

## MAGLEV 정보 송수신상의 노이즈 억제에 관한 연구

김종범<sup>o</sup>, 이준구, 박석하, 김양모  
충남대학교 전기공학과

### The Noise Suppression of Data Transmission in MAGLEV

Jong-Bum<sup>o</sup> Kim, Jun-Koo Lee, Seok-Ha Park, and Yang-Mo Kim  
Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National Univ.

**Abstract** - The transmission of information by inductive loop is required for train-safety and fast running. FSK modulation has been used for transmission of information in fast running. Transmission channel between train and ground must be protected from interference of power line. To protect transmission data from noises, the analysis on the transmission line must be performed in advance. In this paper, transmission line is analyzed in view of reflection and time delay in both noise and signal.

여기서,  $v(t)$  : 2진 FSK 파형  
 $V_c$  : 철도 복조 캐리어 진폭  
 $\omega_c$  : 라디안 캐리어 주파수  
 $v_m(t)$  : 2진 디지털 변조신호  
 $\Delta\omega$  : 라디안 출력 주파수의 변화율

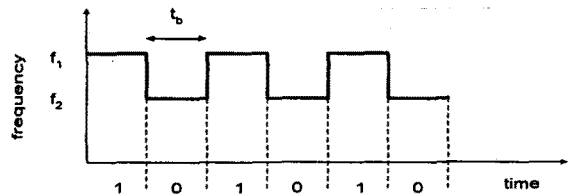


그림 1. FSK의 시간축 vs 주파수 그래프

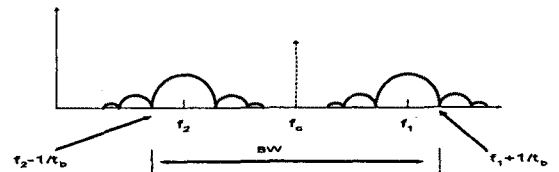


그림 2. FSK 신호의 진폭

## 1. 서론

유도무선 방식을 이용한 자기부상 열차의 지상과 차상 사이의 정보 전달은 열차의 안전운전, 고속운전 등을 위해 필수적이다. 그리고 이러한 정보 전송을 위해 FSK 변조 방법이 고속으로 운행하는 열차의 신호시스템에 주로 적용되어 왔다. 지상과 차상 사이의 전송 채널은 LIM (Linear induction motor), Inverter, Chopper 등의 간섭으로부터 데이터 오류를 충분히 줄일 수 있어야 한다.

본 논문은 현재 시험중인 자기부상 열차에서의 정보 전송의 특성을 다루고 있으며, 자기부상 열차 시스템의 지상과 차상 사이의 데이터 전송라인의 선로정수를 구하고 전송주파수 및 노이즈에 대한 해석을 함으로써 전송 품질을 향상하고자 하였다. 시뮬레이션을 통하여 이를 확인하였으며, 전송선로를 해석함으로써 전송품질이 향상될 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

FSK에서 대역폭은 식 (2-2)로 주어진다

$$BW = 2(\Delta f + \frac{1}{t_b}), \Delta f = |f_c - f_2| \quad (2-2)$$

FSK의 복조는 그림 3과 같은 Phase-locked loop 회로가 대표적으로 쓰인다. 위상 비교기에서 FSK 입력과 VCO(Voltage Controlled Oscillator) 출력을 비교해 위상 차이의 값을 전압으로 출력시킨다. 이 값은 저역필터를 거쳐 VCO로 재환된다. 위상동기가 이루어졌을 때 VCO의 출력과 FSK의 입력은 같은 주파수로 일치되고 FSK의 입력주파수에 따라 저역필터의 출력값이 변하게 되어 FSK 디지털 출력이 나오게 된다.

## 2. 전송모델의 개요

### 2.1 FSK 변조

현재 기계연구원에서 시험운행중인 자기부상열차의 데이터 송수신을 위한 변조방식으로 FSK(Frequency Shift Keying) 변조방식을 채택하였으며, 차상에서 지상으로 주파수는  $90\text{kHz} \pm 2\text{kHz}$ , 지상에서 차상으로의 주파수는  $70\text{kHz} \pm 2\text{kHz}$  이다. FSK는 디지털 신호의 0과 1을 이에 상응하는 두 개의 주파수  $f_1, f_2$ 로 변조하여 송신하고 이를 다시 디지털 신호로 복조하여 정보를 송수신하는 방법을 말한다. 이진 FSK의 일반적인 식은 식 (2-1)과 같다.

$$v(t) = V_c \cos[(\omega_c + \frac{v_m(t)\Delta\omega}{2})t] \quad (2-1)$$

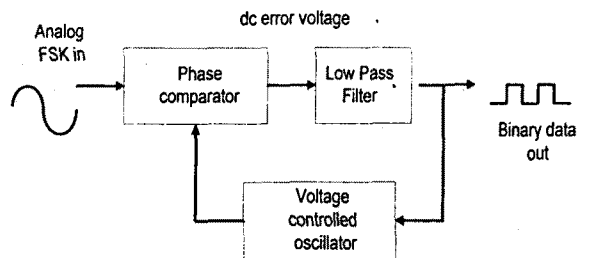


그림 3. PLL-FSK 복조기

## 2.2 해석 모델

통신시스템은 transmitter, channel, receiver 등의 세 부분으로 나눌 수 있으며, 송신기는 송신 신호의 변조와 정보의 부호화 역할을 수행하고, 통신 채널은 송신기에서 수신기까지 정보를 전달하는 기능을 행한다. 실제 시스템에서 통신 채널은 왜곡이나 원하지 않는 노이즈에 의해 영향을 받기 쉽다. 현재 자기부상열차의 통신채널은 무선 유도 루프이다. 아래 그림은 본 논문에서 적용한 전송 루프를 간단하게 나타낸 것이다. 비록 일반적인 전송 루프와 비슷하지만 지상과 차상 사이에 약 10cm 간격을 유지한 유도 무선 방식을 이용한 무선통신 공간과 transmission line assembly는 전송 선로를 포함한 것이 특징이라 할 수 있다.

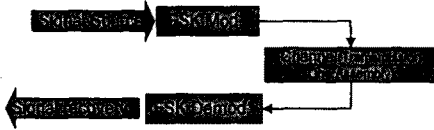


그림 4. FSK Mod/Demodulation

그림 5는 데이터 전달 특성을 해석하기 위한 모델로써 변조기에서 변조된 신호가 채널을 통하여 복조기에서 복원되기 전에 불규칙한 잡음의 발생으로 인해 데이터 오류를 일으킬 수 있다. 잡음의 원인으로 유도무선 루프는 자기부상열차와는 접촉은 없으나, 유도회로로 결합되어 있는 것으로 볼 수 있고, Power supply line, LIM (Linear induction motor), inverter, chopper 등에 의한 노이즈가 유도코일에 영향을 주게 된다. 실제의 노이즈 특성은 변조 특성, 수신기, 비트 감지를 위한 비트 오류 확률과 관계가 있다. 변조된 신호는 대역 통과 필터를 통해 Detector에 의해 신호의 복원이 이루어진다.

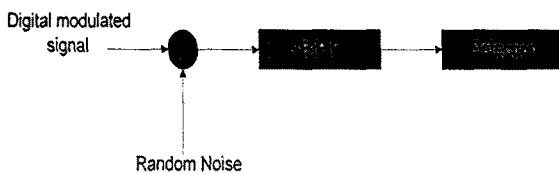


그림 5. 불규칙 잡음모델

## 2.3 전송선로

왕복도선에서의 선로정,  $\gamma$ 는 높은 주파수 대역에서는 표피효과를 고려하여 단위길이당  $R, L, G, C$  값은 다음 식 (2-3) ~ (2-6)과 같다.

$$C = \frac{\pi\epsilon}{\cosh^{-1}(D/2a)} \quad (F/m) \quad (2-3)$$

$$L = \frac{\mu}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{D}{2a}\right) \quad (H/m) \quad (2-4)$$

$$G = \frac{\pi\sigma}{\cosh^{-1}(D/2a)} \quad (S/m) \quad (2-5)$$

$$R = \frac{1}{\pi a \delta \sigma_c} \quad (\Omega/m) \quad (2-6)$$

( $\sigma_c$  = 도전도,  $a$  = 반경,  $D$  = 선간거리)

특성 임피던스는 식 (2-7)과 같이 된다.

$$Z_0 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cosh^{-1}(d/2a) \quad (2-7)$$

0 낮은 주파수 대역의 선로정수  $C$  및  $G$ 는 동일하고 표피효과를 고려하지 않은  $L, R$  값은 식 (2-8), 식 (2-9)와 같이 된다.

$$L = \frac{\mu}{\pi} \left[ \frac{1}{4} + \cosh^{-1}(d/2a) \right] \quad (2-8)$$

$$R = \frac{2}{\sigma_c \pi a^2} \quad (2-9)$$

차상 또는 지상에서 데이터 송수신 라인에 전달된 신호 및 노이즈는  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ 의 속도로 양측으로 퍼져 나간다

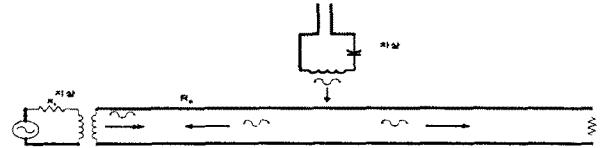


그림 6. 유도무선 루프에서의 신호 및 노이즈의 전달

## 3. Pspice를 이용한 전송모델링

지상에서 차상으로 전달하기 위한 신호는 전송라인에서 전압, 전류파로 전달되는데 차상의 안테나에서 감지하는 대부분의 신호전력은 전류에 의한 자계에 의해 전달된다. 이 때 차상에 전달되는 자계 에너지를 증가시키기 위해 전송라인 종단을 단락한 경우 끝단의 반사파에 의한 신호가 전송라인을 왕복하면서 천천히 감쇠되기 때문에 잔류파에 의한 신호의 왜곡이 생기게 된다

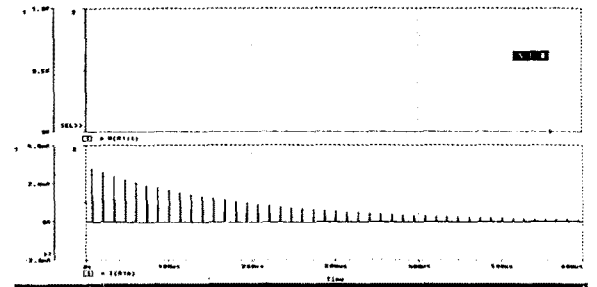


그림 7. 종단의 단락시 임펄스 전류응답

그림 7은 지상에서 내부저항  $1 \Omega, 1V$ , 폭  $1 [ns]$ 인 단일 펄스를 가하고 끝단을 단락 처리하고 종단에서 측정된 임펄스 전류응답을 시뮬레이션한 결과이다. 전류는 펄스의 형태로  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ 의 속도로 전송선 사이를 왕복하므로 차상 안테나에서는 연속된 펄스열의 형태로 나타나게 된다. 차상과 지상에서 전달된 노이즈인 경우에는 펄스형 노이즈인 경우에도 감쇠가 느리게 되면서 연속된 노이즈 형태로 되어 버린다. 이러한 반사파에 의한 노이즈 잔류 및 신호의 왜곡을 없애는 길은 종단을 특성임피던스로 매칭을 시키는데 자기부상열차 데이터 전달용 전송선로와 일반 초고주파용 전송라인의 차이점은 일반 초고주파용 전송선로에서는 임피던스 매칭의 역할이 반사파를 막아 최대전력을 부하에 공급하기 위함이다. 따라서 종단의 매칭

된 임피던스 자체가 전력을 공급받는 부하가 된다. 반면 자기부상열차용 전송선로는 열차의 이동에 따라 연속적인 데이터 송수신을 해야 함으로 전송선의 임의의 위치에서 전송라인의 자계를 검출하여야 한다. 전송선에서 전류파는 특성 임피던스에 반비례하므로 특성 임피던스를 낮추면 되는데 특성 임피던스를 줄이려면, 단위 길이당 인덕턴스를 줄이고 캐패시턴스를 늘려야 한다. 그러기 위해서는 전송라인의 간격을 줄여야 되는데 그렇게 되면 차상에 전달되는 자계의 세기가 줄어들게 되므로 최적점을 찾아야 된다. 한편 FSK 신호 주파수를 낮추어 전송선로의 길이에 비해 파장을 충분히 길게 하면 상대적인 settling 시간이 짧아지므로 전류를 특성 임피던스에 의한 매칭없이 결정할 수 있으나 펄스형 노이즈의 감쇠가 느리고 또한 캐리어 신호가 저주파가 되어야 함으로 전송할 수 있는 BPS가 적어지게 된다. 이러한 이유로 전송선로에서의 임피던스 매칭이 필요하다. 그런데 현재 기계연구원에 설치되어 있는 전송라인의 단위 길이당  $L$ 은  $2.35 \mu\text{H}$ 이고 단위 길이당 정전용량이  $4.82 \text{ pF}$ 이고  $\omega L \gg R, \omega C \gg G$ 이므로 특성 임피던스가  $698 \Omega$ 이 된다. 그림 8은 임피던스 매칭시 1V, 1 [ns] 폭을 가했을 때의 전류 파형이다. 맨위 파형은 인가 전압, 중간은 입력단 전류, 아래는 전송선 끝단의 전류파형이다.

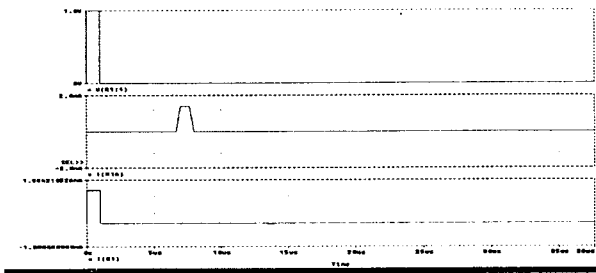


그림 8. 임피던스 매칭시의 전류 응답

그림 8에서 보면 전송시간 지연 만큼 펄스파가 지연이 될 뿐 반사파에 의한 2차 3차 펄스는 나타나지 않는다. 그림 9은 종단을 단락 처리한 상태에서 1V, 내부저항  $1 \Omega$ , FSK 90  $\pm$  2 kHz의 신호를 가했을 때의 원신호와 전류의 Fourier 전폭 스펙트럼이다. 인가신호보다 신호가 많이 왜곡되어 있음을 알 수 있다.

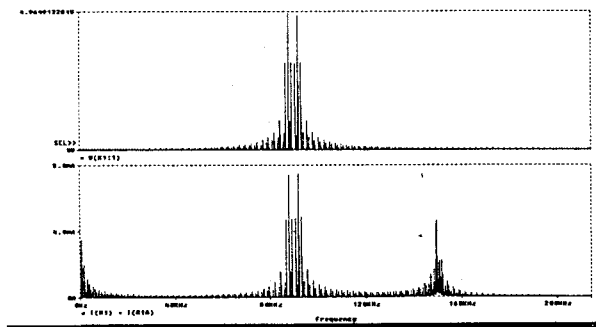


그림 9. 종단 단락시 FSK 신호와 전송선에서의 전류 스펙트럼

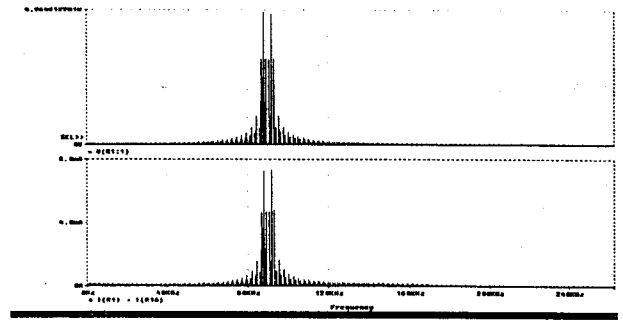


그림 10. 임피던스 매칭시의 신호 및 전송선의 전류 스펙트럼

그림 10은 특성 임피던스와 동일 저항으로 매칭시킨 경우인데 매칭시키지 않을 때보다 신호의 왜곡이 많이 줄어들었음을 볼 수 있다.

#### 4. 결과 및 고찰

지금까지 간략하게 살펴본 바에 의하면 임피던스 매칭을 시키지 않으면 노이즈가 전송선에서 감쇠가 쉽게 되지 않고 전송신호도 반사파에 의해 노이즈로 작용하게 됨을 알 수 있다. 전송신호 지연에 의한 노이즈는 신호 주파수와 동일하기 때문에 대역통과필터로 걸러지지 않는다. 이는 TV 수신상에 반사파에 의한 ghost 현상과 같은 원리이며 신호파의 파장에 비해 전송선로가 충분히 짧지 않을 때 대책을 세워야 된다. 앞으로 자기부상열차가 실용화되기 위해서는 빠르고 다량의 정보전송이 요구될 것이 분명하고 그러기 위해서는 전송신호의 반송주파수가 높아져야 한다. 그러므로 신호를 오류없이 전달하고 노이즈에 강한 전송선로에 관한 체계적인 연구가 더욱 필요하게 될 것이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 鄭慧善 譯, "노이즈 防止와 對策", 성안당, pp. 129-152, 1990.
- [2] Tomasi. Hill, "Electronic communications system", Prentice Hall, pp. 431-439, 1998.
- [3] Hayt, "Electromagnetics", McGraw-Hill, pp. 376-392.
- [4] 박정수, "열차제어를 위한 신호통신 system 구축", 충남대학교 석사학위 논문, pp. 11-23, 1998.2.
- [5] 한국기계연구원 "도시형 자기부상열차 개발사업보고서", 과학기술처, 1994.