

한국 고속 철도에서의 열차 검지 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Train Detection for the Korea High Speed Line

엄정규* 조용기** 김치조** 한재문*
Um, Jung Kyou Cho, Yong Gi Kim, Chi Jo Han, Jae Moon

ABSTRACT

In this paper, an AF track circuit receiver which is using DSP technique is designed and tested in the Lab. and field. The receiver detects of a train and operates the track relay to inform this occupation to ground equipments. Basic algorithms, digital filters, FM demodulation and DFT are simulated by computer and applied to the receiver. The test of receiver is processed under the LAB condition and the field. Results of the test shows that the response time is less than 500ms. This paper presents that the receiver has good maintenance and less variation of device characteristics and is applicable to the Korea High Speed Line.

1. 서론

열차의 검지는 열차 안전 운행을 위한 가장 기본적인 수단이다. 열차를 정확히 검지함으로써 열차의 위치를 파악하여 선행 및 후행 열차간의 운행 간격을 조절하여 열차의 추돌 및 과속을 방지할 수 있다. 일반적으로 열차의 검지를 위하여 레일을 이용한 전기 회로, 즉 궤도 회로를 구성하여 열차의 해당 궤도 진입 시 레일이 열차의 차륜에 의하여 단락되었을 때, 레일로 전송하고 있는 신호 레벨이 급감함을 검지함으로써 열차의 진입을 알린다. 이러한 궤도 회로에는 고압 저주파수 임펄스 형태의 신호를 전송하는 임펄스 궤도회로, DC 신호를 전송하는 DC 궤도 회로, AC 110 V 등 AC 신호를 전송하는 AC 궤도 회로 등이 있다. 한편, 한국 고속 전철에서는 신호 정보 전송도 가능한 형태의 가청 주파수(Audio Frequency, 이하 AF) 궤도 회로를 사용하고 있다. 현재 한국 고속 전철에서 사용하는 AF 궤도회로 수신기는 4가지 반송 주파수에 따른 4 종류의 수신기를 사용한다. 궤도회로 수신기는 다음과 같은 기능을 수행한다.

- 단락 검지를 위한 임계값 검사(200 mV 동작, 160 mV 낙하)
- 25.68 Hz 의 점유 정보 신호 검지 기능

즉, 계전기를 동작시키기 위해서는 레일이 단락되지 않고 항상 25.68 Hz 의 주파수 신호를 검출해야 한다. 만일 둘 중에 하나라도 만족하지 못하면 계전기는 낙하하고, 열차가 점유되었음을 알린다.[1, 2]

Fig. 1 에 기존의 AF 궤도회로 수신기의 블럭도를 보인다.

* LS산전 중앙연구소 주임연구원, 정회원

** LS산전 중앙연구소 책임연구원, 정회원

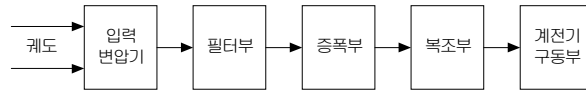


Fig. 1 Analog Track Circuit Receiver

Fig. 1 의 기존 회로로 수신기는 변압기, 필터부, 증폭부, 복조부, 그리고 계전기 구동부를 모두 아날로그 소자를 이용하여 제작함에 따라 필터 및 복조가 아날로그 부품의 특성에 좌우되어 유지 보수를 통한 지속적인 튜닝을 수행해야만 하였다.

본 논문에서는 디지털 신호처리를 이용한 AF 회로로 수신기를 제안한다. 본 논문에서 제안한 AF 회로로 수신기는 디지털 소자를 이용하여 제작하였고, 디지털 필터, 디지털 FM 복조, DFT 등 디지털 신호처리를 이용하여 레일의 단락 및 점유 정보 검출을 통한 열차의 점유를 검지한다. 한편, 실제 수신기 제작 이전에 Matlab을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 구현 가능성을 검토한다.

2. 본문

한국 고속 전철 AF 회로에서는 차상으로 전송하고자 하는 신호를 2040 Hz, 2400 Hz, 2760 Hz, 3120 Hz 의 4개 반송파 주파수 신호를 사용하여 FM 변조하여 전송한다. FM 변조한 신호는 총 28 bit의 비트열이고, 그 중 최상위 비트가 열차 점유 정보에 해당하며 25.68 Hz 의 주파수를 사용한다.[1,2,3] 반송파 검출을 위한 디지털 필터, FM 복조를 위한 알고리즘, 25.68 Hz 의 점유 정보 신호를 검지하기 위한 DFT (Discrete-time Fourier Transform)등의 디지털 신호처리 기법을 적용하여 수신기를 설계하였다. 소프트웨어 플로는 Fig. 2 와 같다. 먼저 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위하여 샘플링을 수행하고, 해당하는 반송파 신호만을 검출하기 위하여 밴드패스필터링 한다. 반송파 신호의 레벨 값을 검출하여 레일의 단락 여부를 조사하고, FM 복조, DFT 과정을 거쳐 점유 정보 신호를 추출한다.

기존 수신기의 반응 속도는 500 ms 이하로써 제안한 수신기가 이를 만족하기 위하여 샘플링에서부터 계전기 동작 신호 출력까지가 500 ms 이하여야 한다. 실제 시험을 통하여 제안한 수신기의 동작 시간이 500 ms 이내임을 보인다.

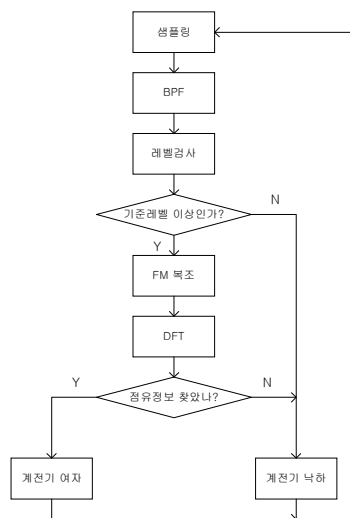


Fig. 2 Software Flow

2.1 디지털 필터

디지털 필터는 반송파 검출 및 반송파의 레벨을 검출하기 위하여 수행한다. 본 논문에서는 반송파 검

출을 위하여 버터워스 타입의 IIR 밴드패스필터를 사용하였다. IIR 필터는 FIR 필터에 비하여 적은 차수로 보다 예리한 필터 특성을 얻을 수 있다. 한편, 버터워스 타입의 필터는 다른 필터에 비하여 평탄한 대역통과 특성을 갖는다.[4,5] 필터 설계를 위하여 Matlab 소프트웨어를 사용하였고 일예로 중심 주파수 2040 Hz 를 통과시키는 필터의 주파수 응답 특성을 Fig. 3 에 보인다. Fig. 3 과 같은 특성을 갖으며 중심 주파수가 각각 2040 Hz, 2400 Hz, 2760 Hz, 3120 Hz 의 밴드패스필터를 사용하여 해당 신호를 필터링 한다. 반송파의 레벨을 검출하기 위하여 로우패스필터를 사용하였다. Fig. 4 는 로우패스필터의 주파수 응답을 보인다. 이와 같이 구한 레벨값을 기준값과 비교하여 레일의 단락 여부를 검사한다.

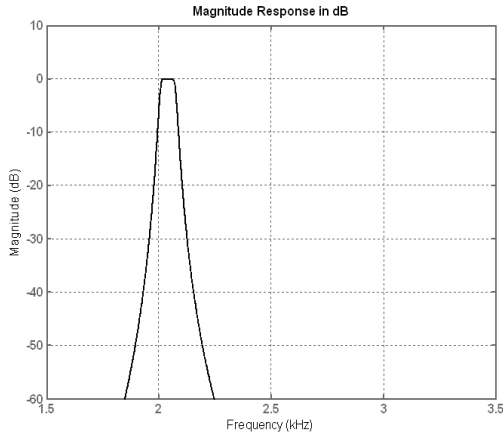


Fig. 3 Frequency Response of Band Pass Filter

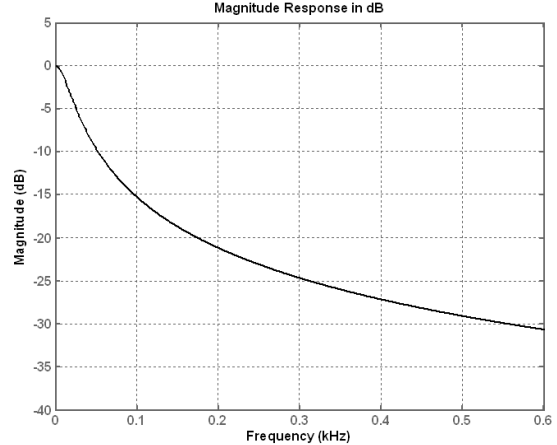


Fig. 4 Frequency Response of Low Pass Filter

2.2 FM 복조

한국 고속 전철에서 차량의 속도 제어에 필요한 정보는 FM(Frequency Modulation) 변조 기술을 통해 레일로 전송한다. FM 변조함에 따라 여타 잡음으로부터 전송 신호를 보호할 수 있다. FM 변조 식(1) 과 같이 정의된다.

$$s(t) = A \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi k \int_0^t m(\tau) d\tau\right) \quad \text{----- 식 (1)}$$

여기서 $m(\tau)$ 가 실제 전송할 신호이며 반송파의 주파수 편이와 전송할 신호 $m(\tau)$ 가 비례할 때 FM 변조라 한다. 변조된 신호 $s(t)$ 는 $m(\tau)$ 에 따라 순시 주파수 $\frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi(t)}{dt}$ (여기서, $\Phi(t)$ 는 $2\pi f_c t + 2\pi k \int_0^t m(\tau) d\tau$) 가 편이를 일으키며 $s(t)$ 의 순시 주기를 검측하여 $m(\tau)$ 를 복조 하게 된다.[6]

Fig 5 는 FM 변조되어 전송된 신호이고, Fig 6은 이를 복조한 신호이다.

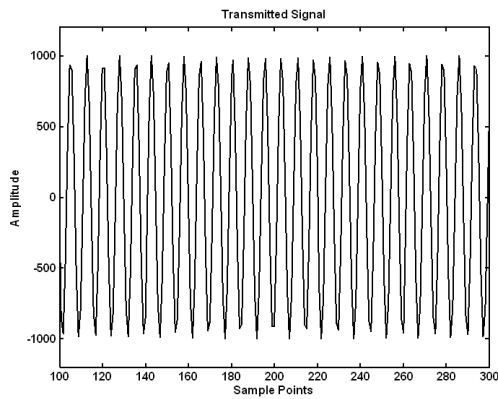


Fig. 5 Transmitted Signal

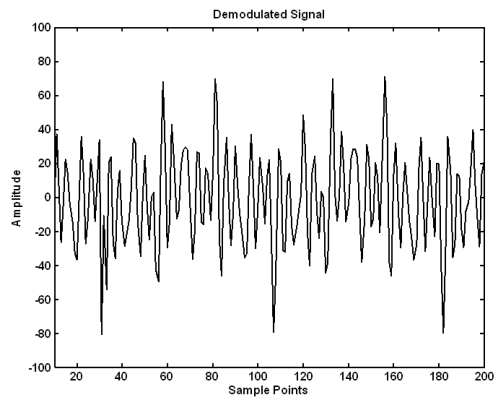


Fig. 6 Demodulated Signal

2.3 DFT

DFT 는 이산 시간 신호에 대한 푸리에 변환을 제공하는 것으로 복조된 신호의 주파수 스펙트럼을 분석하기 위하여 사용한다. 즉, 25.68 Hz 성분의 유무를 조사하게 되는데 DFT 식 (6) 과 같이 정의된다.[4,5]

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j2\pi nk/N} \quad \text{식 (2)}$$

복조한 신호를 Matlab을 이용하여 DFT한 결과를 그림에 보인다. Fig. 7 에서 다른 주파수 성분은 열차 속도제어를 위한 정보이고 25.68 Hz 가 점유 정보를 나타낸다. 따라서 25.68 Hz 성분의 유무를 검출하여 계전기 작동을 결정한다.

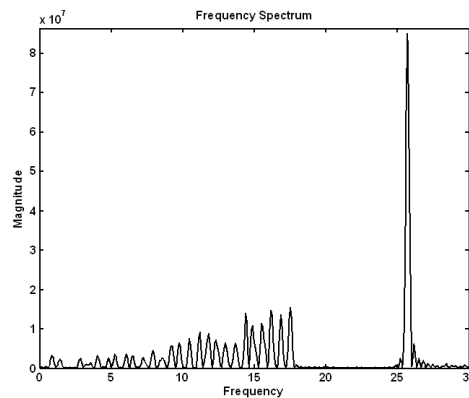


Fig. 7 Frequency Spectrum Analysis

2.4 수신기 설계 및 시험

본 논문에서 설계한 AF 케도회로 수신기의 블럭도는 Fig. 8 와 같다. 변압부는 임피던스 매칭 및 입력 신호의 레벨을 조정하기 위한 아날로그 회로이다. 수신기는 계전기 여자 전압을 $205 \text{ mV} \pm 5 \text{ mV}$, 계전기 낙하 전압을 $175 \text{ mV} \pm 5 \text{ mV}$ 로 일정하게 조정하게 된다. 한편 Filter는 전원잡음 및 기타 잡음을 제거하기 위한 고역통과 필터이고 ADC (Analog-Digital Converter) 는 아날로그 신호를 디지털로 변환한다. DSP 프로세서는 TI 社의 DSP 전용 프로세서인 TMS320C32-50MHz 를 사용하였다. DSP 프로세서는 디지털 필터링, FM 복조, 그리고 DFT 등 디지털 신호처리를 수행한다.

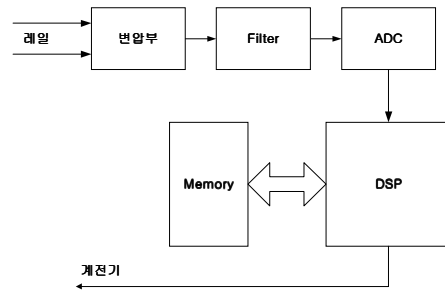


Fig. 8 Block Diagram

Fig. 9 는 실제 설계, 제작한 AF 레도회로 수신기이다.

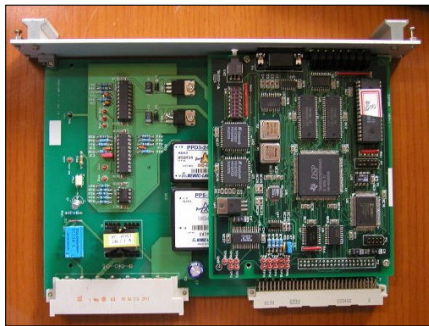


Fig. 9 Real Receiver

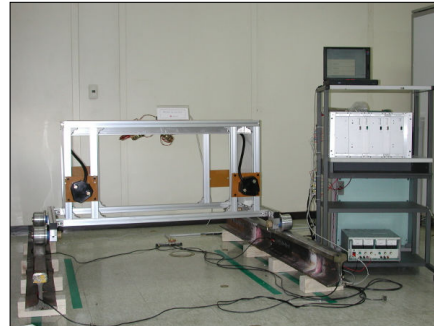


Fig. 10 Test Environment

Fig. 10 은 수신기 실험을 위한 실험 환경이다. 그림에서 보듯이 레일, 열차 역할을 수행하는 지그, 그리고 송수신기를 설치하여 열차의 점유를 시험하였다. Fig. 11 는 하나의 실험 예로써 열차가 점유되어 계전기가 동작하기까지의 시간을 오실로스코프를 이용하여 측정한 그림이다. 이는 수신기의 샘플링에서부터 계전기 동작 신호 출력까지의 시간과 동일하다. 그림에서 보듯이 수신기의 반응 시간이 278 ms 로써 기존의 수신기의 동작 조건인 500 ms 를 만족하고 있다

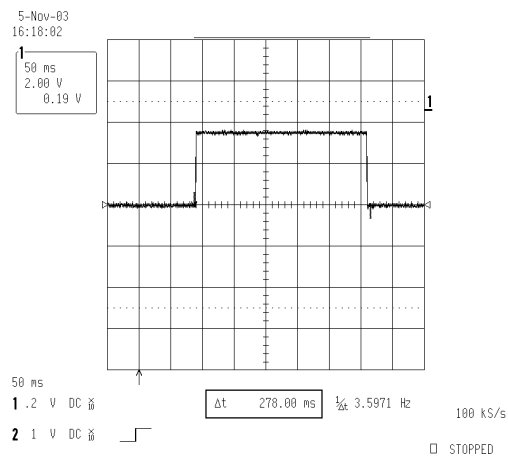


Fig. 11 Response Time of the Receiver

3. 결론

본 논문에서 제안하고 설계, 제작한 한국 고속전철 AF 궤도회로 수신기는 디지털 신호처리에 의하여 열차의 점유 여부를 결정한다. 열차의 운행 환경을 실험 장치로 구성하여 열차가 점유 시에 계전기 동작까지의 반응 속도가 500 ms 이내 임을 보여 주었고, 또한 현장에서 실제 한국 고속 전철에서 사용하는 궤도회로를 설치하여 시험을 수행하여 동일한 결과를 얻었다. 기존의 아날로그 회로 기반의 수신기의 단점인 아날로그 부품의 특성에 따른 점유 감도, 필터, 복조 특성 변화의 문제점을 해결할 수 있음을 제시하였다. 본 논문에서 제안하고 설계한 AF 궤도회로 수신기는 기존의 AF 궤도회로 수신기를 대신하여 유지보수가 더욱 용이하고 성능 변화가 없는 궤도회로 수신기로 상용화할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 박재영, 홍원식, 전병록, "철도신호공학", 동일출판사, 2001
2. 김영태, "신호제어시스템", 테크미디어, 2003
3. 조용기, 한재준외, "열차제어장치개발", 건설교통부, 과학기술부, 산업자원부, 2002
4. James H. McClellan, Ronald W. Schafer, Mark A. Yoder, "DSP FIRST, A Multimedia Approach", Prentice Hall, 1998
5. Vinay K. Ingle, John G. Proakis, "MATLAB을 이용한 디지털 신호처리", 시그마프레스, 1998
6. 진녕강, "아날로그와 디지털 통신", 청문각, 1996
7. The Mathworks, "MATLAB, The Language of Technical Computing", The Mathworks, 2002
8. Texas Instruments, "TMS320C3x User's Guide", Texas Instruments, 1997