자가 충전 모듈을 이용한 USN 센서노드용 고효율 에너지 전력관리 시스템 구현 및 검증

논 문
60-1-20

Design and Implementation on High Efficient EPMS(Energy-Power Management System) for USN Sensor Node Using Self-Charging Module

김 현 웅* · 박 희 정* · 임 세 미* · 오 종 화* · 노 형 환** · 박 준 석†
(Hyun-Woong Kim · Hee-Jeong Park · Se-Mi Lim · Jong-Hwa Oh · Hyoung-Hwan Roh · Jun-Seok Park)

Abstract - In this paper, We design and implementation of Self-Charging Module for charging to battery which obtaining the environment inergy such as solar energy. The power chared battery through the charging module send to sensor node. And implementation of System Activation Module(SAM) based on ID system and Dynamic Power Management Module(DPM) with SPO(Self Power Off). This system consume power only communication between the sensor nodes. We verification this system by implementing the high efficiency poweer management system.

Key Words : Self-sustaining, Sensor node, USN, Self-charging module

1. 서 론

오늘날 무선 센서 네트워크 기술은 사물의 네트워크를 통해 통신하며 지능화, 자율화 되어 생산, 유통, 물류 등의 경제 활동 서비스, 의료, 요양 등의 복지 서비스, 그리고 환경 서비스 등 새로운 유비쿼터스 서비스를 창출하게 되고 이로 인해 인류의 삶을 더욱 윤택하게 해주는 기술로 각광받고 있다.[1] 이렇게 다양환 환경에서 응용되고 있는 무선 센서 네트워크 시스템에서 사용되는 센서 각각들은 배터리 관리 문제가 가장 큰 핵심이 되고 있다.[2] 수 백, 수천 개의 센서가 운용되는 센서 네트워크에서 사용되는 센서 각각의 배터리 잔량 유무를 정기적으로 확인하고 교체하는 것은 대단히 힘든 일이기 때문이다.[3] 이러한 이유에서 새로운 개념의 전력 공급 장치와 이 장치로 구동되는 센서, 그리고 이 센서 간의 효율적인 운용 및 통신 방식이 요구되어 지고 있다.[4]

배터리와 대체되는 대체에너지 사용 기술 중 에너지 획득 기술은 주변 환경에 산재해 있는 빛, 열, 진동 등과 같은 자연 에너지 등으로부터 다양한 시스템을 구동시킬 전력을 얻는 신재생 에너지 기술이다. 오늘날 무선통신 시스템에서는 종종 아이디 기반의 통신 시스템을 사용하는 것을 볼 수 있다. 무선통신 시스템에서 데이터를 송신할 때 변조를 하지 않고 송신하면, 변조되지 않은 원 신호는 에러 없이 전달 가능한 거리가 무척 짧을 뿐 아니라 에러 율을 낮추기 위해 많은 전력이 소요된다. 그래서 보내는 전력 소모 및 에러 율도 낮추고 전송거리를 늘리기 위해서는 변조가 필수이다. 다양한 변조 방식에 따라 다양한 방식의 복조 회로의 구현이 필요하게 된다. 또한 환경에너지를 획득하여 시스템에 원활한 전력을 공급하기 위해서는 전력소모가 최소화 되도록 시스템이 설계되어야 한다.

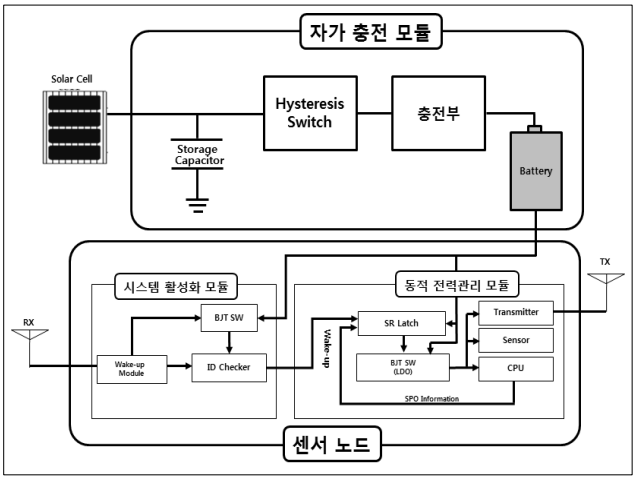


그림 1 자가충전모듈을 이용한 센서노드 시스템 전체 블록도
Fig. 1 The Sensor Node System block diagram using Self-Charging module

본 논문에서는 별도의 외부 입력 없이 환경에너지(광)를 획득하여 배터리에 효과적으로 전력을 충전하고 효율적으로 센서노드에 전력을 공급하는 자가 충전 모듈을 개발하였다. 또한 시스템 활성화 모듈과 동적 전력관리 모듈을 통해 센서노드간의 통신 시에만 전력을 소비하는 USN 센서노드용 고효율의 에너지 전력관리 시스템을 구현함으로써 해당 시스템을 검증 해 보았다.

본 논문의 2. 본론 1절에서는 전체 시스템의 개괄적인 흐

* 준 회 원 : 국민대학교 전자공학과 석사과정
** 정 회 원 : 국민대학교 전자공학과 박사과정
† 교신저자, 정회원 : 국민대학교 전자공학과 교수
E-mail : jspark@kookmin.ac.kr
접수일자 : 2010년 9월 10일
최종완료 : 2010년 11월 18일

름에 관하여 설명하고, 2절은 자가 충전 모듈에 관해서, 3절에서는 시스템 활성화 모듈과 동적 전력 관리 모듈을 통한 아이디 기반의 센서노드에 대해 설명한다. 마지막 3. 결론부분에서는 향후 시스템 진행방향과 해당 시스템의 응용 가능 분야데 관하여 논하고 논문의 결론을 맺는다.

2. 본 론

2.1절 자가 충전 모듈을 이용한 USN 센서노드 시스템

그림 1은 자가 충전 모듈을 이용한 전체 센서노드 시스템을 보여주고 있다. 각 세부 블록은 태양전지를 사용한 에너지 획득 장치와 획득된 에너지를 관리하고 배터리에 충전시키는 자가 충전 모듈, 최적화 된 웨이크 업 모듈이 적용된 시스템 활성화 모듈, 그리고 SR latch를 통해 SPO (Self-Power Off)기능을 적용시킨 동적 전력 관리 모듈로 이루어진다. 전체 시스템 동작은 다음과 같다. 태양전지를 통해 획득된 에너지는 저장 커패시터에 1차 충전된다. 1차 충전 된 에너지는 히스테리시스 스위치의 단락되는 임계값 전압까지 충전이 되면 충전부로 에너지가 전달되어지게 되고 충전부는 전달받은 에너지를 배터리에 2차 충전시키게 된다. 충전부에서 배터리를 충전하는 순간 저장 커패시터에 저장된 에너지는 방전되게 되며 히스테리시스 스위치가 가지고 있는 차단 전압 임계값까지 방전이 되면 히스테리시스 스위치는 충전부에 공급하던 에너지를 차단시켜 저장 커패시터에 단락되는 임계값 전압까지 재충전이 될 수 있도록 한다. 충전부에서는 배터리의 전압을 시스템 활성화 모듈과 동적 전력 관리 모듈에 공급하게 된다. 시스템 활성화 모듈은 싱크노드로부터 연속신호(CW)와 ID신호를 수신하고 수신된 신호는 웨이크업 모듈 내의 전압 체배기를 통해 직류 전압으로 체배되어 ID Checker에 전원을 공급한다. 그와 동시에 웨이크업 모듈 내에 복조기는 수신된 신호로부터 ID를 복조하게 되고 복조된 ID는 ID checker로 전달된다. ID Checker는 센서노드에 부여된 ID와 싱크노드로부터 수신된 ID가 일치할 경우 웨이크업 신호를 발생시키게 되고 일치하지 않을 경우 아무런 신호도 발생시키지 않게 된다. 센서노드에 수신된 신호가 모두 끝나게 되면 ID Checker에 전원 공급이 차단되게 되므로 불필요한 대기 전력의 소모가 없어지게 된다. 동적 전력 관리 모듈은 시스템 활성화 모듈에서 웨이크업 신호가 발생하면 SR latch의 S 입력단에 신호가 인가되어 센서와 마이크로 컨트롤러, 송신기에 배터리로부터 전원을 공급할 수 있는 BJT 스위치를 동작시킨다. BJT 스위치가 동작하게 되면 센서인터페이스의 요구 전압에 따라 배터리의 전력이 센서와 송신기, 마이크로컨트롤러 등에 공급된다.

2.2절 히스테리시스 스위치를 이용한 자가충전모듈 설계

에너지 하베스팅을 통하여 획득된 에너지의 전력량은 매우 적기 때문에 배터리를 충전시키거나 센서노드 시스템을 구동 시킬 전원으로 사용하기에는 어려움이 있다.

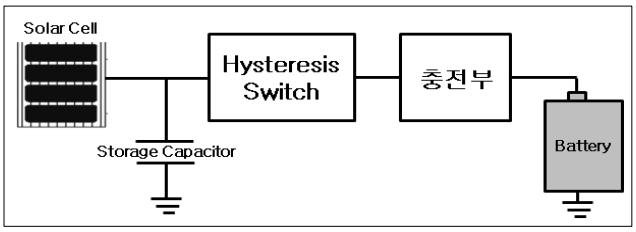


그림 2 히스테리시스 스위치를 이용한 충전 모듈의 블록도

Fig. 2 The Self-Charging Module block diagram using Hysteresis Switch

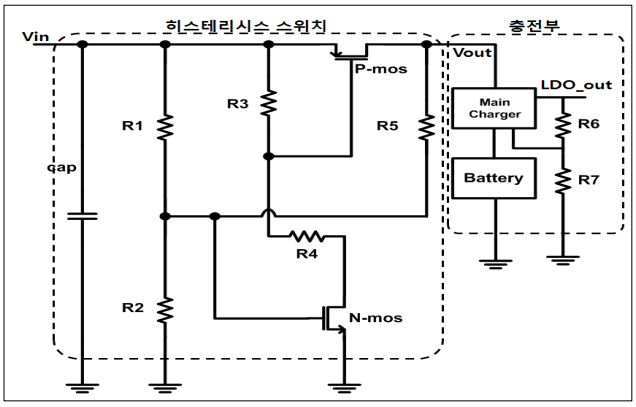


그림 3 히스테리시스 스위치를 이용한 충전 모듈의 세부 구성도

Fig. 3 The Detailed configuration of Self-Charging Module

본 논문에서는 이러한 어려움을 해결하기 위해 히스테리시스 스위치를 이용하여 저장 커패시터에 1차로 저장한 후 히스테리시스 스위치를 통해 배터리에 2차로 충전시키는 구조를 제안하였다. 그림 2는 태양전지를 통해 획득한 에너지를 관리 할 수 있는 히스테리시스 스위치를 이용한 자가 충전 모듈의 블록도를 나타내었다. 태양전지는 실외에서 $100mW/cm^2$(직사광)로 타 에너지원에 비해 높은 에너지 획득을 자랑하지만 실제 시스템이 적용되는 실내 환경에서는 $100uW/cm^2$로 에너지 획득 효율이 실외 환경보다 현저히 떨어지게 된다.[5] 실제 시스템이 적용되는 실내 환경에서는 실외보다 빛의 세기가 매우 적기 때문에 실내 환경에서 사용하기 적합한 박막형 태양전지를 사용하였다. 또한 배터리에 안정적인 전력을 공급하기 위해서 매우 큰 용량의 슈퍼 커패시터를 사용하기보다 일반적인 1000uF의 커패시터를 사용했다. 히스테리시스 스위치는 입력 임피던스가 크고 정궤환(Positive feedback)을 발생시킬 수 있는 새로운 구조로 구현하였다.

그림 3은 본 논문에서 제안한 히스테리시스 스위치 및 충전부의 구조이다. 태양전지를 통해 획득된 에너지를 저장 커패시터에 저장 후 일정 전압이 충전되면 충전부에 전달하여 배터리를 충전 시킬 수 있다. 또한 충전된 배터리의 전압이 일정 전압 이상이 되면 충전부에서 센서노드 시스템에 전원 전압을 공급 할 수 있는 기능도 포함되어 있다. MOSFET을 이용하여 설계한 히스테리시스 스위치의 단락 전압 임계값은 식 (1)을 통해 6.4V로 설계하였고, 차단 전압

임계값은 식(2)를 통해 3.8V의 값을 갖도록 설계하였다. 이는 상용칩을 사용한 충전부의 입력조건(4.3V~8V)에 만족하고 배터리를 효율적으로 충전하기 위해 배터리 용량의 10%~20% 이상의 전력을 상황에 따라 주기적으로 충전할 수 있도록 6.4V~3.8V로 설계하였다

$$V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{1}$$

$$\frac{R_1 \times R_5}{R_1 + R_5} \tag{2}$$

설계한 히스테리시스 스위치의 동작은 다음과 같다. 입력전압이 6.4V가 되면 N-mos의 게이트 단자에 R1과 R2에 의해 분배된 전압이 인가되어 N-mos가 단락됨과 동시에 P-mos의 게이트 전압이 떨어지게 된다. 이에 따라 P-mos의 게이트 단자와 소스 단자 사이의 전압차가 P-mos 자체의 단락 전압 레벨 이상으로 증가하게 되고, 결과적으로 P-mos가 단락되면서 히스테리시스 스위치에 입력된 전압이 충전부에 인가되게 된다. 다시 N-mos 게이트 단자에 인가되는 전압이 자체 단락 전압 보다 낮아지게 되면 N-mos의 드레인과 소스가 차단되고, P-mos의 게이트 전압은 상승하게 되어 P-mos의 드레인가 소스가 차단된다. 이때 스위치의 입력전압 Vin은 더 이상 충전부로 인가되지 않고 저장 커패시터에 재충전되는 현상을 나타내게 된다.

그림 4에 제안한 히스테리시스 스위치의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그림 4의 1)번 파형은 입력신호 Vin을 나타낸다. 이때 Vin은 Vp-p 15V, 주파수는 10mHz의 신호를 인가하였다. 실제 구현 시 실내조명에서 태양전지를 사용하였을 때 에너지를 획득하는 시간이 길어짐을 고려하여 주파수를 설정하였다. 그림 4의 2)번과 3)번 파형은 P-mos 게이트 단자의 상태와 히스테리시스 스위치의 출력을 나타낸 것이다. A 구간은 초기 충전 상태로 저장 커패시터의 전압이 히스테리시스 스위치 단락 전압 임계값인 6.4V까지 점차 증가된다. B 구간에서 P-mos의 게이트 전압이 0V까지 떨어지게 되면서 히스테리시스 스위치는 단락되어 커패시터가 방전을 시작하며 충전부를 지나 배터리로 충전된다. 커패시터의 전압이 4.2V이하로 내려가는 C 구간에서는 히스테리시스 스위치가 차단되어 단락 전압 임계값까지 재충전되는 상태를 나타내고 있다.

그림 5는 히스테리시스 스위치의 입력과 출력 테스트 파형이다. Ch1의 결과 파형은 태양전지를 통해 1차 충전된 저장 커패시터를 관측한 파형으로 히스테리시스 스위치의 입력에 해당하는 결과 파형이다. 827Lux의 형광등 조명에서 박막형 태양전지를 사용하였을 때, 0V에서 히스테리시스 스위치의 단락 전압 임계값 6.7V까지 초기 충전되는데 걸리는 시간은 190s 이고 5.6V에서 히스테리시스 스위치의 차단 전압 임계값 3.8V까지 초기 방전되는 시간은 19s로 측정되었다. 초기 방전 된 후 재충전되는 시간은 61s이다. Ch2의 파형은 Ch1의 입력되는 신호에 따른 히스테리시스 출력 파형으로 ①과③영역은 N-mos와 P-mos가 차단되어 있는 상태이고, ②의 영역에서만 충전부에 전력을 공급하고 있는 것으로 측정되었다.

그림 6의 (a)는 충전부와 연동 된 히스테리시스 스위치

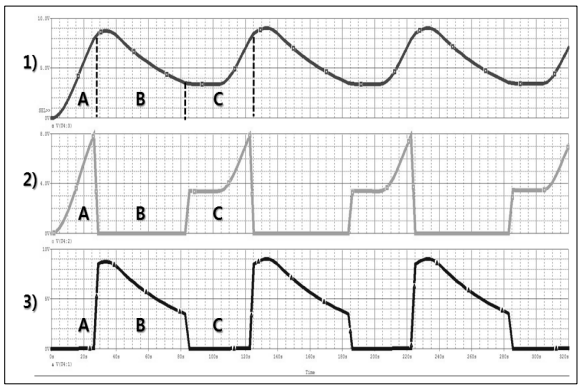


그림 4 히스테리시스 스위치의 입력 및 출력 시뮬레이션

Fig. 4 The Simulation result of Hysteresis Switch Input and Output

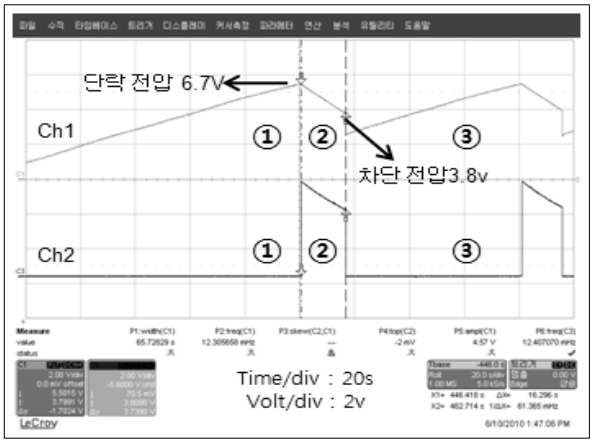


그림 5 히스테리시스 스위치 측정 결과

Fig. 5 The test result of Hysteresis Switch

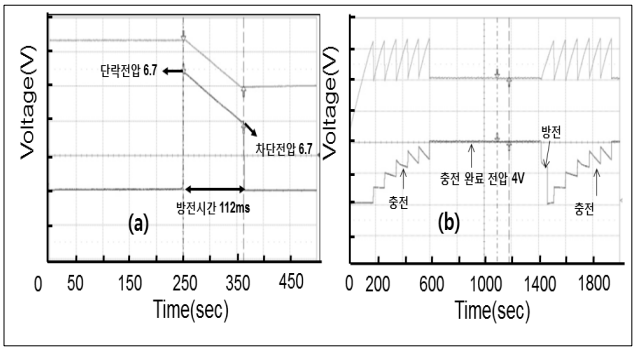


그림 6 히스테리시스 스위치 출력 파형 및 동작에 따른 충전파형

Fig. 6 The result of Hysteresis Swtich output wave and Charging wave

동작파형을 측정한 것이고 그림 6의 (b)는 히스테리시스 스위치 동작에 따른 충전 파형을 측정한 것이다. 실제 배터리를 충전 시 전류가 완충되는 시점을 측정하는데 매우 긴 시간이 필요함으로 2200uF의 커패시터를 사용하여 충전여부와 방전 상태에서 다시 충전되는 상태를 측정하였다. 초기 충

전 시간은 190s 이고 히스테리시스 스위치가 차단과 단락이 될 때마다 충전되는 전압은 약 780mV의 전압이 약 80s 씩 충전된다. 충전이 완료되면 과충전으로 인한 배터리의 수명이 짧아지지 않도록 더 이상 충전하지 않는 상태가 됨을 측정 결과를 통해 알 수 있다.

2.3절 시스템 활성화 모듈 설계

그림 7은 시스템 활성화 모듈의 세부 블록도를 나타낸 것이다. 시스템 활성화 모듈은 전압체배기와 포락선 검파기, 그리고 ID Checker로 구성되어 있다. 시스템 활성화 모듈의 동작 원리를 살펴보면, 전압 체배기에서 무선 RF신호를 받아 일정 전압으로 체배하여 ID Checker를 동작시킬 수 있는 전력을 공급하는 BJT 스위치를 On 시키고, 복조기에서는 입력 신호를 복조하여 ID Checker에 전달함으로써 ID Checker가 웨이크업 신호를 발생시키는 역할을 한다. ID Checker는 복조된 신호에서 디지털 값을 추출해 내어 부여된 ID와의 일치 여부를 판단하는 기능을 갖는다. 사용된 ID Checker는 CPLD와 SR latch, Schmitt Trigger를 집적하여 구현한 칩을 사용하였다.

포락선 검파기의 출력은 원 신호를 복조하기 위한 비교기의 입력신호로, 전압 체배기의 출력은 비교기에서 디지털 파형으로 바꿔주기 위한 기준전압으로 사용된다. 포락선 검파기와 전압 체배기는 같은 구조로 사용하지만, 전압체배기의 단 수를 포락선 검파기의 단 수 보다 1/2로 사용함으로써 전압 체배기에 체배되는 전압의 최고치를 포락선 검파기에 체배되는 전압의 반으로 낮추었다. 포락선 검파기의 출력단에는 저항과 커패시터가 달려있어 진폭 변조된 신호가 1의 신호로 들어올 때엔 충분한 체배를, 0의 신호가 들어올 때엔 저항을 통해 방전하게 된다. 하지만 전압 체배기의 출력 단에는 커패시터만 있기 때문에 진폭 변조된 신호가 1일 때에 체배된 전압이 0의 신호가 들어올 때에도 유지가 된다. 즉 같은 파워가 입력될 때, 전압체배기는 항상 일정한 전압을 유지하게 되고 포락선 검파기는 1의 신호일 때엔 전압 체배기보다 2배의 전압이, 0의 신호일 때에는 0V의 전압을 가지게 된다. 일반적인 비교기 회로는 고정 기준전압을 사용하기 때문에 입력 전입의 크기가 바뀔 때마다 기준전압의 크기를 바꿔야만 제대로 된 듀티 사이클을 만족시킬 수 있지만 본 논문에서 설계한 복조회로는 입력파워의 크기가 달라져도 기준전압을 바꿀 필요가 없다. 입력 파워는 프리스(Friis) 공식에 의해 송신기와 수신기의 거리에 따라 변하게 된다.[6]

$$P_{rec} = P_{PA} G_{TX} G_{tag} (\frac{\lambda}{4\pi d})^2 = P_{EIRP} G_{tag} (\frac{\lambda}{4\pi d})^2 \qquad (3)$$

그림 9는 시스템 활성화 모듈의 동작 상태를 측정한 결과이다. A는 전압 체배기로부터 출력된 전압으로 BJT를 동작시키기에 충분한 전압인 800mV의 값을 출력하는 것을 확인할 수 있다. B는 포락선 검파기의 출력으로 수신된 연속신호 구간 끝에 있는 ID신호가 복조 된 것을 알 수 있다. C는 복조 된 ID에 따라 센서노드에 부여된 ID와 동일한 경우 웨이크업 신호가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이때 웨이크 업 신호의 유지시간은 330uS로 측정되었다. D는 웨이크업 신호를 받고 싱크노드에게 송신하는 센서노드의 환경 감지 데이터 출력을 나타내고 있다.

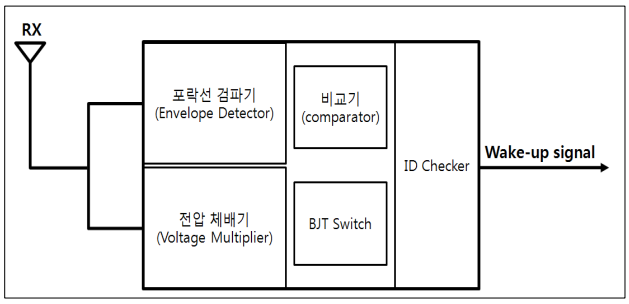


그림 7 시스템 활성화 모듈의 내부 블록도
Fig. 7 The Internal Block Diagram of System Activation Module

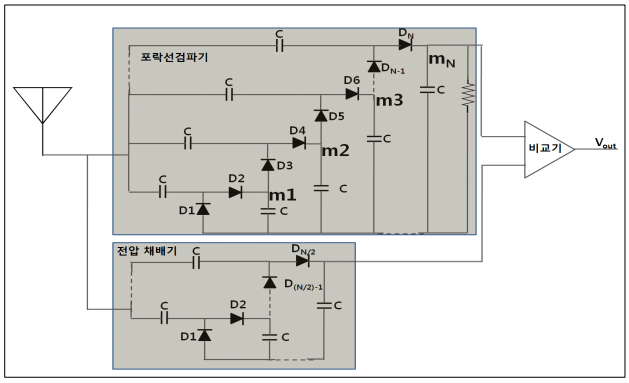


그림 8 포락선 검파기와 전압 체배기로 구성된 복조회로
Fig. 8 Voltage Multiplier and Demodulator

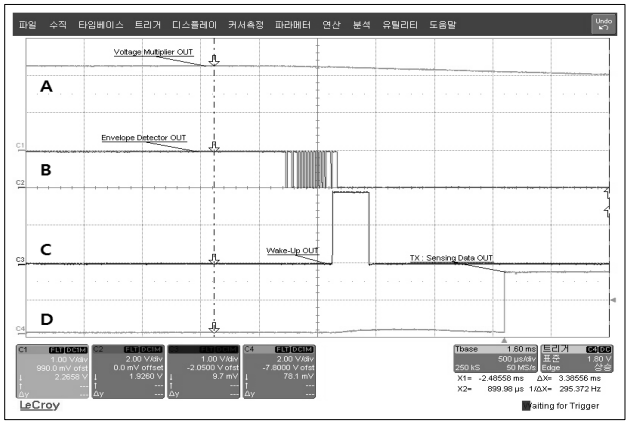


그림 9 시스템 활성화 모듈의 동작 상태
Fig. 9 The test result of System Activation Module

2.4절 SPO기능을 적용시킨 동적 전력 관리 모듈 설계

본 논문에서 제안하는 SPO 기능을 적용시킨 동적 전력 관리 모듈은 효율적인 에너지 사용과 그로인해 센서 노드가

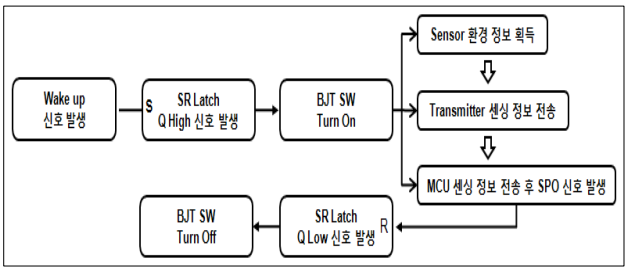


그림 10 SPO(Self Power Off) 기능 동작 흐름도
Fig. 10 The Flowchart of Self Power Off

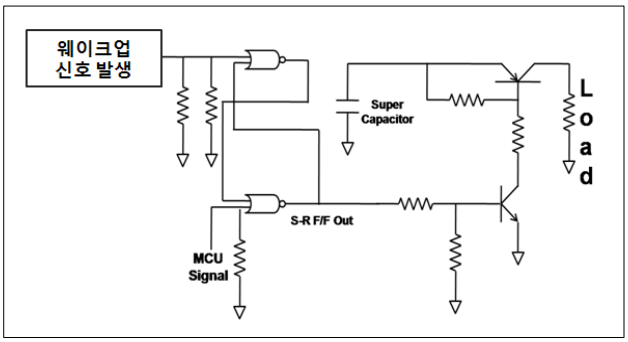


그림 11 SPO(Self-Power Off) 모델링 등가회로도
Fig. 11 The Modeling circuit of Self Power Off

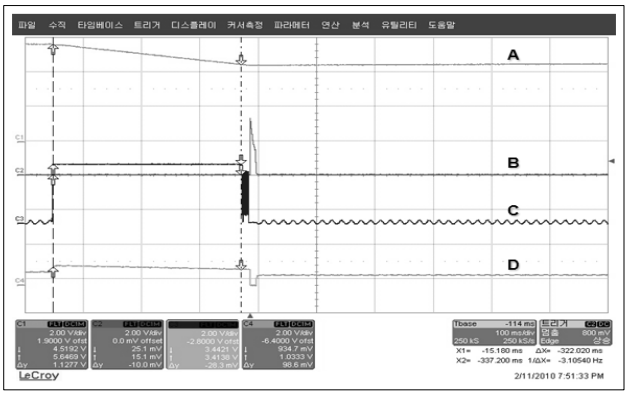


그림 12 SPO 기능을 접목 시킨 동적 전력 관리 모듈 측정 결과
Fig. 12 The test result of Dynamic Power Management Module with Self Power Off

제한된 에너지원을 가지고 장시간 동작 할 수 있도록 하기 위한 모듈이다. 센서 인터페이스의 동작을 알리는 웨이크업 신호가 SR latch로 입력이 되면 센서와 송신기, 마이크로컨트롤러에 공급되는 전원을 자체적으로 차단할 수 있는 방식을 구현 및 검증하였다. 그림 10에서는 Self Power Off 기능의 동작 흐름도를 나타내었다. 웨이크업 신호가 발생하면 SR latch의 S입력으로 high 신호가 인가되고 Q출력에서 high 신호가 발생하여 BJT 스위치가 On 상태가 된다. 이 때 BJT의 컬렉터에 연결된 전압이 에미터로 흐르게 된다. BJT 스위치를 통해 센서와 송신기, 마이크로컨트롤러에 전원 전압이 인가되면 센서는 동작한다. 이 때, 센서의 용도에 따라 온도, 습도, 조도의 환경 정보를 송신기를 통해 전달하게 되고 송신기는 싱크노드에 센싱정보를 송신한다. 마이크로컨트롤러는 디지털포트를 통해 high 신호(Self Power Off)를 발생시킨다. 마이크로컨트롤러로부터 발생 된 high 신호는 SR latch의 R 입력으로 전달되고 high를 유지하던 SR latch의 Q 신호는 low로 바뀌게 된다. Q 신호가 high에서 low로 바뀜으로 인해 BJT 스위치는 차단되어 센서와 송신기, 마이크로컨트롤러에 전달하던 구동 전압이 차단됨으로 불필요한 에너지의 소모를 막을 수 있게 된다.

그림 11은 센서노드의 전원 관련 부분을 시뮬레이션 하기 위해 모델링된 등가회로이다. SPO 기능을 검증하기 위해 실제 센서노드 시스템에 적용하여 모델링하여 구현하였다. 사용된 SR latch는 시스템 활성화 모듈의 ID Checker 칩 내부에 집적된 SR latch를 사용하였다.

그림 12는 동적 전력 관리 모듈에서 웨이크업 신호의 수신과 환경 감지 정보를 싱크노드로 송신 후 SPO 신호가 발생하는 상태를 측정한 파형이다. A는 센서인터페이스에 공급되었던 파형이 SPO 신호 발생 후 차단 된 상태이고, B는 SPO 신호를 관측한 것이다. C는 싱크노드에 전송 된 환경 감지 파형이고 D는 SPO 신호가 발생한 후 BJT 스위치의 베이스 단자의 상태를 측정한 것이다.

그림 13은 본 논문에서 제안한 자가충전모듈을 이용한 USN 센서노드용 고 효율 에너지 전력관리 시스템을 적용시킨 센서노드 시스템이다. 각각의 단일 센서노드의 동작을 확인하기 위해 그림 14와 같은 테스트 환경을 구축하였다. 테스트 환경은 센서노드와 싱크노드 사이의 거리는 Typ. 5~6m, 주파수 대역은 433MHz, 실내조명은 827Lux, 싱크노드 1대, 센서노드 30대의 환경을 구축하였다.

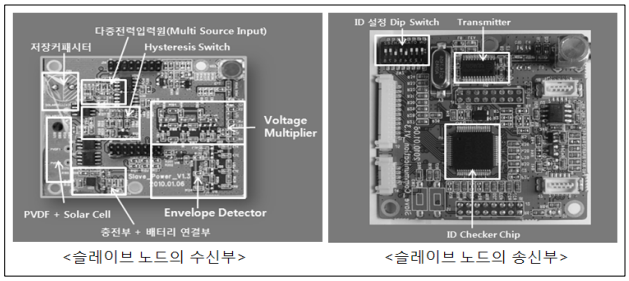


그림 13 본 논문에서 제안한 시스템이 적용된 센서노드 보드
Fig. 13 The Sensor node Board

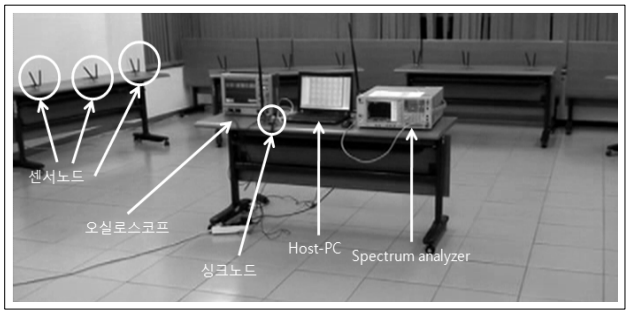


그림 14 테스트 환경
Fig. 14 The test environment

표 1 자가 충전 모듈을 이용한 USN 센서노드시스템의 특징

Table 1 The features of USN sensor nodes usning Self-Charging Module

보드 크기	싱크노드 55mm×60mm 센서노드 50mm×50mm 센서인터페이스 13.5mm×34mm
통신주파수 대역 및 파워	Freq 433MHz, Power. min-15dBm
웨이크업 가능거리	Typical 7m
단일 싱크노드의 통신가능한 센서노드	max 128개
태양전지 종류 및 크기	박막형 solar cell, 150mm×35mm
초당 충전전압	7mV/sec@827Lux(형광등조명)
히스테리시스 전압크기	2.9V@단락전압 6.7V, 차단전압3.8V
ID Checker Chip 전압	1.8V
ID Checker Chip 소모전류	6.6uA(ID Checker, SR latch)
전체 시스템 소모전류	max1.2mA, min10uA (MCU, Sensor, Transmitter, charger, LDO)

4. 결 론

본 논문에서는 자가 충전 모듈을 이용한 USN 센서노드용 고효율 에너지 전력관리 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 현재 배터리로부터 전원 전압을 사용하는 많은 센서노드에 적용하여 배터리의 잔여량을 점검하거나 교체하지 않아도 되는 편리성을 갖고 있다. 시스템 활성화 모듈은 8 bit로 구성된 ID를 부여 할 시 최대 128개의 다수 센서노드와 단일 싱크노드의 통신이 가능하고, 웨이크업 가능 거리는 평균 7m로서 USN 시스템에도 적용할 수 있으며, 한정된 공간의 환경 정보가 주기적으로 필요한 장소에도 적용될 수 있다. 동적 전력 관리 모듈은 단일 센서를 사용하지 않고 다양한 종류의 센서를 사용 할 수 있는 센서인터페이스를 지원하며, 기존 센서노드 시스템에서 다소 대기소모전류를 많이 소비하는 부분인 센서, 송신기, 마이크로컨트롤러에 SPO 기능을 적용시켜 불필요한 대기 소모 전류를 줄일 수 있다.

본 논문에서 제안한 시스템이 USN 응용 분야에 다양하게 적용됨으로서 현재 많은 센서노드 시스템에서 가지고 있는 전원 공급에 대한 문제와 효율적인 에너지 관리에 대한 문제를 해결 할 수 있는 방안이 되길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행되었습니다. (과제번호 10033845). 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] A. Ghosh, S. Devadas, K. Keutzer and J. White, “Estimation of Average Switching Activity in Combinational and Sequential Circuits,” ACM/IEE Design Automation Conf., pp. 253-259, 1992.

[2] B.A. Warneke, et al., Smart Dust, “Communicating with a Cubic-Millimeter Computer,” Computer Magazine, Jan 2001

[3] E.M. Yeatman “Advances in Power Sources For Wireless Sensor Nodes,” Proc. Internationl Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor, 2004. [Online] Available at. http://www.doc.ic.ac.uk/vip/bsn\textunderscore2004/program/papers/Eric%20Yeatman.pdf

[4] M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online].Available :http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran

[5] 우병곤, “MEMS 기술을 이용한 에너지 하베스팅 기술”, 전자통신동향분석, 제 23권 제6호, 2008.

[6] John S.Seybold, “Introduction to RF Propagation”, Wiley, inter-science, white paper series edition 1, 2005.

저 자 소 개

김 현 웅 (金 炫 雄)

2009년 국민대학교 전자공학과 졸업

2009년～현재 국민대학교 전자공학과(석사과정)

<관심분야>

- RFIC, MMIC, RF system
- USN system, EPMS

박 희 정 (朴 喜 正)

2010년 국민대학교 전자공학과 졸업

2010년～현재 국민대학교 전자공학과(석사과정)

<관심분야>

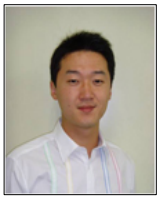
- RFIC, MMIC, RF system
- USN system, EPMS

박 세 미 (林 世 美)

2010년 국민대학교 전자공학과 졸업
2010년~현재 국민대학교 전자공학과 (석사과정)
<관심분야>
- RFIC, MMIC, RF system
- USN system, EPMS

오 종 화 (吳 鐘 華)

2009년 국민대학교 전자공학과 졸업
2009년~현재 국민대학교 전자공학과 (석사과정)
<관심분야>
- RFIC, MMIC, RF system
- USN system, EPMS



노 형 환 (盧 衡 煥)

2005년 국민대학교 전자공학과 졸업
2007년 국민대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
2007년~현재 국민대학교 전자공학과 (박사과정)
<관심분야>
- RFIC, UHF RFID, RF System
- IEEE 802.11n 기술

박 준 석 (朴 准 奭)

1991년 국민대학교 전자공학과 졸업
1993년 국민대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
1996년 국민대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)
2003년~현재 국민대학교 전자공학과 교수
<관심분야>
- RFID USN 통합 네트워크를 위한 센서노드 개발
- 모바일 RFID 산업화, 표준화, 자기유지 시스템
- 무선전력전송 시스템, u-Cit