 접속 기능을 제공하며 각종 기기들을 하나로 네트워크화 하는 중요한 기능을 담당하게 된다[6]. 전력선 통신은 전력선을 매체로 하기 때문에 신규선로의 포설 없이 가전기기 및 정보화 서비스 모뎀들의 네트워크화에 용이할 뿐만 아니라 커버리지 확장에도 뛰어나서 디지털 가전, 원격검침, 전력설비 감시제어, 국가 재난 감시 시스템 등의 기본 통신 방식으로 가장 유력한 기술로써 디지털 가전을 포함한 유비쿼터스 전기설비 네트워크 구성에서 필수적 기술로 채택되고 있다[2]. 또한, 지능형 홈 네트워크, 전력IT 부가서비스, 설비감시 네트워크, 유비쿼터스 네트워크 관련 기술에 대한 파급 효과가 매우 크며, 디지털 가전의 기본 통신 방식으로 가장 유력한 기술로써 디지털 가전 구성에서 필수적 기술로 채택되고 있다[3].

본 연구에서는 전력선통신모뎀을 이용하여 가전기기의 전력 소비를 감지할 수 있는 센서를 내장한 전력선 통신기반의 전력 감시 모듈을 개발하여 실시간 원격 모니터링을 통해 소비전력 패턴을 작성 가전기기의 소비전력 패턴 분석을 통해 전력소비 이상 유무를 감지할 수 있는 알고리즘을 개발, 탑재하여 이상 유무를 판단한다. 그림 1은 전력감시시스템에 대한 블록다이어그램을 나타낸다. 또한, 전력선통신을 이용하여 유무선 홈네트워크 시스템을 기반으로 가전제품의 전력을 개별 제어하는 기술과 실시간 에너지 소비 모니터링 기술을 이용하여 원격지에서는 전력선통신을 이용하여 실시간으로 각 가전기기의 전력사용량을 실시간 모니터링 하게 된다. 또한, 원격에서 각 가전기기별 목표 전력량 및 차단 전력량 설정을 통해 목표전력 초과시 경보 기능 및 차단할 수 있는 설정이 가능해, 사용자의 설정을 통해 일정부하 이상 및 순간적인 과부하 상태 시 전력을 차단을 통해 기기를 보호할 수 있을 뿐 아니라 Energy Saving 역할을 하게 된다.

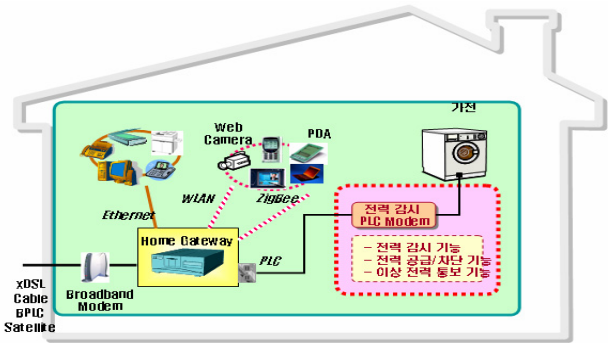


그림 1 전력감시 시스템
Fig. 1 Power Consumption Monitoring System Blocking

2. 본 론

2.1 전력선통신기반 전력감시시스템

홈 게이트웨이에서는 연결된 가전기기의 소비전력 패턴 분석을 통해 전력소비 이상 유무를 감지할 수 있는 알고리

† 교신저자, 정회원 : (주)플레넷
* 비 회 원 : (주)플레넷
E-mail : jsyoon@planetsys.co.kr
접수일자 : 2009년 8월 24일
최종완료 : 2009년 9월 7일
※ 본 논문은 본 학회 2009년 하계학술대회 학술위원회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회 심사 후 본 논문지에 게재 되었음.

즘을 탑재하여 이상 유무를 판단하고 전력소비가 급증할 시 자동으로 전력을 차단하여 화재나 누전의 위험을 방지한다. 전기설비의 누전이나 합선에 의해 다른 설비나 건물에 화재를 일으키는 사고로 인해 선로, 전기기계기구, 배선 등에서 누전, 단락, 섬락 등의 전기적 이상상태가 발생하여 열과 불꽃이 원인이 되어 화재를 일으키고 있다[1][5]. 이러한 요인들을 사전에 감시하고 검출할 수 있다면 많은 전기화재를 미연에 방지하고 사전점검을 통한 예측이 가능하다[4], 현재 사용하는 부하전류량을 감시하고, 전기시스템 및 회로에서 접촉 불량이나 절연파괴 등을 미리 감시하여 전력을 차단하여 화재나 누전의 위험을 방지할 수 있다. 또한 전력선통신을 이용하여 원격에서 모니터링이 가능하도록 설계한다. 그림 2는 전력선통신을 이용한 전력감시시스템에 대한 전체 블록다이어그램을 나타낸다.

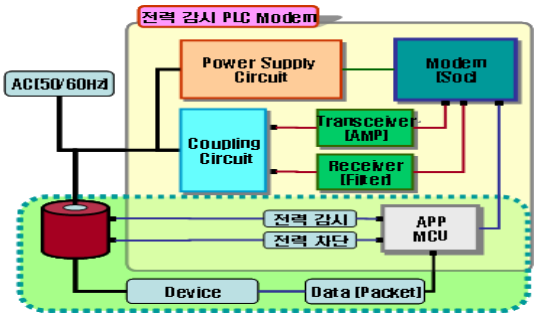


그림 2 전력선통신 전력감시 시스템
Fig. 2 PLC Power Consumption Monitoring System

2.2 전력소비 감지 및 이상전력 차단

2.2.1 전력 수요 예측

전력 관리장치의 기본원리는 수요시한 동안의 설정된 평균전력이 수요 전력이므로 부하가 순간적으로 많은 전력을 소비하여도 그 수요시한의 나머지 시간 동안에 미리 선정된 부하의 전력을 차단하게 되면 부하의 소비전력을 목표전력값에 맞출 수가 있다. 전력 관리 장치는 정확한 부하변동에 따른 소비전력의 변화 추이를 다음과 같은 방법으로 예측한다.

수요전력 관리장치가 나타내는 값으로 해당 수요 시한 내에서 지금까지 사용한 전력량을 수요시한으로 평균한 값으로,

$$P[kW] = \frac{\text{사용전력량}(kWh)}{\text{수요시한}(h)} = \frac{Q}{T} \tag{1}$$

으로 나타낼 수 있다.

부하전력은 수요전력 관리장치가 전력을 적산하는 샘플링의 한 주기 동안에 부하전력을 나타낸다. 부하전력은 $\triangle t$는 펄스 검출시간으로서 보통 1분을 설정하지만 0.5~4분의 설정도 가능하며 부하 변동주기가 길 경우와 변동폭이 클 경우에는 설정을 길게 함으로써 그 영향을 완화시킬 수 있다.

전력관리장치가 전력을 적산하는 샘플링의 한주기 동안 부하전력 $[Pa]$는,

$$P_a[kW] = \frac{\triangle t\text{사이의소비전력량}}{\text{펄스검출시간}} = \frac{\triangle Q}{\triangle t} \tag{2}$$

로 나타낼 수 있다.

수요시한(T)의 시작점에서 현재의 시간(t) 사이의 소비전력량을 Q_t[kWh]라고 하면 수요 전력과 예측 소비전력량(Q_u)을 구할 수 있다. 예상소비전력량[Qu] 및 최대 예상 전력량[Pu]는 식(3)과 (4)로 나타낼 수 있다.

$$Qu[kWh] = Qt + \frac{\triangle Q}{\triangle T}(T-t) \tag{3}$$

$$Pu[kW] = \frac{Qu}{T} \tag{4}$$

현재의 부하전력이 계속 유지되는 것으로 하고 현시점까지의 소비전력량과 앞으로 시한이 종료되기까지 소비할 전력량을 더한 것을 소비전력량의 예측값으로 하여 수요시한으로 평균하여 구해진다.

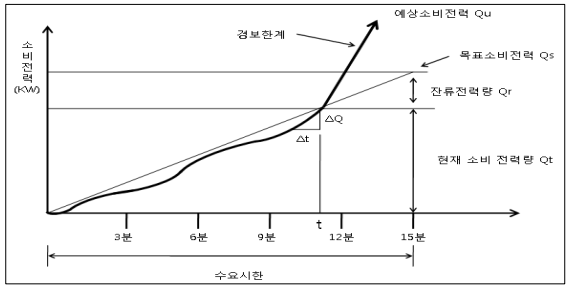


그림 3 전력관리장치 전력량 계산
Fig. 3 Power Measurement of Power Consumption Monitoring System

그림 3의 전력관리장치의 전력량 계산을 통해 소비전력예측은 일정 시간 동안 설정된 평균전력이므로 부하가 순간적으로 많은 전력을 소비하여도 수요시한의 나머지 시간동안 설정된 부하의 전력을 차단하게 되면 부하의 목표전력이 가능하다.

경보기능 : 예상소비전력 > 목표소비전력 (5)
차단기능 : 예상소비전력 > 설정소비전력 (6)

2.2.2 전력 수요 계산

그림 4는 마이크로프로세서를 이용하여 전력을 계산하기 위한 다이어그램이다.

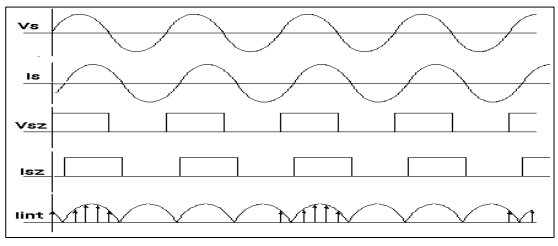
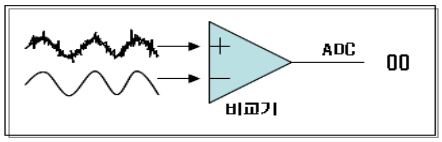


그림 4 전압, 전류 검출 및 계측
Fig. 4 Voltage, Current Value Detection and Measurement

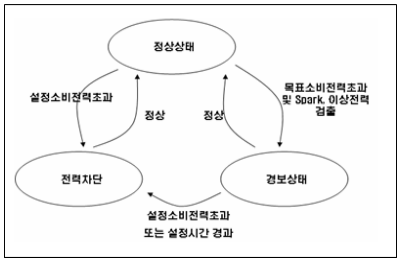
입력전류를 검출하기 위해 CT(Current Sense Transformer)를 이용하여 CT에서 검출된 전류는 노이즈를 없애기 위해 차동 증폭기를 통하여 마이크로프로세서의 A/D변환기로 공급된다. A/D를 통하여 입력된 값을 통해 현재 사용 중인 전류량을 검출할 수 있으며, 전압과 전류의 위상차를 이용하여 역률 및 전력을 계산하게 된다.

2.2.3 이상 전력 패턴 분석

과부하가 전기화재의 많은 요인이 되고 있음은 널리 알려진 사실이다. 그러므로 정격용량에 맞게 사용되고 있는지 여부를 감시해야 한다. 이러한 용량초과 유무를 감시하기 위해서는 전류의 실효치를 주어진 시간 간격마다 계산하여 정격용량과 비교한다. 또한 접촉 불량 및 절연파괴 또는 절연열화를 전기적 신호에 의해 검출하기 위해 전류의 신호를 주파수 영역에서 분석하면 1~10[kHz] 사이의 주파수대에서 이러한 아크나 스파크의 특성을 발견할 수 있다.



(a) 이상전력검출



(b) 이상전력경보 및 차단

그림 5 이상전력검출 및 차단

Fig. 5 Detection and Breaking of Abnormal Power Consumption

그림 5는 전기부하 모니터링센서를 이용하여 이상전력 및 고주파를 검출하기 위한 방법이다. 댁내에서 사용하는 가전기기들을 샘플링하여 DB를 구축하여 노이즈 패턴 분석을 통해 스파크 전후의 부하전류에 변화가 있으면 제품의 사용 또는 중지에 의한 정상상태로 돌아가고, 스파크 전후의 부하전류에 차이가 없으면 고장으로서의 아크현상이 일어나고 있으므로 경보상태로 가서 스파크현상 경보를 발생하게 된다.

2.3 저전력 전력선통신 전력감시 및 이상전력 차단

그림 6은 저전력 전력선통신을 위한 알고리즘이다. 전력소모를 최소화하기 위해 대기모드를 지원하기 Stand-by & Wake-On 기능을 추가했다.

Main Processor에서는 Uart 인터럽트나 또는 Wake-On 패킷에 의해 Wake-on 상태가 되며, Host System으로 데이터를 전송하게 된다.

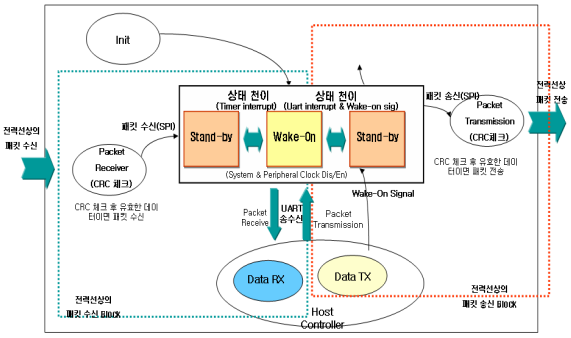


그림 6 저전력 전력선통신 모뎀 알고리즘

Fig. 6 Algorithm for Low Power Consumption PLC Modem

Host로부터 데이터를 수신할 경우(전력선에 데이터 전송) 타이머 인터럽트에 의해 Stand-by 상태에서 Wake-on 상태로 상태 천이가 되며, 유효한 데이터로 판단되면 전력선으로 데이터를 전송하게 된다. 전력선상의 패킷 수신과 마찬가지로 Host로부터 데이터 수신 패킷이 없거나 전력선상의 수신 패킷이 없을 경우 Stand-by 상태를 유지한다. Stand-by 및 Wake-On의 상태를 천이하기 위해 그림 7과 같이 일반적인 PLC 통신 프로토콜의 경우 대기모드 기능을 지원하지 않기 때문에 Data Link Layer에 Stand-by & Wake On 기능을 추가하여 4개 층의 레이어로 구현된 전력선통신 프로토콜에서 저전력 대기모드를 지원할 수 있게 설계했다.

Layer	Function	Addition (Dep.)
Application	Application, Host Interface	
Network	Network Management	
Data Link	Multiple Access Frame Fragmentation	Host Interface (Stand-by & Wake On)
Physical	Modem, Coding, AFE	

그림 7 대기모드 지원을 프로토콜 구조도

Fig. 7 Protocol for function Stand-by in PLC Modem

2.4 저전력 전력선통신 기반 전력감시 및 이상전력 차단 모뎀 설계

그림 8은 전력소비 감시 및 이상전력 차단 기능을 갖는 저전력 전력선 통신 모뎀에 대한 블록다이어그램이다. 전력선통신기반 전력감시 모듈은 가전기기의 사용중인 전력을 계산하기 위해 전류를 검출하기 위한 전력감시 Current Sensing 회로 및 전력차단을 위한 AC Relay를 구성하고 있으며, 전력소비를 줄이기 위해 대기모드를 지원하는 알고리즘이 탑재됨과 더불어 송수신 커플러를 분리하여 전력소모를 최소화했으며, Passive PFC 회로를 이용하여 역률 향상을 위한 회로를 구성하였다. 또한, 전력소비 감시 및 이상전력 소비 패턴 감시 알고리즘이 내장되어 있어 전력소비 이상 유무 감시 기능과 과전류 감지시 자동 On/Off 기능을 통해 누전 및 화재 예방이 가능하고, 전력선통신을 통해 원격에서 전력소비 감지 이벤트 로그 작성이 가능하도록 설계했다.

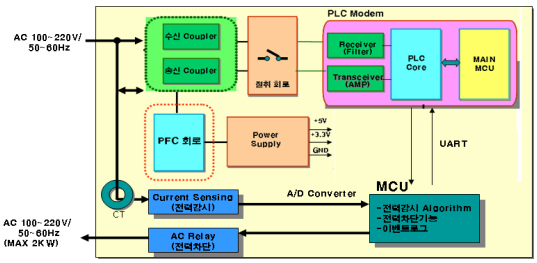


그림 8 전력소비감시 및 이상전력 차단 기능 전력선통신모뎀 블록다이어그램

Fig. 8 PLC Modem Block Diagram for Power Consumption Monitoring and Breaking of Abnormal Power

그림 9는 전력선통신기반 전력소비 및 이상전력을 감시하기 위한 부하 모니터링 모뎀에 대한 테스트 구성을 나타낸다. 구성은 현재 댁내에서 가장 많은 부하용량을 차지하고 있는 가전기기 부하 중 냉장고 부하를 이용하여 테스트 환경을 구성하였다.

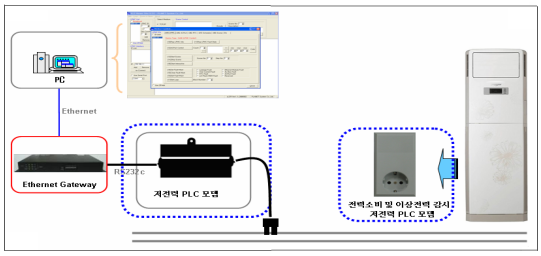


그림 9 전력선통신 기반 전력소비감시 및 이상전력 차단

Fig. 9 PLC System for Power Consumption Monitoring and Breaking of Abnormal Power

그림 10은 Current Sense를 통해 측정된 입력 전력 파형이다.

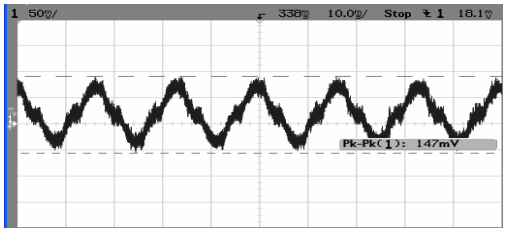


그림 10 전류측정파형

Fig. 10 Current Measurement Waveform

측정된 전류의 노이즈를 없애기 위해 차동 증폭기를 통하여 마이크로프로세서의 A/D변환기로 공급된다. A/D를 통하여 입력된 값을 통해 현재 사용 중인 전류량을 검출할 수 있으며, 전압과 전류의 위상차를 이용하여 역률 및 전력을 계산하였다.

사용 중인 전력량 검출을 통해 현재 전력사용량 및 사용기기의 현재 상태를 전력선통신을 이용하여 원격에서 실시간 모니터링이 가능하며, 각 기기별 목표 전력량 및 차단 전력량 설정을 통해 목표전력 및 이상전력 검출시 경보기능 및 차단할 수 있는 설정이 가능하다. 그림 11은 테스트프로그램을 이용하여 전력선통신을 통해 원격에서 제어 및 모니터링 송수신 패킷을 보여주고 있다.

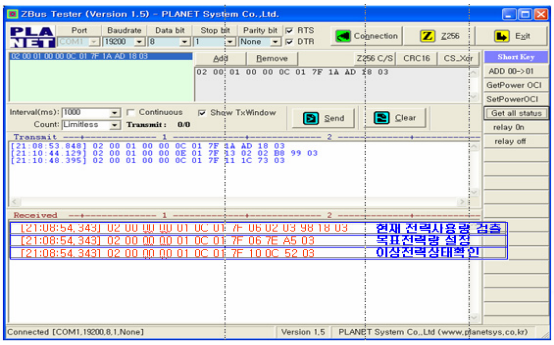


그림 11 테스트프로그램을 이용한 원격에서 전력량검출

Fig. 11 Power Consumption Monitoring and Setting using Test Program in Remote

전력선통신 기반 소비전력 감시 센서 모듈은 홈 게이트웨이 시스템에서 실시간 원격 모니터링을 통해 소비전력 패턴을 작성하여 설정된 용량을 초과시 일정시간 동안 전력을 차단하여 에너지 Saving 역할을 하게 되며, 또한 모니터링 PC 또는 홈 게이트웨이에서는 연결된 가전기기의 전력소비 이상 유무를 감지할 수 있는 알고리즘을 개발, 탑재하여 이상 유무를 판단하고 전력소비가 급증할 시 자동으로 전력을 차단하여 화재나 누전의 위험을 방지할 수 있다.

또한 제안한 저전력 대기모드를 지원하는 알고리즘을 적용하여 소비전력을 측정한 결과 표 1과 같다.

표 1 전력선 통신 모뎀 소비전력 비교측정

Table 1 Power Consumption Test results(Stand-By)

전력선 통신 모뎀		
	기존	제안 모뎀
정격전압	AC220V	AC220V
역 률	0.23[pF]	0.51[pF]
소비전류	32.5[mA]	7.8[mA]
소비전력	1.64[W]	0.87[W]

표 1과 같이 대기모드시 소비전력을 최소화하고 역률 향상을 대기모드를 지원하는 알고리즘 및 송수신 커플러를 분리, Passive PFC 회로 적용하여 대기모드시 소비전류는 34.5[mA]에서 7.8[mA]로 소비전력은 1.64[W]에서 0.87[W]로 줄어든 것을 확인하였다.

3. 결 론

전력선 통신 모뎀은 디지털 가전기기를 위한 지능형 홈 네트워크 구축은 물론 원격검침 등의 각종 자동화 시스템에 활발하게 적용됨에 따라 전력선통신모뎀을 이용하여 전기기기의 전력 소비를 감지할 수 있는 센서를 내장한 전력선 통신기반의 전력 감시 모듈을 개발하여 홈 게이트웨이 시스템에서 실시간 원격 모니터링을 통해 소비전력 패턴을 작성하였고, 전력 감시 모듈은 전력선통신모뎀을 탑재하여 TV와 같은 가전기기의 AC 입력단에 부착되어 가전기기에 흐르는 전류를 항시 감시하여 설정 이상의 전력사용량 발생 및 예측사용량을 계산하여 설정 이상의 전력 사용시 연결된 가전기기를 차단하며, 외출시 사용하지 않는 가전기기를 전력선통신을 이용하여 원격에서 제어함으로써 전력 사용량을 획기적으로 줄일 수 있다. 또한 전력선통신 모뎀에 대기모드를 지원하는 알고리즘을 추가하여 대기시 감소된 소비 전력을 확인하였으며, 저전력 대기모드 지원과 Home Server와 같은 네트워크 가전기기에 탑재 가능한 멀티 프로토콜(Multi Protocol) MAC 기능을 가진 전력선 통신 모뎀을 개발함으로써 국제 표준에 대응하며, 시장을 선도할 수 있는 기반을 마련하였다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 지식경제부 에너지 · 자원 기술 개발 사업의 일환으로 추진되고 있는 (과제명 : 저전력 대기모드 지원 PLC 통신 모뎀 개발)의 지원에 의한 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] T.E. Eaton, "Electric Services and Building Fires.

[2] 신요한, "전력선 통신 시스템에 멀티코드 CDMA 방식의 적용 방안에 관한 연구", 1990.10.

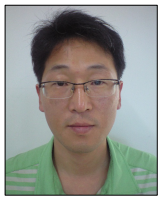
[3] 윤재식, " 저전력 대기모드를 지원하는 전력선통신 모뎀 개발에 관한 연구", 2008.10.

[4] B. Aebscher, "The Internet : the key driver for future electricity demand in households? The Swiss case," ICT Workshop, Internat. Energy Agent, Paris, pp. 21-22, Feb. 2002.

[5] B. Aebscher, "The Internet : the key driver for future electricity demand in households? The Swiss case," ICT Workshop, Internat. Energy Agent, Paris, pp. 21-22, Feb. 2002.

[6] 이현규, "디지털 홈네트워크를 위한 홈게이트웨이 기술," 한국전력전자학회, pp.1528-1539, 2006.

저 자 소 개



윤 재 식 (尹 載 植)

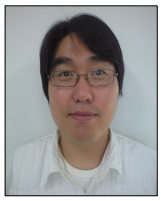
1999년 2월 숭실대학교 전기공학과(공학사)
2001년 2월 인제대학교 전기공학과(공학석사) 전력전자전공
2001년 2월~현재 ㈜플레넷 책임연구원

위 정 철 (魏 正 澈)

1994년 2월 청주대학교 전자계산학과(공학사)
1996년~1997년 유진정보기술연구소
1997~2000년 인터파연구소
2000년 2월~현재 ㈜플레넷 연구소장

박 중 하 (朴 重 河)

1999년 2월 충주대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1999년 2월~현재 ㈜플레넷 책임연구원



송 용 재 (宋 勇 在)

2001년 2월 동서대학교 전자공학과(공학사)
2001년 2월~현재 ㈜플레넷 선임연구원

김 재 헌 (金 載 憲)

2004년 2월 인제대학교 전자정보통신공학부(공학사)
2006년 2월 인제대학교 전자정보통신공학부(공학석사)
2006년 2월~현재 ㈜플레넷 전임연구원