

동적 기준전압 복조회로를 이용한 WBAN/USN 센서노드용 웨이크 업 모듈의 설계 및 구현

論 文
8-3-8

Design and Implementation Wake-up Module for Wireless Sensor Node using Dynamic Reference Voltage Demodulation Circuit

김 종 홍*, 황 지 훈*, 박 준 석*, 성 영 락*, 오 하 령*

Jong Hong Kim, Ji Hun Hwang, Jun Seok Park, Yeong Rak Seong, and Ha Ryoung Oh

Abstract

This paper designs and implements wake up module for WBAN/USN sensor node which is using dynamic reference voltage demodulation circuit. When a comparator is used in a system for detecting received voltage level, comparator must have a reference voltage. However, the reference voltage is fixed, the system can communicate only a few range because received voltage level is changing widely due to distance of the wireless sensor nodes. Therefore, the proposed wake up module employs a dynamic reference voltage demodulation circuit for increasing communication range.

Keywords : WBAN/USN sensor node, wake-up, dynamic reference voltage demodulation circuit

I. 서 론

최근 u-헬스(u-Health) 및 IT-BT 융합 기술의 발달로 무선을 이용한 WBAN(wireless body area network)시스템에 대한 관심이 높아지고 있다[1]. WBAN의 경우 옷이나 신발 등의 입을 수 있는 소재에 장착해야 하므로 사이즈나 무게에 제약이 있다. 이에 시스템의 초소형화가 점차적으로 대두되고 있으며 초소형화에 따른 배터리의 사이즈 또한 문제가 되고 있다. 배터리 크기에 따른 수명 문제로 인해 해당 시스템 설계 시 시스템의 전력 소모가 최소화되도록 설계되어야 한다 [2]. 이에 따라 사용자가 정보 요구 시에만 동작 가능한 아이디어 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 에러율을 낮추기 위해서 많은 전력이 소요된

다. 그래서 보내는 전력 소모 및 에러율도 낮추고, 전송거리를 늘리기 위해서는 변조가 필수이다. 다양한 변조 방식에 따라 다양한 방식의 복조회로의 구현이 필요하게 된다[3]. 본 논문에서는 진폭변조방식의 통신시스템에 이용 가능한 복조회로를 설계 및 구현하고, 복조회로의 동작 범위를 넓히기 위하여 동적 기준전압 방식의 복조회로를 구현하였다. 또한 동적 기준전압 복조회로를 이용하여 WBAN/USN용 무선 센서노드 시스템에 적용 가능한 웨이크 업 모듈을 구현하고 SoC화 하였다.

II. 본 론

1.WBAN/USN 센서노드 웨이크 업 모듈

그림 1은 본 논문에서 구현한 WBAN/USN 센서노드의 구조도를 나타내었다. 사용자(client)가 센서노드 주변 환경의 정보를 얻고자 할 때, 사용자가 제어 가능한 센서노드에서부터 주위의 센서노드로 ID 기반의 웨이크 업 신호를 송신한다. ID 기반의 웨이크 업 모듈은 전압 체배기(voltage multiplier), 복조기(envelope detector), 비교기

접수일자 : 2009년 09월 03일

최종완료 : 2009년 09월 22일

*국민대학교 전자공학부

교신저자, E-mail : jspark@kookmin.ac.kr

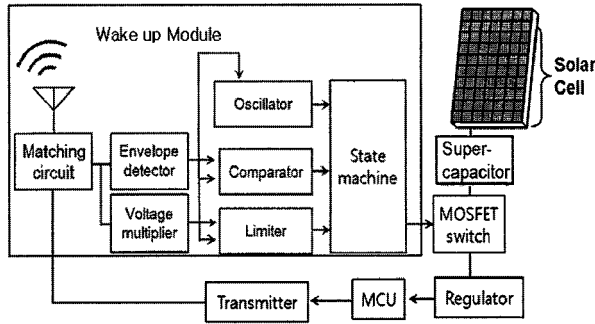


그림 1. WBAN/USN 센서노드 구조도
Fig. 1. WBAN/USN sensor node block diagram

(comparator) 상태기계(state-machine)로 구성된다. 싱크 노드로부터 입력되는 RF 신호만으로 전압 체배기에서 상태 기계를 동작시키는 전압을 체배하고, 복조기에서는 입력 신호로부터 상태 기계가 해당 ID 유무를 판단할 수 있도록 데이터를 복조한다. 복조된 ID 신호를 받은 비교기는 데이터와 기준전압을 비교하여 디지털 신호로 바꾸어 주고, 상태기계는 해당 시스템 ID와 데이터를 비교 및 분석하여 시스템의 활성화 여부를 결정하게 된다.

2. 전압 체배기(Voltage Multiplier)

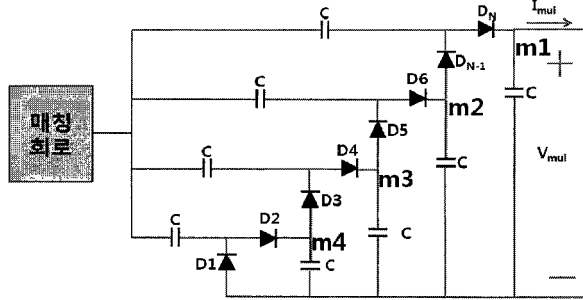


그림 2. 전압 체배기 회로도
Fig. 2. Voltage multiplier

그림 2는 전압 체배기의 회로도이다. 싱크노드에서 센서노드로 웨이크 업 신호를 보내면 센서노드의 안테나에서 그 신호를 받아 전압 체배기에서 전압을 생성하게 된다. 전압 체배기 회로는 다단의 디슨(Dickson) 구조를 사용하였다. 전압 체배기에서는 외부의 전원 공급 없이 입력되는 신호만으로 상태기계를 동작시키는 전압을 생성하게 된다. 디슨 구조의 전압 체배기 동작 원리를 살펴보면[3], $V_{in} < 0$ 일 때, D_{N-1} 이 인가되며 D_N 은 단락되고, 각 C_n 에는 단수(n) DC전압이 충전된다. 또한, $V_{in} > 0$ 일 때, D_N 이 인가되며

D_{N-1} 은 단락된다. 각 C_n 에는 단수(n) DC전압이 충전됨을 알 수 있다.

$$V_{cn} = n(V_{in} - V_d) \quad (1)$$

$$I_{mul}/(2\pi CV_{mul}) \ll f_o \quad (2)$$

$$V_{mul} = N(V_{in} - V_d) \quad (3)$$

$$V_d = \pm V_0 \cos(\omega_0 t) - \frac{V_{mul}}{N} \quad (4)$$

전압 체배기에서 승압되는 전압을 수식적으로 유도하여 식 (1)~(4)와 같이 각 단계별로 승압되는 전압을 계산하고 시뮬레이션을 통해 검증하였다[4].

3. 복조기와 동적 기준전압 회로

복조기에서는 수신된 아이디 신호를 복조하여 원래 신호로 추출하게 된다. 하지만 수신된 아이디 신호는 통신하는 센서노드 사이의 거리가 멀어질수록 수신 전력이 줄어들게 되는데 이는 푸리스 공식을 통하여 증명 가능하다[5].

$$P_{rec} = P_{PA} G_{TX} G_{tag} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = P_{EIRP} G_{tag} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (5)$$

P_{rec} : 수신전력, P_{PA} : 송신전력, λ : 파장
 G_{TX} : 송신 안테나 이득, G_{tag} : 수신 안테나 이득
 d : 송수신 안테나 이격 거리 P_{EIRP} : $P_{PA} \times G_{TX}$

추출된 아이디 신호는 비교기(comparator)로 입력되는데, 송수신 안테나 이격 거리에 따라 입력 파워가 변하기 때문에 고정 기준전압을 사용하여 비교기를 동작하면 수신 거리가 제한된다. 입력 파워가 기준 전압의 2배일 때 데이터 검출이

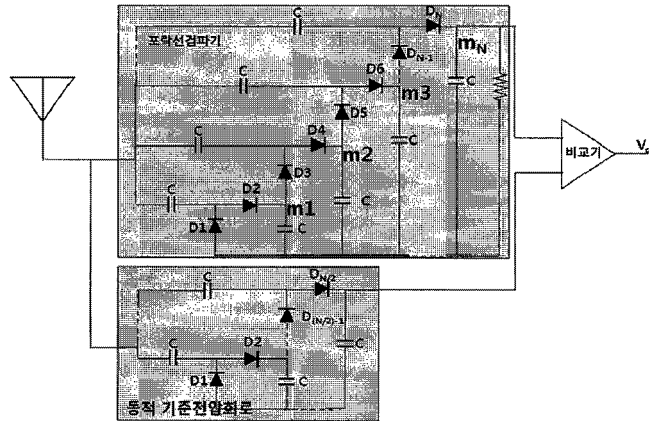


그림 3. 설계된 복조기와 동적 기준전압 회로의 회로도
Fig. 3. Designed envelope detector & dynamic reference voltage circuit

되어 거리에 따라 고정 기준전압을 바꿔야 하는 문제점이 있다. 본 논문에서 제안한 동적 기준전압회로는 거리에 따라 항상 포락선검파기의 체배 전압의 1/2 전압만큼 체배한다. 전압 체배기와 포락선검파기는 덕슨 구조로 구현하여 거리에 따라 입력 파위가 달라지더라도 체배되는 전압의 크기는 같은 비율로 커지거나 줄어들게 된다. 그림 3는 설계한 복조기와 동적 기준전압 회로의 회로도이다.

4. 상태기계

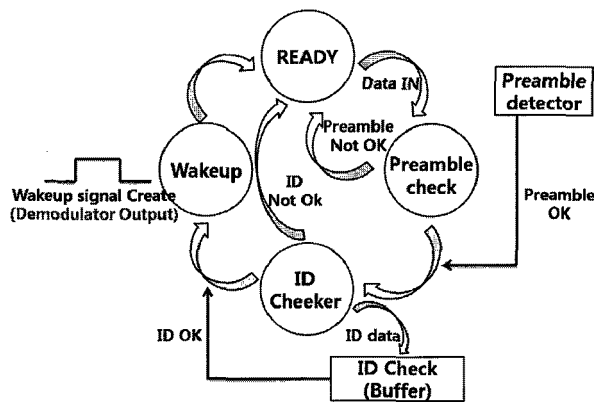


그림 4. 상태기계 동작 흐름도
Fig. 4. State-Machine flow chart

복조기로부터 데이터를 받은 상태기계는 그림 4에서와 같은 방법으로 복조된 신호를 체크하여 그 신호가 웨이크 업 신호인지 아닌지를 판단한다. 웨이크 업 신호일 경우 스위치를 트리거 하여 전압을 공급하도록 하고 그렇지 않을 경우 센서 노드의 전압 공급이 차단되는 상태를 유지한다. 결과적으로 센서 노드가 동작하지 않을 때에는 전원 공급을 차단하기 때문에 필요 없는 전력의 소모를 줄이고 센서노드의 전력을 보존함으로써 시스템의 전력을 효율적으로 사용할 수 있다.

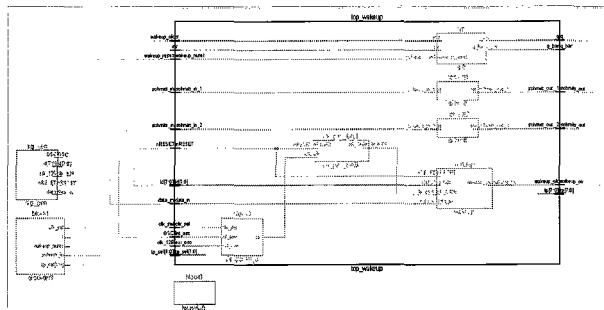


그림 5. 상태기계 회로도
Fig. 5. State-Machine schematic

III. 구현 및 측정 결과

그림 6은 복조부(전압 체배기, 복조기, 동적 기준전압회로)의 레이아웃 사진이다. 사진의 오른쪽이 전압 체배기와 동적 기준전압 회로이고, 왼쪽 아래 부분이 복조기이다.

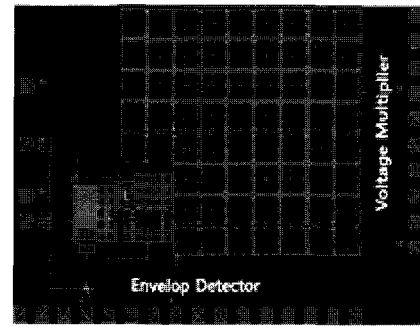


그림 6. 복조부의 레이아웃
Fig. 6. Demodulation circuit Layout

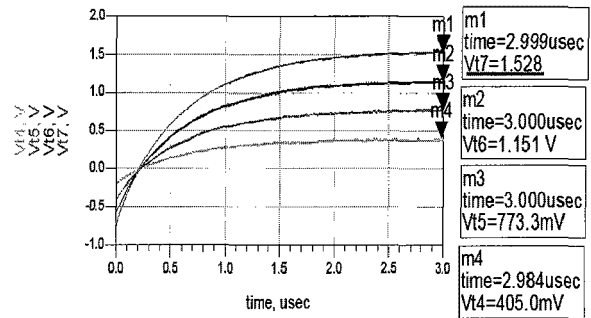


그림 7. 전압 체배기의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Voltage multiplier simulation result

그림 7은 4단 덕슨 구조의 시뮬레이션 검증 결과이다. 정현파의 입력 전압이 380mV인 경우 최종단인 m1을 보면 1.528V까지 승압됨을 확인할 수 있었다.

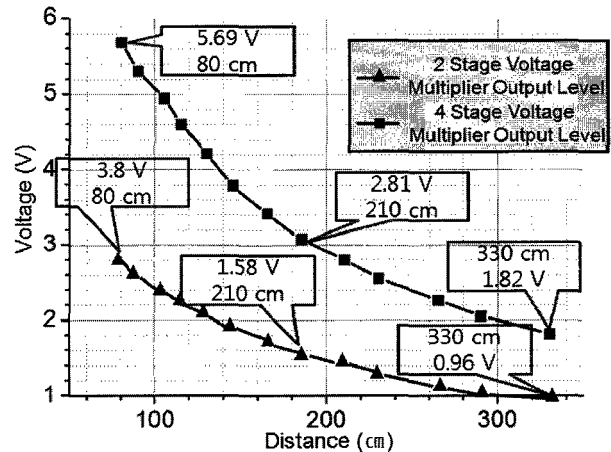
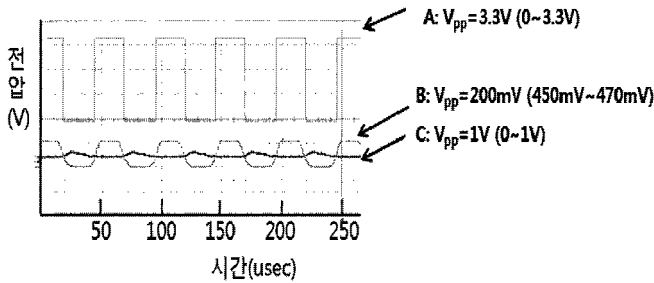
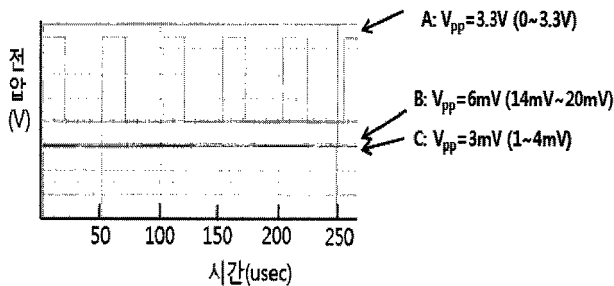


그림 8. 2단 4단 전압 체배기의 거리에 따른 출력전압
Fig. 8. Output voltage at distance of 2stage & 4stage voltage multiplier

그림 8은 시스템과 센서노드의 사이의 거리, 즉 센서노드의 안테나로 수신되는 전력이 변할 때의 결과파형을 나타낸다. 2단 전압 체배기는 동적 기준전압 회로로 쓰이고, 4단 전압 체배기는 상태기계를 동작시키는 전압으로 쓰인다.



(a) 입력 파워 : 1dBm, Input power : 1dBm



(b) 입력 파워 : -20dBm, Input power : -20dBm

그림 9. A) 비교기, B) 전압 체배기, C) 복조기 출력 파형
Fig. 9 A) Comparator, B) Voltage Multiplier, C) Envelope Detector output result

그림 9는 비교기, 전압 체배기 및 복조기의 측정결과이다. 측정결과를 표 1로 정리하였다.

그림 10은 센서노드의 웨이크 업 모듈 출력 파형이다. A)는 비교기로 출력되는 파형, B)는 전압 체배기의 출력 파형, C)는 복조기의 출력파형, D)는 상태기계의 출력파형이다. 수신된 웨이크 업 신호를 복조하여 상태기계로 전송하면 상태기계는 복조된 아이디와 센서노드의 아이디를 비교하여 일치할 때 300usec의 펄스형태의 파형을 출력한다.

표 1. 거리별 입력 파워에 따른 복조회로 출력
Table 1. Input power at distance of envelope detector

거리	입력파워 (dBm)	복조기(V)	Duty(%)
0.8m	7	3.15-0.62	68
0.9m	6	2.68-0.46	65
1.6m	2	1.39-0.2	56
2m	-3	0.54-0.04	49
3.5m	-8	0.16-0.01	46
5m	-13	0.048-0.009	46
8.5m	-18	0.010-0.001	41
10m	-20	0.004-0.001	40

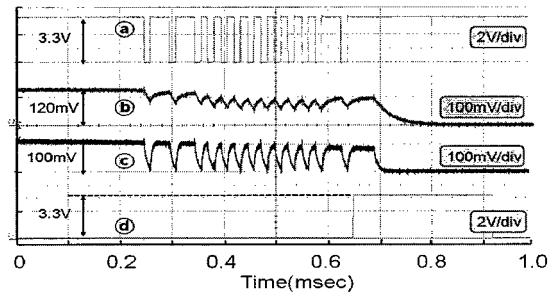


그림 10 웨이크업 모듈의 측정 결과 A)비교기, B)전압 체배기, C)복조기 D) 상태기계 출력 파형
Fig. 10. Wake up module test result A) Comparator, B) Voltage Multiplier, C) Envelope Detector D) State machine output result

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 무선 센서노드용 동적 기준전압 방식의 복조회로는 고정적인 기준전압을 유동적인 기준전압으로 바꾸어 사용했다. 고정적인 기준전압일 때에는 수신되는 전력 크기에 따라 예상되는 기준전압 회로를 구현해야 하지만, 유동적인 기준전압은 수신되는 전력 크기에 상관없이 동작 가능하다. 이에 따라 고정적인 기준전압을 사용하여 근거리용 센서노드와 원거리용 센서노드로 구분되어 구현하는 것에 비해 유동적인 기준전압을 사용하여 모든 센서노드가 근거리부터 원거리까지 유동적으로 사용될 수 있게 하였다. 게다가 입력 파워가 -20dBm일 때에도 복조가 가능하여 포락선검파기의 최대 체배 전압이 20mV이더라도 복조가 가능하다. 이 복조회로는 진폭변조의 사용에 유리한 시스템에 적용 가능하고, 이는 센서노드의 인식거리 확대에 활용할 수 있다. 그리고 센서들의 필요 없는 전력 소모 문제를 해결하기 위해 ID 기반의 웨이크 업 모듈을 사용함으로써 기존의 센서노드보다 적은 전력을 이용하여 동작이 가능하다. 또한 센서 간의 데이터 충돌을 방지하였고, 필요한 위치의 센서노드만을 동작시킬 수 있어 센서노드가 사용하는 전력을 최소화 했다. 웨이크 업 모듈의 SoC화를 통한 소형화 및 에너지의 효율적인 사용이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F-050-02, 자기유지 WBAN/USN용 u-Scavenging 기술개발]

[참고 문헌]

- [1] 이성협, 윤양문, 김도현, "IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내의 표준화 동향", 한국통신학회지, 제25권 제2호, pp. 11-17, 2008년 2월.
- [2] E. M. Yeatman, "Advances in power sources for wireless sensor nodes," in *Proceeding of the International Workshop on Body Sensor Networks*, pp. 20-21, April, 2004.
- [3] M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online] Available: [http://www.ctan.org/texarchive/](http://www.ctan.org/texarchive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran/)
- [4] J. F. Dickson, "On-chip high-voltage generation in MNOS integrated circuits using an improved voltage multiplier technique," in *IEEE Journal of Solid-State Circuit*, vol. 11, no. 11, pp. 374-378, 1976.
- [5] Rongsawat, T. Kittipong, and Apinunt, "Ultra low power analog front-end for UHF RFID transponder," in *International Symposium on Communications and Informations Technologies*, pp. 1195-1198, 2006.
- [6] J. S. Seybold, *Introduction to RF Propagation*, John Wiley&Sons Inc., 2005.

Biography



김 종 홍
 2008년 국민대학교 전자공학과 졸업
 2008년~현재 국민대학교 전자공학과(석사과정)
 <관심분야> 자기유지 시스템, RFID/USN
 RFIC, MMIC, u-scavenging,
 <e-mail> kjkh58@naver.com



황 지 훈
 2008년 국민대학교 전자공학과 졸업
 2008년~현재 : 국민대학교 전자공학과(석사과정)
 <관심분야> RFIC, MMIC, u-scavenging,
 USN, 자기유지 시스템,
 무선전력전송 시스템

<e-mail> jihunhwang@gmail.com



박 준 석
 1991년 국민대학교 전자공학과(공학사)
 1993년 국민대학교 전자공학과(공학석사)
 1996년 국민대학교 전자공학과(공학박사)
 2003년 ~ 현재 국민대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> RFIC, USN/WBAN용 자기유지 시스템,
 무선전력전송, 에너지 획득기술, u-City

<e-mail> jspark@kookmin.ac.kr



성 영 락
 1989년 한양대학교 전자공학과 졸업
 1901년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
 (공학석사)
 1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
 (공학박사)

1995년~1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 위촉연구원
 1996년~현재 국민대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 센서네트워크, RFID, 이산사건시스템 모델링 및 시뮬레이션

<e-mail> yeong@kookmin.ac.kr



오 하 령
 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업
 1988년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
 (공학석사)
 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
 (공학박사)

1992년~현재 국민대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 센서네트워크, RFID, 내장형시스템

<e-mail> hroh@kookmin.ac.kr