

고속선 연속정보 메시지 및 레벨 측정을 위한 차상신호 검측장치 설계

A Design Of The Measuring System on On Board for Continuous Signal in High Speed Line

임정규*, 임재식**, 김치조***, 조용기**** 유광근*****

Jung-Kyou Um, Jae-Sick Lim, Chi-Jo Kim, Yong-Gee Cho Kwang-Kyun Yoo

ABSTRACT

A speed of a train is controlled by Automatic Train Control system and the continuous transmission system provide the speed related information in the Korean High Speed Line. The primary objective of this paper is to measure the level of continuous signal and to calculate the message of that signal. A measuring equipment is introduced and the equipment provide the base line of the level of current and the correction information of the message.

1. 서론

본 논문은 철도의 고속, 고밀도 운행 및 고속철도의 300Km/h 속도로 주행하는데 필요한 고속 선상의 케이블로의 연속정보를 차량에서 안테나를 통해 지상 신호시스템의 메시지 및 레벨을 정확하게 검측함으로서 차상신호 설비의 기능 이상 유무를 초기에 발견하여 유지보수의 효율성을 극대화하는 검측시스템에 관련한 내용이다.

* 정회원, LG산전 중앙연구소, 주임연구원

** 정회원, LG산전 중앙연구소, 센터연구원

*** 정회원, LG산전 중앙연구소, 책임연구원

**** 정회원, LG산전 중앙연구소, 책임연구원

***** 정회원, 경도대학, 교수

2. 연속정보 메시지 검출 개요

2.1 연속 정보 복조 원리

28개의 VLF 주파수 신호가 합성된 신호를 가장 주파수 대역의 반송파 신호로 FM 변조한 연속 정보 신호는 반송파 신호의 검출, FM 복조, DFT 를 이용한 VLF 주파수 신호 검출을 통하여 복조하게 된다.

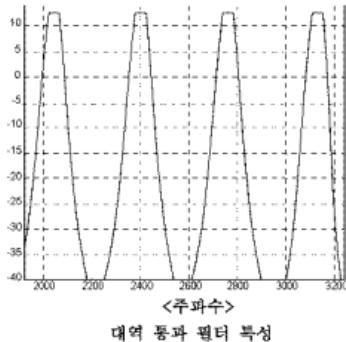
2.2 반송파 검출

연속 정보 신호는 4개의 반송파 신호를 사용한다. 각각 2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz이며 각 해도마다 하나의 반송파를 사용한다. 따라서, 차상 연속 수신기에서는 4개의 반송파 중 현재 원자가 점유하고 있는 해도 회로의 반송파를 검출해야만 한다. 반송파 검출을 위해서 디지털 대역 등과 필터를 사용한다.

대역 통과 필터는 특정 대역의 주파수만을 통과시키는 필터로써, 네개의 반송파 주파수를 중심 주파수로 하는 대역 통과 필터를 사용한다. 일반적인 디지털 필터의 식은 아래와 같다.

$$y[n] = b_0*x[n] + b_1*x[n-1] + \dots + b_K*x[n-K] - a_1*y[n-1] - \dots - a_K*y[n-K]$$

이와 같은 식은 차분 방정식이라 하며, 상기 식에서 필터의 계수, 즉 $b_0, b_1, \dots, b_K, a_1, \dots, a_K$ 의 값에 따라 필터의 특성이 결정된다. 따라서, 상기 식에서 필터의 계수를 조정함에 따라 대역 통과 필터의 통과 대역을 변경할 수 있다. 다음은 연속 메시지 검출장치에서 사용하는 대역 통과 필터의 주파수 특성 그레프이다.



위와 같은 디지털 대역 통과 필터를 사용하여 가장 크기가 큰 반송파를 편제 해도 회로의 반송파로 검출한다.

2.3 FM 복조

FM 변조된 신호의 식은 다음과 같다.

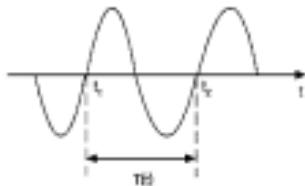
$$s(t) = A_0 \cos(2\pi f_c t + 2\pi k \int_{t_1}^t m(\tau) d\tau)$$

변조된 신호 $s(t)$ 는 $m(t)$ 에 따라 순시 주파수

$$\frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$\phi(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k \int_{t_1}^t m(\tau) d\tau \quad \text{가}$$

(여기서, 전자를 이용하여 $s(t)$ 의 순시 주기를 계산하여 $M(t)$ 를 복조하게 된다.



순시 주기의 발생

위 그림에서 t1과 t2에서 $s(t)$ 가 0과 하변, t2-t1은 그 순간에 순시 주기가 된다. t1과 t2에서 $\Phi(t)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$2\pi f_c t_1 + 2\pi k \int_{t_1}^{t_2} m(\tau) d\tau = 2\pi k \quad \dots \dots \dots$$

$$2\pi f_c t_2 + 2\pi k \int_{t_1}^{t_2} m(\tau) d\tau = 2\pi(k+1) \quad \dots \dots \dots$$

식 a에서 식 b를 빼고 항변을 t2 - t1로 나누어 주면

$$f_c + \frac{k}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} m(\tau) d\tau = \frac{1}{t_2 - t_1}$$

와 같다.

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} m(\tau) d\tau = \frac{1}{f_2 - f_1}$$

는 t1, t2 중간 $m(\tau)$ 의 평균값이므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$km_{av} = \frac{1}{T_d} \int_{t_1}^{t_2} m(\tau) d\tau$$

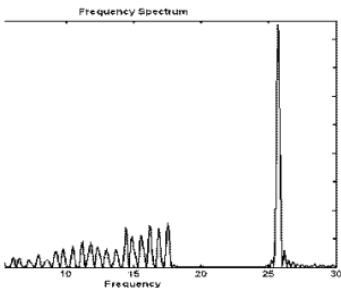
즉, 순시 주기를 구하면 순시 주기 동안의 평균값을 구할 수 있음을 알 수 있다. 반송파 신호에 대해서 예시지 신호는 매우 낮은 주파수 신호이므로 반송파에 대해서 그 변화가 매우 느리다. 따라서, 순시 주기 동안의 평균값을 사용해도 무방하다.

2.4 DFT

DFT는 이런 시간 신호에 대한 무리해 변환을 제공하는 것으로 복조된 신호의 주파수 스펙트럼을 분석하기 위하여 사용한다. 즉, 각 VLF 주파수 신호의 존재 유무 조사하게 되는데 DFT 다음 식과 같이 정의된다.

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

아래 그림은 임의의 VLF 주파수 신호 합성을 FM 변조한 신호를 FM 복조한 후 DFT 한 결과를 보인다.



DFT 하여 크기값을 구한 결과

3. 연속정보 메시지 검출 하드웨어

3.1 개요

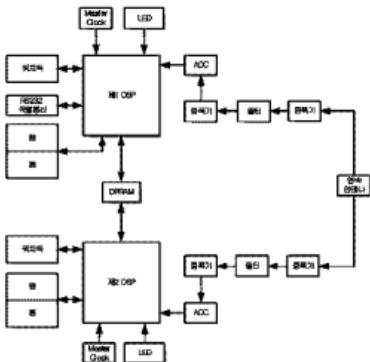
연속 메시지 검출장치는 검출액에 위치하며, 체도회로에 의해 공급된 연속 정보신호를 추출하는 역할을 한다. 열자 측 앞에 설치된 2대의 연속신호 안테나에 의해 수집된 신호는 증폭 및 필터링을 통한 후 디지털 데이터로 변환 되기 위해 AD 컨버터를 통과한다. ADC와 신호 처리를 담당하는 DSP는 직렬통신으로 데이터를 전달한다. 본 장치에서는 신속한 연속정보 처리를 위하여 같은 보드 내에 2개의 DSP를 이용하여 반송과 검출과 메시지 복조를 분리 처리한다. 열자의 전, 후방 검출액에 설치된 연속 메시지 검출장치는 광통신을 이용한 시리얼 통신을 통해 총괄제어장치와 통신한다.

3.2 하드웨어 구성

1) 전체 블락도

안테나가 취득한 연속 정보 신호는 그 크기가 실효값 10mV 내외의 매우 작은 신호이다. 따라서 아날로그 신호처리를 통하여 증폭하고 원하지 않는 신호를 제거하기 위하여 웰터링하는 과정이 필요하다. 이렇게 증폭하고 잡음을 제거한 신호를 디지털 신호처리하기 위하여 아날로그-디지털 변환을 수행한다. 제 1 DSP 프로세서는 디지털로 변환된 연속 정보 신호를 디지털 신호처리 기법으로 처리하여 최종적으로 연속 메시지를 추출하고 시리얼 통신(RS232C) 방식으로 총괄제어장치로 전송한다. 한편, 제 2 DSP 프로세서는 제 1 DSP 프로세서의 입력단과 동일한 증폭, 필터링, 아날로그-디지털 변환 과정을 거친 후, 디지털 신호처리 기법으로 반송과 주파수를 검출한다.

검출한 반송파 정보를 DPRAM에 써 넣으면 제 1 DSP 프로세서가 주기적으로 DPRAM을 읽어서 반송파 정보를 읽어가게 된다. DSP 프로세서가 프로그램을 수행하기 위해서는 메모리 소자가 필요하다. 물론 전원 공급이 없을 시에도 그 내용을 보존하고 있는 메모리 소자이고, 램은 전원 공급이 차단되면 그 내용이 모두 지워지는 메모리 소자이다. 따라서, 램에는 DSP 프로세서가 수행할 프로그램을 저장해 두어 전원 공급과 동시에 DSP가 수행하도록 하며, 웹에는 DSP 프로세서가 프로그램을 수행하면서 발생하는 각종 데이터를 저장하는 용도로 사용하게 된다. 한편, 위치복은 DSP 프로세서의 상태를 감시하여 일정 시간동안 DSP 프로세서가 반응이 없으면 절체 장치를 초기화함으로써 장치의 신뢰성을 향상한다. 연속 메시지 검출장치의 전체 구성을 아래 블록도와 같다.



전체 블록도

2) 상세 사양

연속 메시지 검출장치의 상세한 사양은 다음과 같다.

a. 제 1 DSP

제 1 DSP는 주 신호처리를 수행한다. 제 2 DSP로부터 수신한 반송파 정보를 바탕으로 28bits의 연속 메시지 정보를 추출하여 시리얼 통신을 통하여 풍ellan에 장치로 전송한다. DSP는 Texas Instrument 사의 TMS320C32-50MHz 보드를 사용한다. TMS320C32는 32비트의 무동 소수점 DSP로서 50ns의 사이클 시간, 40MFLOP를 가진다.

b. 제 2 DSP

제 2 DSP는 반송파 검출을 수행한다. DSP 사양은 제 1 DSP 와 동일하다.

c. 종복부

차상 연속 수신 안테나로부터 수신된 전압은 10mVrms 대의 이므로 디지털 신호처리를 위하여 증폭을 한다.

d. HIGH-PASS FILTER

안테나를 통해 수신된 신호는 잡음성분을 많이 포함하고 있기 때문에 필터링을 수행한다. 아날로그 필터는 HIGH-PASS FILTER와 ALIASING현상을 없애기 위해 ANTI-ALIASING FILTER를 사용한다.

e. ADC

안테나에 수신된 아날로그신호를 디지털신호로 변환한다.

f. Watdog timer

DSP가 워치독 타이머 주기마다 워치독을 리셋해주지 않으면 워치독에 의해 DSP 칩은 리셋되어 처음부터 프로그램이 수행된다.

g. DPRAM(Dual Port RAM)

이중 포트 램은 제 1 DSP 프로세서와 제 2 DSP 프로세서간의 통신을 위하여 사용한다.

h. RS232 포트

복조된 메시지를 CPU에 전송하기 위해 RS232 포트를 설치한다.

i. LED

LED는 차상 연속 수신기의 현재 상태를 표시하며 아래 그림에 보인다.

4. 연속정보 메시지 검측 소프트웨어

연속 메시지 검측장치의 Software에 대하여 설명한다.

4.1 제 1 DSP Software

제 1 DSP 는 제 2 DSP로부터 읽어들인 반송파 정보를 바탕으로 하여 연속 메시지 복조를 수행하며 그 동작은 다음과 같다.

1) DPRAM 읽기

제 2 DSP가 반송파를 검출하여 DPRAM에 써 넣고 제 1 DSP가 주기적으로 DPRAM을 익세스하여 반송파 정보를 읽어가게 된다. 반송파를 확인하여 네개의 유효한 반송파 중에 하나이면 제 1 DSP 프로세서는 디지털 신호처리를 시작하게 된다.

2) AD 변환

AD 변환은 디지털신호처리를 하기 위한 가장 처음의 과정으로써 일정한 샘플링 주기로 AD 변환을 수행하며, 샘플링 주기와 샘플링 시간은 대역 통과 필터, FM 복조, DFT등 디지털 신호처리의 가장 중요한 요소로 작용한다. 샘플이 들어올 때까지 버퍼에 담아 두었다가 일정 개수가 되면 디지털 신호처리를 시작한다.

3) 연속 메시지 복조

AD 변환한 연속 정보 신호를 대역통과필터, FM 복조, DFT 연산을 수행하여 최종적으로 28bits 의 연속 메시지를 추출한다.

4) 반송파 확인

일정한 AD 변환 회수가 될 때마다 주기적으로 현재의 반송파를 확인하다. 반송파를 확인하여 반송파가 변하였거나, 반송파 검출이 되지 않았으면 모든 과정을 처음부터 다시 시작하게 된다. 즉, AD 변환 회수가 M이 될 때마다 DPRAM을 읽어서 가장 최근의 반송파 정보를 읽어 들여서 현재의 반송파와 비교하여 변화가 있다면 현재 까지의 모든 과정을 끝시하고 처음부터 실행한다. 만일 반송파 변화가 없다면 계속 진행하며, AD 변환 회수가 매번 M이 될 때마다 반송파 확인을 수행한다.

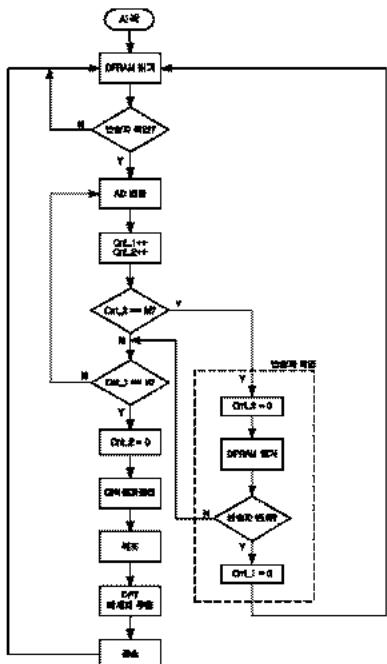
5) 제어장치로 전송

연속 메시지 추출이 끝나면 시리얼 출력을 통하여 총괄제어장치로 전송한다. 전송속도 19200bps 이고, 데이터 형식은 ASCII이며 총 14 bytes이다. 전송 포맷은 다음과 같다.

시작플래그	메시지	주파수	CRC	엔드플래그
0x2	7byte	1byte	4byte	0x3

6) 플로우차트

제 1 DSP 의 플로우차트는 다음과 같다.



제 1 DSP 플로우차트

* Cnt_1 : 복조하기 위한 샘플수 카운트

Cnt_2 : 반송파 확인을 위한 샘플수 카운트

K : 복조를 위한 샘플수

M : 반송파 확인을 위한 샘플수

4.2 제 2 DSP Software

제 1 DSP 는 제 2 DSP 로부터 읽어들인 반송파 정보를 바탕으로 하여 연속 메시지 복조를 수행하며 그 동작은 다음과 같다.

1) 반송파 검출

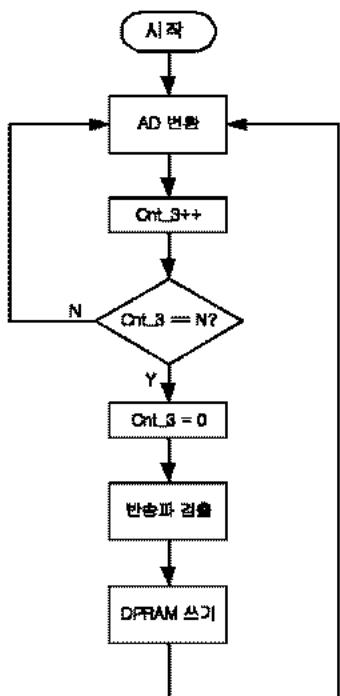
반송파를 검출하기 위해서는 네개의 주파수 2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz를 중심 주파수로 하는 디지털 대역 통과 필터를 사용한다. 필터링 한 후의 크기가 가장 큰 신호의 주파수를 반송파로 선택하는 최대값 알고리즘을 사용한다.

2) DPRAM 쓰기

제 2 DSP 프로세서는 계속해서 반송파를 검출하고 검출한 반송파를 숫자의 형태로 DPRAM 에 써 넣는다. 반송파의 종류는 4개 이므로 4종류의 숫자를 써 넣는다.

3) 플로우 차트

제 2 DSP Software의 플로우 차트는 다음과 같다.



제 2 DSP 플로우 차트

- * Cnt_3 : 반송파 검출을 위한 샘플수 카운트
- N : 반송파 검출을 위한 샘플수

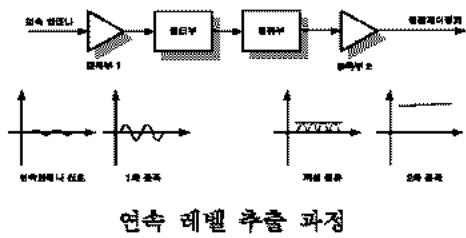
5. 연속정보 레벨 검측 개요

5.1 연속정보 레벨 추출 원리

연속 정보 신호는 2040Hz, 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz 반송파 신호로 VLF 주파수 신호를 FM 변조한 신호이다. 따라서 수신되는 연속 정보 신호는 상기 4개의 정현파 주파수 신호의 형태를 보이며 연속 레벨 검측장치는 해당하는 정현파 신호의 크기를 DC 레벨로 변환한다.

5.2 레벨값 추출

레벨값 추출을 위하여 정현파 형태의 연속 정보 신호를 정류하고 그 크기값을 추출하며 다음 그림에서 그 과정을 보인다.



연속 레벨 추출 과정

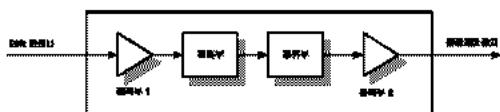
5.3 연속정보 레벨 검측 하드웨어

연속 레벨 검측장치는 페도회로에 의해 공급된 연속 정보 신호의 크기값을 추출하는 역할을 한다. 열차 측 앞에 설치된 2대의 연속신호 안테나에 의해 수집된 신호는 증폭 및 필터링을 통한 후 DC 레벨값을 구하기 위해 정류부를 통과한다. 정류되고 추가로 증폭된 연속 레벨 신호는 동축 케이블을 통하여 제어장치로 전송된다.

5.4 하드웨어 구성

1) 전체 블록도

연속 레벨 검측장치의 블록도는 다음과 같다.



연속 레벨 검측장치 블록도

2) 상세 사양

연속 레벨 검측장치의 상세한 사양은 다음과 같다.

a. 증폭부

증폭부는 연속 안테나의 신호를 증폭하기 위하여 사용하며 증폭부 1에서 10배 사전 증폭을 하고 증폭부 2에서 10배 추가 증폭을 수행한다. 증폭부에서 사용된 OPAMP는 TL074와 OP07 제품을 사용한다.

b. 필터부

연속 정보 메시지 검출장치의 필터부와 동일하다.

c. 정류부

정류부는 교류인 연속 안테나 신호의 크기를 직류레벨로 변환해 주는 역할을 수행하며 OPAMP를 이용한 정류 회로를 사용하여 가능한 리니어한 정류 특성을 갖도록 하였다.

6. 결론

본 논문에서 제안하고 설계, 제작한 고속철도 신호검출장치는 열차체어에 중요한 지상장치의 연속정보신호를 차량에서 안테나를 통해 pick-up한 신호를 메시지 및 레벨로 정확히 분석하여 지상장치의 기능 이상 유무를 사전에 발견하여 지상신호설비의 유지보수 효율화를 극대화 할 수 있게 되었다. 본 논문의 결과에 더하여 향후 고속전철 본선에서 실제 열차에 검출장치를 탑재하여 주기적인 신호검출과 분석을 통해 각종 여러 가지 경우의 현장신호 패턴을 이용한 Tuning - up 통해 더욱 신뢰성 확보가 필요하다.

참고문헌

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