

## 저 전력 패시브 트랜스폰더의 설계 및 분석

김광수<sup>o</sup>, 김종범, 이준구, 진인수, 양경록, 김양모  
 충남대학교 전기공학과

### Performance analysis and design of the passive low power transponder

Kwang-Soo Kim<sup>o</sup>, Jong-Bum Kim, Jun-Gu Lee, In-Su Jin, Kyung-Rok Yang, Yang-Mo Kim  
 Dept. Electrical Eng. Chungnam National Univ.

**Abstract** - A passive RF transponder incorporating a non volatile memory element is powered by inductive coupling to a proximately located RF reader and communicates with reader. In this study, we designed and analyzed the passive RF transponder which is operated at 134kHz.

#### 1. 서 론

트랜스폰더 시스템이란 사람, 자동차, 화물, 가축등과 같은 개체에 식별가능한 정보를 부가하는 시스템을 말한다. 부가정보를 어떤 통신매체를 이용하여 비접촉으로 해독함으로써 종래의 사람의 손에 의지하고 있던 각종 애플리케이션을 자동화할 수 있다. 일반적인 RF 트랜스폰더 시스템은 기지국과 트랜스폰더로 구성된다. 기지국은 트랜스폰더에 에너지와 데이터를 전달하기 위해 RF 필드를 만들어주며 트랜스폰더에 READ 또는 WRITE 명령을 보내고 트랜스폰더로부터의 응답 시그널을 읽는 장치이다. 트랜스폰더는 액티브 시스템과 패시브 시스템으로 분류되어진다. 액티브 트랜스폰더 시스템은 먼거리와 복잡한 데이터 처리를 요하는 곳에 많이 사용되어지며 안테나와 내부 전원, RF 전송기, 칩으로 구성되어진다. 내부 전원은 일반적으로 리튬-이온 전지를 사용하거나 태양전지를 사용하기도 한다. 액티브 트랜스폰더는 패시브 트랜스폰더와 같이 기지국에서 발생시킨 RF 필드 내에서 데이터를 송수신하지만 RF 필드에서 에너지를 얻지는 않으므로 데이터 처리속도나 전송거리등에서 장점이 있다. 패시브 트랜스폰더는 기지국이 만든 RF 필드를 통과할 때 트랜스폰더의 코일에 유기된 에너지가 정류회로를 거쳐 저장용 커패시터에 저장되며 이것은 트랜스폰더의 칩을 구동시키기 위한 에너지원으로 사용되어진다. 이런 패시브 트랜스폰더는 기지국으로부터 에너지를 받고 내장된 데이터를 전송하기 때문에 데이터 처리 시간이 비교적 길고 에너지를 얻기 위해 기지국과의 통신거리가 짧아야 한다는 단점이 있다. 하지만 사용기간이 반 영구적이라는 데에 장점이 있다.

이런 패시브 트랜스폰더는 국내(서울)에서도 1990년 후반에 교통 시스템에 사용되어지기 시작했다<sup>[7]</sup>. 현재 사용되고 있는 예는 버스 시스템과 지하철 시스템에 응용되고 있다. 하지만 두 가지 시스템에 사용되고 있는 방법이 약간 다르다. 버스에 사용되는 시스템은 pre-payment 방식을 사용하며 반면에 지하철에 사용되는 시스템은 post-payment 방식을 사용한다. 두 가지 payment 방법은 각각 장단점이 있다. pre-payment 방법은 개인 신상 정보를 노출시키지 않는다는 장점이 있는 반면 후에 재충전시켜야 한다는 단점이 있다. 반면 post-payment 방법은 신용카드와 같이 사용되어지는 장점이 있지만 분실시 개인의 신상정보가 노출되는 단점이

어 치명적이다. 현재는 pre-payment 방식으로 통합하려는 추세이다<sup>[7]</sup>. 본 논문에서는 pre-payment 형태의 패시브 트랜스폰더를 설계하고 분석하고자 한다.

#### 2. 패시브 트랜스폰더 시스템

패시브 트랜스폰더 시스템의 구조를 보면 그림 1 과 같이 기지국과 트랜스폰더로 구성된다. <sup>[1][6]</sup> 액티브 트랜스폰더 시스템과 달리 기지국에서는 에너지와 데이터를 보내주어야 한다.

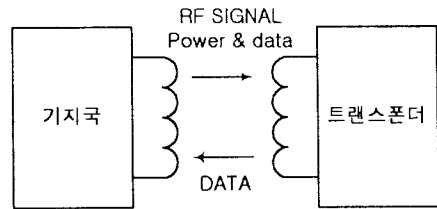


그림 1 패시브 트랜스폰더 시스템 블록도

##### 2.1 패시브 트랜스폰더

본 논문에서 제시되는 패시브 트랜스폰더는 다음과 같은 사양을 갖는다.

1. 수신 캐리어 주파수 : 134kHz
2. 송신 캐리어 주파수 : 67kHz
3. 수신 변조방식(기지국 -> 트랜스폰더) : FSK
4. 송신 변조방식(트랜스폰더 -> 기지국) : PSK
5. 사용목적 : 지하철 출개찰 시스템
6. 메모리 : FRAM(Ferroelectric RAM)
7. 메모리 크기 : 512×8bit
8. 송수신 거리 : 대략 50cm

#### 3. 패시브 트랜스폰더의 설계 및 분석

패시브 트랜스폰더는 그림 2에서 보여지듯 이 크게 안테나(A/B)와 전력 모듈(P/M), 변복조 모듈(D/M, M/M), 메모리(ME/B)로 구성된다. 안테나는 기지국과의 트랜스폰더사이의 인터페이스역할을 하며 전력 모듈은 RF 신호를 받아 트랜스폰더의 에너지원을 만들어주는 블록이다. 변복조블록은 수신되는 데이터 시그널을 변조하여 데이터를 얻고 트랜스폰더에 저장되어 있는 데이터를 복조하여 기지국에 전송하는 블록이며 메모리 블록은 트랜스폰더에 데이터를 저장할 때 필요한 블록이다.

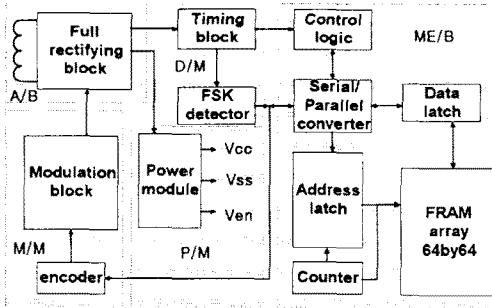


그림 2 패시브 트랜스폰더 블록도

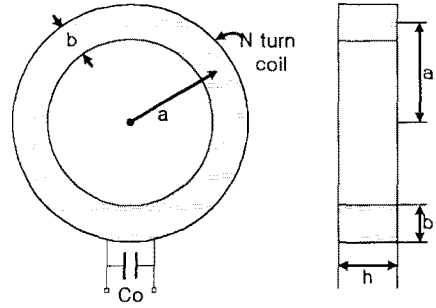


그림 4 패시브 트랜스폰더 안테나 설계도

그림 4의 안테나의 인덕턴스는 다음과 같이 계산될 수 있다. [5]

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} [\mu H]$$

설계한 안테나의 규격은 다음과 같이 N=200[turn], a=2.54cm, b=0.5cm, h=0.05cm이다.며 동선의 두께는 skin effect를 고려하여  $\phi=0.4mm(134kHz)$  이상의 동선을 선택하였다.

### 3.3 전력 모듈

전력 모듈은 기지국으로부터 전송되는 RF 신호를 정류하고 커패시터에 에너지를 저장하여 트랜스폰더 칩에 DC 전압을 공급해주는 모듈이다. 그림 5와 같이 전력 모듈은 Clamping block, Power enable block으로 구성되며 Clamping block은 수신되는 전압을 5~6V로 일정하게 유지시켜주고 Power enable block은 커패시터에 일정전압 이상이 충전되었을 때 회로에 전압을 인가하는 블록이다.

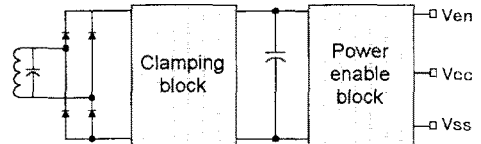


그림 5 전력 모듈 블록도

### 3.4 변복조 블록

기지국에서 전송되는 신호를 검출하고 트랜스폰더의 데이터를 기지국으로 전송하는데 필요한 블록이다.

#### 3.4.1 복조 블록

기지국에서 FSK 변조방식으로 데이터를 전송하기 때문에 트랜스폰더의 수신 단에는 FSK를 검출할 수 있는 블록이 필요하다. 일반적으로 FSK 검출기는 PLL 구조를 사용하지만 패시브 트랜스폰더의 경우는 집적화 문제나 전력 소모 면에서 바람직하지 않다. 그림 6은 PLL구조를 사용하지 않고 FSK 데이터를 검출할 수 있는 회로이다. 제시된 그림 6에서 알 수 있듯이 FSK 검출기는 펄스 발생기와 주파수 편이 검출 회로로 구성된다. 데이터는 주파수 편이가 발생할 때마다 검출된다.

#### 3.4.2 변조 블록

기지국에서 트랜스폰더에 요청한 데이터를 기지국에 전송하기 위한 블록으로 메모리에서 출력되는 데이터

## 3.1 안테나 설계

패시브 트랜스폰더에서 안테나 코일은 기지국에서 전송되는 시그널을 수신 받고 트랜스폰더 데이터를 기지국에 전송하기 위해 필요하다. VLF(100kHz~500kHz) 대역에서는 한 파장이 대략 2.24Km(134kHz)이다. 따라서 실제 안테나를 트랜스폰더 내부에 사용하는 것은 불가능하며 안테나는 코일을 감은 루프 안테나를 사용하여야 한다. 다음 그림3은 기지국안테나와 트랜스폰더 안테나의 관계를 보여준다.

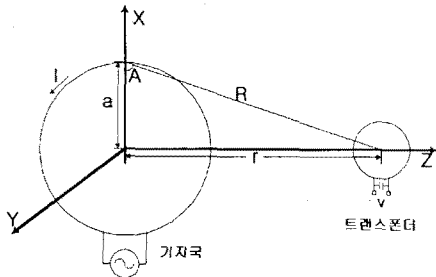


그림 3 기지국과 트랜스폰더 안테나의 관계

그림 3과 같이 기지국과 트랜스폰더 안테나와의 관계는 다음과 같은 수식으로 표현되어진다.

$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}$$

이 수식에서 트랜스폰더에 쇄교하는 자장은 트랜스폰더 안테나의 권수비와 기지국 안테나의 면적에 비례함을 알 수 있고 일반적인 경우  $r^2 \gg a^2$  이므로 트랜스폰더에 쇄교하는 자장의 크기가 기지국과의 거리  $r^3$ 에 반비례함을 알 수 있다. 이 조건을 감안한 트랜스폰더와 기지국간의 통신거리는 50cm~1m이다. 트랜스폰더에 유기되는 전압은 faraday 법칙에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos A$$

N : 트랜스폰더 안테나의 권수비

Q : 트랜스폰더 안테나의 Q

S : 트랜스폰더 안테나의 면적

A : 쇄교하는 자속과 트랜스폰더 안테나의 각

트랜스폰더의 안테나는 L=4.2mH, C=330pF이며 안테나의 설계도는 다음 그림 4와 같다.

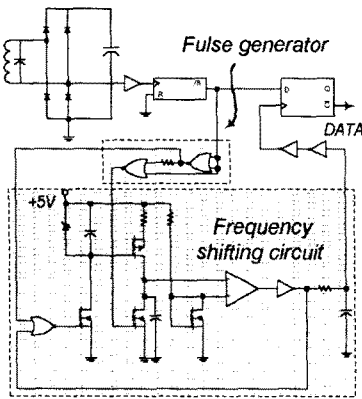


그림 6 FSK 검출기

(NRZ)를 Manchester encoding을 하여 안테나를 통해 PSK(Backscattering) 방식으로 전송한다. Backscattering 방식은 안테나코일에 병렬로 트랜지스터를 연결하고 인코딩된 시그널로 트랜지스터를 On/off시켜 트랜스폰더 안테나 임피던스를 변화시킨다. 따라서 기지국은 전달되는 신호의 크기의 변화를 감지하여 데이터를 검출하는 방법이다.

### 3.5 메모리

트랜스폰더내부에는 데이터를 저장해야하는 메모리가 필요하다. 과거 패시브 트랜스폰더에는 메모리로 EEPROM(Electrical Erasable and Programmable Read Only Memory)을 사용하였다. 하지만 EEPROM의 단점으로 지적되는 소모전력, 데이터처리속도 등의 문제로 패시브 트랜스폰더에 적용하기에 문제점이 있다. 본 논문에서 제시하는 트랜스폰더에는 FRAM(Ferroelectric Random Access Memory)을 사용하였다. FRAM은 일반 RAM과 달리 전원이 없는 상황에서도 ROM과 같이 데이터를 유지한다는 특징이 있으며 EEPROM과 FRAM의 비교를 보면 다음과 같다.

표 1 FRAM과 EEPROM의 비교

	FRAM	EEPROM
Power(active)	150 $\mu$ A	1mA
Write time	수백 ns	5ms
Data retention	10년	100년

### 4. 시뮬레이션 및 실험 결과

위에서 논의되었던 블록 중 FSK 검출기에 대한 시뮬레이션 파형과 실험 결과들을 보면 다음과 같다.

그림 7은 FSK 검출기에 대한 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 첫 번째 plot에 나타나있는 파형이 안테나에 입력되는 FSK파형이며 134kHz(logic 1)와 125kHz(logic 0)의 주파수를 갖는다. 두 번째 plot에는 로직 high, low의 주파수 편이에 따른 데이터 출력을 보여준다. 마지막 plot에서는 펄스 발생기와 주파수 편이 검출 회로에서의 파형을 보여준다. 시뮬레이션에서 알 수 있듯이 FSK 검출기로부터 주파수가 천이할 때 다음 클럭에서 데이터가 검출됨을 알 수 있다. 그림 8은 FSK 검출기에서 주파수 천이에 따른 실험 파형이다. 실험 결과 전체 FSK 검출기에서 소모되는 전력은 대략 0.9mW를 소모하였다.

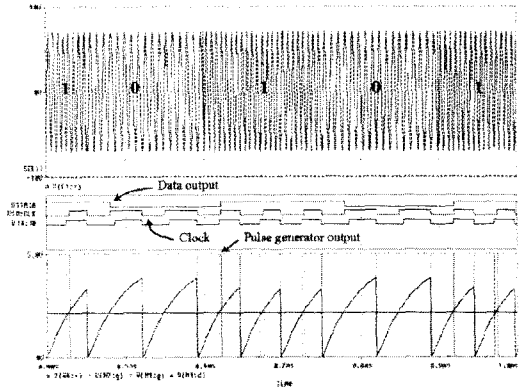


그림 7 FSK 검출기 시뮬레이션 파형

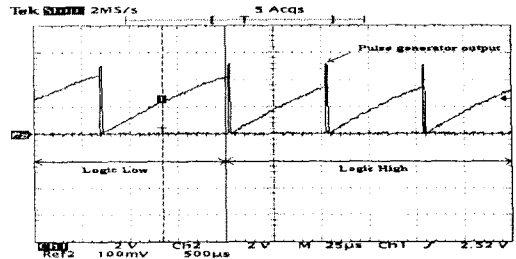


그림 9 FSK 주파수편이 회로 실험 파형

### 5. 결론

패시브 트랜스폰더는 기지국의 RF 필드로부터 에너지를 얻기 때문에 전체적으로 저 전력으로 설계되어야 한다. 따라서 트랜스폰더에 대부분의 소자를 CMOS로 구현하였으며 소모 전력은 동작 시 전력 모듈에서 4.7mW, 메모리에서 0.75mW, 변복조 모듈에서 1mW로 전체 트랜스폰더에서 소모되는 전력은 6.45mW이다.

본 논문에서는 pre-payment 방식의 저 전력 패시브 트랜스폰더에 대해서 논의하였고 분석해보았으며 FSK 검출기에 대한 시뮬레이션과 실험 파형을 실었다.

본연구는 MICROS(KOSEF)의 지원하에 수행되었음.

### (참고 문헌)

- (1) Transponder devices, Patents: US 4,724,427, Feb.9, 1998.
- (2) Baker, Li, Boyce, "CMOS circuit design, layout, and simulation" IEEE PRESS, pp.313-326.
- (3) Remotely interrogated transponder, Patents: US 4,786,903, Nov.22, 1988.
- (4) Fredrick W. Grover, "Inductance Calculations" Dover publication, New York, 1946.
- (5) Keith Henry, "Radio Engineering Handbook", McGraw-Hill, 1963.
- (6) U. Kaiser and W. Steinhagen, "A low power transponder IC for high performance identification systems" Proc. CICC 1994, May 1994, pp. 14.4.1-14.4.4.
- (7) Chang K Kim and Seung B Ahn, "Public Transport Fare Integration with Smart Cards in Seoul" PA19990156022.