

論 文

디지털 진폭-주파수 변조 시스템의 특성

正會員 洪 鉉 成\* 正會員 南 浩 法\*\* 正會員 趙 成 俊\*\*\*

Performances of Digital Amplitude-Frequency Modulation System

Hyun Sung HONG\*, Ho Bub NAM\*\* and Sung Joon CHO\*\*\*, Regular Members

**要 約** 무선 채널에서의 데이터 전송은 주로 간섭과 랜덤 잡음에 의해 영향을 받는다. 디지털 통신 시스템은 일반적인 백색 가우시안 잡음보다 임펄스성 잡음에 의한 영향이 크다. 본 논문에서는 전자간섭(EMI: electromagnetic interference) 환경, 특히 임펄스성 잡음 환경에서의 혼합 디지털 진폭-주파수 변조방식의 성능을 효율의 측면에서 究明하였다.

**ABSTRACT** The data transmission in radio channel is mainly influenced by interferer and random noise. The increasing man-made impulsive noise environment has the necessity to consider impulsive noise than conventional white gaussian noise in digital communications. In this paper, we have investigated the error rate performances of hybrid modulation system, AFSK, which is composed of ASK and FSK in the environment of electromagnetic interference (EMI), especially impulsive noise.

1. 서 론

오늘날 급증하고 있는 통신수요로 인하여 디지털 정보의 대량전송이 필요하게 되었다. 따라서 한정된 주파수 자원을 거의 고차상태에 이르게 되었다.

그러므로 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 독립된 데이터 정보를 동일 채널을 통하여 동시에 전송하기 위하여 디지털 진폭변조(ASK) 방식과 디지털 주파수 변조(FSK) 방식을 결합시킨 혼합 디지털 진폭-주파수 변조방식을 제안한다.

또한 도시화, 산업화에 따라 증대되는 전자간섭 환경하에서 임펄스성을 띠는 인공 잡음원도 증가하게 되었다. 그러므로 인공 잡음원의 영향에 대한 연구가 필요하게 되었다.

디지털 정보전송 시스템에서 일반 백색 가우시안 잡음보다 임펄스성 잡음의 영향이 훨씬 크다는 것은 이미 알려진 사실이다<sup>1)</sup>.

그러므로 여기에서는 임펄스성의 잡음 환경하에서 혼합 디지털 진폭-주파수 변조 시스템의 성능을 효율의 측면에서 살펴 보고자 한다.

2. 임펄스성 잡음

디지털 데이터 전송 시스템에 있어서 가우시안

\*\*\*\* 韓國航空大學通信工學科  
Dept. of Telecommunication Engineering, Hankuk Aviation College, Seoul 122 Korea

\*\* 天一高等學校  
Daeil Foreign Language High School

論文番號: 84-21 (接受日: 1984. 10. 10)

성 잡음뿐만 아니라 임펄스성 잡음도 간섭과로서 존재한다. 더욱 중요한 것은 디지털 데이터의 대부분의 에러가 가우스성 잡음에 의한 것이 아니라는 것이다. 즉 전혀 다른, 임펄스성 잡음에 의해 주로 에러가 발생한다. 이들 임펄스성 잡음은 가우스 분포를 하는 열잡음과는 전혀 다른 특성을 갖는다.

임펄스성 잡음의 종류는 여러 가지가 있겠으나<sup>[2]</sup> 크게 인공잡음(man-made radio noise)과 자연잡음(natural radio noise)으로 분류되어진다.

자연잡음은 크게 대기상에서 발생하는 것과 태양에 의한 영향, 우주잡음 등으로 나눌 수 있다.

태양에 의한 것으로는 흑점변동에 의한 전리층 교란, 태양풍에 의한 지구자계변동 등이 있고 우주잡음은 우주로부터 날아오는 우주선(cosmic ray)을 들 수 있다.

그러나 무엇보다도 대기상의 잡음인 뇌방전의 영향이 가장 크며 원거리까지 미치게 되어 자연잡음의 대표적인 경우가 된다.

인공잡음은 도시화, 산업화가 점차 가속화됨에 따라 더욱 심각한 양상을 띠게 되어 점차 디지털 통신제에 큰 간섭을 주게 되었다.

대표적인 인공잡음으로는 고압선 및 전기철도에 의한 전파, 자동차의 점화잡음, ISM 전파(electromagnetic wave radiated by industrial, scientific and medical devices), 전화선 내에서의 임펄스성 잡음 등이 있다.

임펄스성 잡음의 모델로는 Middleton에 의해 유도된 잡음의 포락선에 관한 확률밀도 함수식을 이용한다<sup>[3]</sup>.

여기에서는 Middleton의 A급 임펄스성 잡음만을 다루기로 한다.

대역통과회로를 거친 임펄스성 잡음은  $N$ 과  $\xi$ 가 독립 랜덤 변수이고 각각 포락선과 위상을 나타낼 때

$$n(t) = N \cos[(\omega_c + b_k \omega) t + \xi] \quad (1)$$

로 나타내어질 수 있다.

$n(t)$ 의 순시 포락선(instantaneous envelope)의 확률밀도함수(p. d. f.: probability density function)는 다음과 같이 주어진다.

$$p. d. f(N) = \frac{e^{-A}}{W} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{N}{\sigma_n^2} \exp(-N^2/2W\sigma_n^2) \quad 0 < N < \infty \quad (2)$$

단,  $W(= \sigma_n^2 + \Omega_{2A})$ : 전체 임펄스성 잡음전력

[가우스성 잡음전력( $\sigma_n^2$ )과 비가우스성 잡음전력성분( $\Omega_{2A}$ )의 합]

$A$ : 단위 시간당 수신된 임펄스의 평균수와 버스트(burst)의 방출 지속시간과의 곱인 임펄스 지수

$N$ : 순시잡음 포락선

$I''(= \sigma_n^2/\Omega_{2A})$ : 임펄스성 잡음의 비가우스성 잡음전력성분( $\Omega_{2A}$ )에 대한 가우스성 잡음전력성분( $\sigma_n^2$ )의 비

$$\sigma_n^2 = \frac{j/A + I''}{1 + I''}$$

위상  $\xi$ 는  $0$ 과  $2\pi$  구간에서 일정하게 분포한다고 가정하면  $n(t)$ 의 위상의 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p. d. f(\xi) = \frac{1}{2\pi} \quad 0 < \xi \leq 2\pi \quad (3)$$

### 3. 혼합 디지털 진폭-주파수 시스템의 해석 모델

(1) 입력신호

혼합 디지털 진폭-주파수 변조방식은 독립된 데이터 정보를 동일 채널을 통하여 동시에 전송하기 위한 방식으로 ASK 방식과 FSK 방식을 결합시킨 방식이다.

이 신호는 다음과 같이 나타내어진다.

$$S_{AFSK}(t) = (V + \alpha V a_k) \cos[(\omega_c + b_k \omega) t + \theta] \quad (4)$$

여기에서 일반성을 잃지 않는 범위 내에서  $\theta$ 를  $0$ 으로 가정한다. 또한  $\alpha$ 는  $1$ 로 하여 해석하였다.

이 신호는

$$S_{ASK}(t) = \alpha V a_k \cos(\omega_c + b_k \omega) t \quad (5)$$

와

$$S_{FSK}(t) = V \cos(\omega_c + b_k \omega) t \quad (6)$$

인 각각 독립된 정보원에 의한 변조신호의 합으로 생각할 수 있다.

여기서 해석의 편의상

$a_k$ 는 단류형 부호( $0, 1$ )로,

$b_k$ 는 복류형 부호( $-1, 1$ )로 가정하였다.

그림 1은 혼합 디지털 진폭-주파수 변조방식의 변·복조 블럭도 및 출력파형을 나타내고 있다.

(2) 출력신호

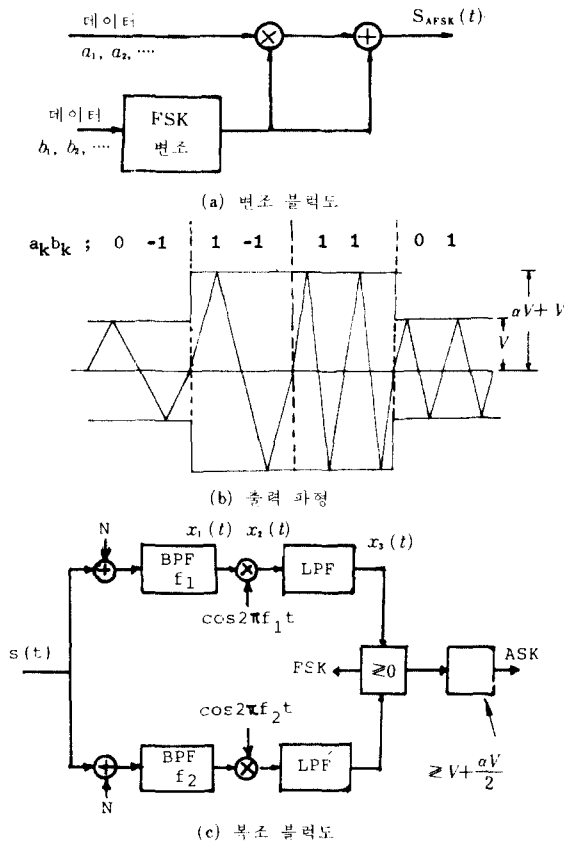


그림 1 AFSK 시스템의 변·복조 블럭도 및 피변조파형  
The modulation-demodulation block diagrams and modulated waveform of AFSK system.

그림 1 (c)의 BPF의 출력신호  $x_1(t)$ 는 다음과 같다.

$$x_1(t) = (V + aVa_k) \cos 2\pi f_1 t$$

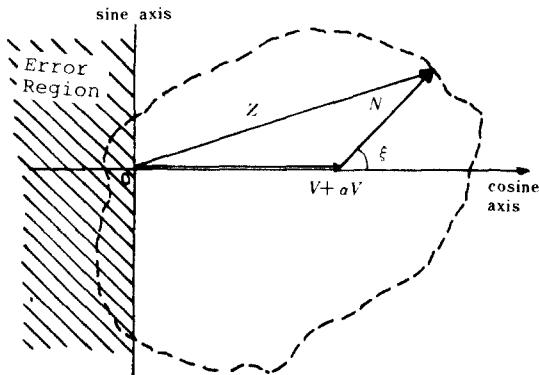


그림 2 수신 FSK 신호의 합성 케이저도 ( $a_k=1$ )  
The phasor diagram of received FSK signal ( $a_k=1$ ).

$$+ N \cos(2\pi f_1 t + \xi) \quad (7)$$

승적기 출력신호  $x_2(t)$ 는

$$x_2(t) = \frac{V + aVa_k}{2} + \frac{V + aVa_k}{2} \cos 4\pi f_1 t + N \cos(2\pi f_1 t + \xi) \cos 2\pi f_1 t \quad (8)$$

LPF를 거쳐 고조파 성분이 제거된 출력신호  $x_3(t)$ 는 다음과 같다.

$$x_3(t) = \frac{V + aVa_k}{2} + \frac{N}{2} \cos \xi \quad (9)$$

(3) 혼합 디지털 진폭-주파수 변조방식의 오율

본 절에서는 ASK와 FSK의 오율을 구하고 혼합 디지털 진폭-주파수 변조방식의 오율을 구한다.

$b_k$ 의 1과 -1의 발생확률이 등확률이라 가정하여  $b_k$ 가 1인 경우에 대하여 해석하고  $b_k$ 가 -1인 경우로 확장하여도 무방하다. 따라서 여기에서는  $b_k$ 가 1인 경우에 대하여 해석하였다.

① FSK의 오율

그림 1 (c)의 LPF출력신호가 FSK의 판정 레벨 (0)과 다음의 관계를 가질 때 FSK 신호의 에러가 발생한다.

i)  $a_k=1$ 일 때

$$\frac{N}{2} \cos \xi + \frac{V + aV}{2} < 0 \quad (10)$$

ii)  $a_k=0$ 일 때

$$\frac{N}{2} \cos \xi + \frac{V}{2} < 0 \quad (11)$$

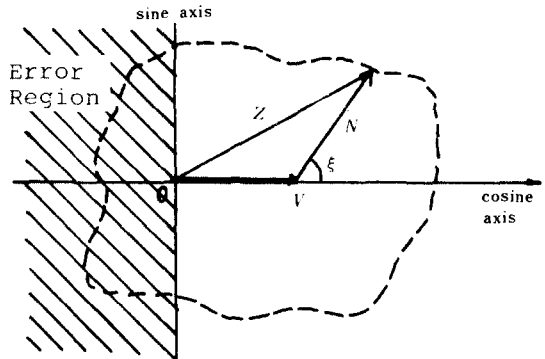


그림 3 수신 FSK 신호의 합성 케이저도 ( $a_k=0$ )  
The phasor diagram of received FSK signal ( $a_k=0$ )

그림 2와 그림 3은 이 경우의 페이저도(phasor diagram)를 나타낸 것이다.

$N \cos \xi = u$ 라고 할 때  $u$ 의 분포는 다음과 같다<sup>4)</sup>.

$$p(u) = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi u \sigma_1}} \exp\{-u^2/2u\sigma^2\} \quad (12)$$

그러므로  $a_k=1$ 일 때의 오류율은

$$P_{e|a_k=1} = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi u \sigma_1}} \int_{(V+\alpha V)}^{\infty} e^{-u^2/2u\sigma^2} du \quad (13)$$

$$P_{e|a_k=1} = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc} \left[ \frac{\sqrt{a_k}}{\sigma_1} + \frac{\sqrt{a_k}}{\sigma_1} \right] \quad (14)$$

단,  $a_k=1$ 인 FSK에 대한  $\text{CNR}(\frac{V^2}{2W})$ ,  $a_k=1$ 인 ASK에 대한  $\text{CNR}(\frac{(\alpha V)^2}{2W})$ 이다.

따라서  $a_k=0$ 일 때의 오류율은

$$P_{e|a_k=0} = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc} \left[ \frac{\sqrt{a_k}}{\sigma_1} \right] \quad (15)$$

이다.

그러므로  $a_k$ 의 0과 1이 발생할 확률이 동화됨이라 하면 전체 FSK의 오류율은 다음과 같다.

$$P_{FSK} = (P_{e|a_k=1} + P_{e|a_k=0})/2 \quad (16)$$

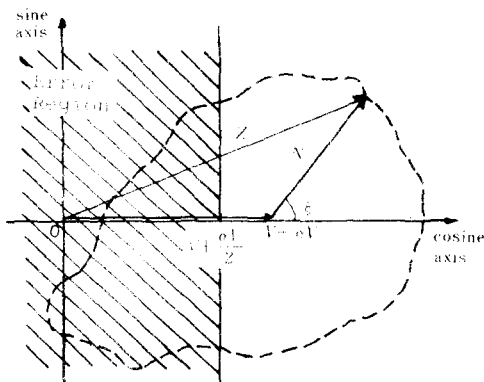


그림 4 수신 ASK 신호의 수신 페이저도 ( $a_k=1$ )  
The phasor diagram of received ASK signal( $a_k=1$ )

② ASK의 오류

그림 1(c)의 LPF 출력 신호가 ASK의 판정 레벨  $(V + \frac{\alpha V}{2})$ 과 다음의 관계를 가질 때 ASK 신호가 에러가 발생한다.

i)  $a_k=1$ 일 때

$$\frac{V}{2} \cos \xi + \frac{V + \alpha V}{2} < \frac{V + \frac{\alpha V}{2}}{2} \quad (17)$$

ii)  $a_k=0$ 일 때

$$\frac{V}{2} \cos \xi + \frac{V}{2} > \frac{V + \frac{\alpha V}{2}}{2} \quad (18)$$

그림 4는  $a_k=1$ 일 경우의 페이저도를 나타낸 것이다.

$a_k=1$ 일 때의 오류율은 다음과 같다.

$$P_{e|a_k=1} = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc} \left[ \frac{\sqrt{a_k}}{2\sigma_1} \right] \quad (19)$$

$a_k=1$ 과  $a_k=0$ 이 발생할 확률이 동화됨이라고 가정하면 다음을 얻는다.

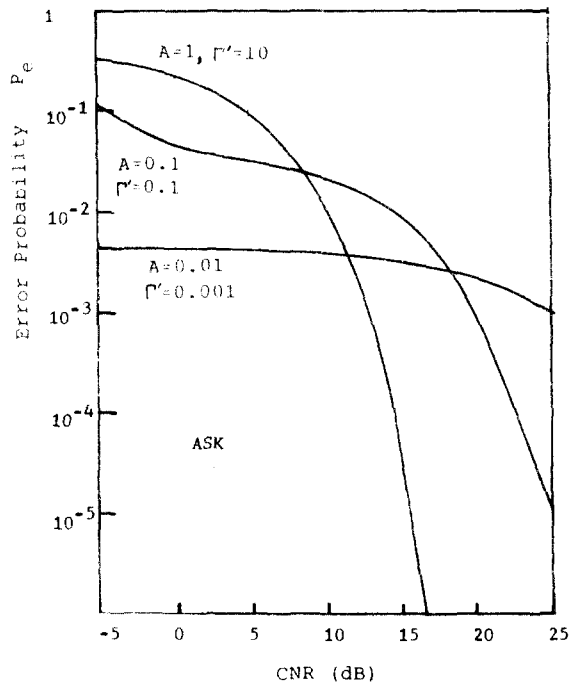


그림 5 임펄스도에 따른 ASK 신호의 오류  
The error probability of ASK signal with impulsive index.

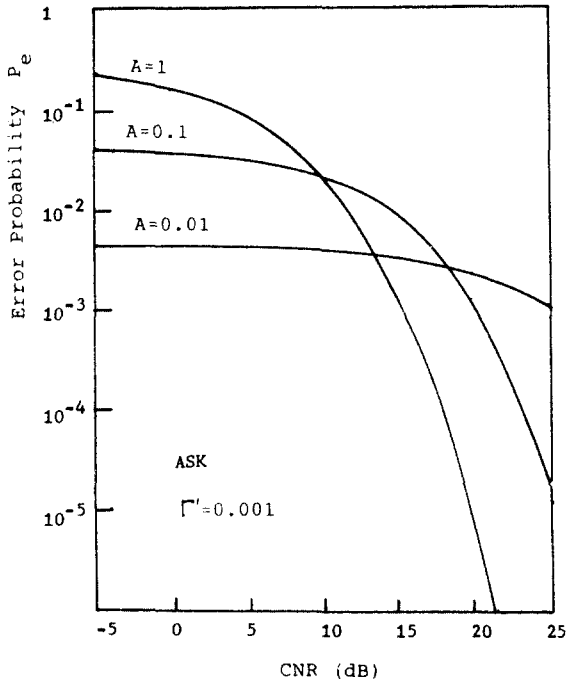


그림 6 임펄스지수 A의 변화에 따른 ASK 신호의 오류  
The error probability of ASK signal with impulsive index A.

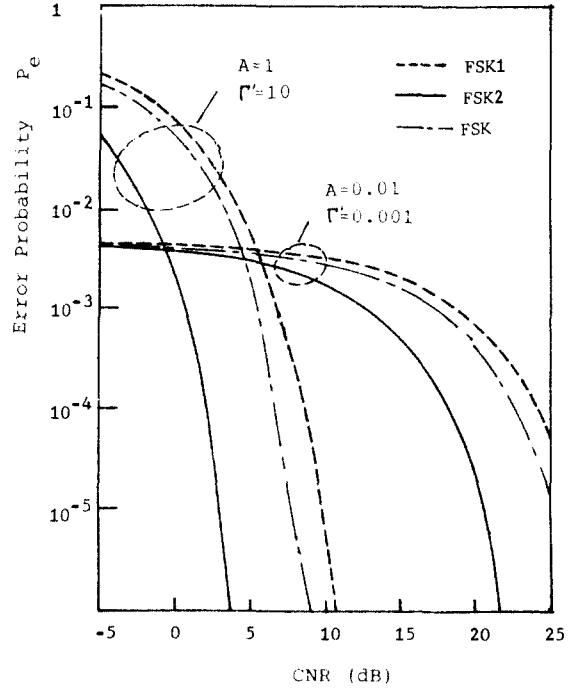


그림 8 임펄스지수에 따른 FSK 신호의 오류  
The error probability of FSK signal with impulsive index.

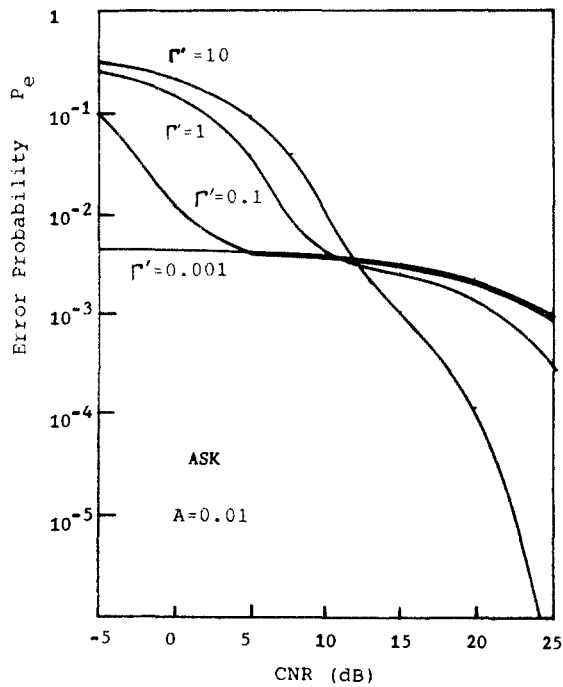


그림 7 Γ'의 변화에 따른 ASK 신호의 오류  
The error probability of ASK signal with impulsive index Γ'.

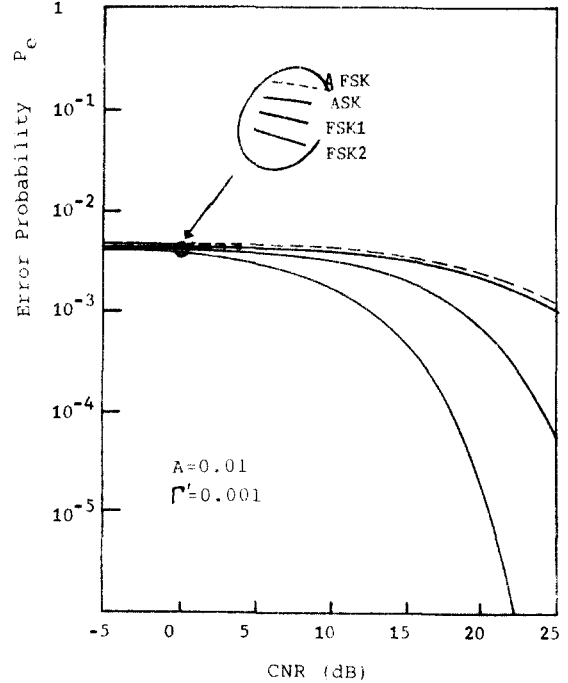


그림 9 임펄스성 잡음 환경하에서 AFSK 신호의 오류  
The error probability of AFSK signal in the environment of impulsive noise.

$$P_e|_{a_k=1} = P_e|_{a_k=0} \quad (20)$$

그러므로 전체 ASK의 오류율은

$$P_{eASK} = (P_e|_{a_k=1} + P_e|_{a_k=0})/2 = P_e|_{a_k=1} \quad (21)$$

③ 혼합 디지털 진폭-수파수 변조방식의 오류율

혼합 디지털 진폭-수파수 변조방식의 오류율은 그림 1 (c)의 복조 블록도에 보인 바와 같이 FSK에서 에러가 발생할 확률과 FSK 신호가 올바르게 판정됨에도 불구하고 ASK 신호의 에러가 발생할 확률의 합으로 나타낼 수 있다.

$$P_{eAFSK} = P_{eFSK} + (1 - P_{eFSK}) \cdot P_{eASK} \quad (22)$$

$$P_{eAFSK} = P_{eFSK} + P_{eASK} - P_{eFSK} \cdot P_{eASK} \quad (23)$$

4. 수치계산 및 검토

임펄스 잡음의 전자간섭 환경하에서 ASK와 FSK에 대한 일반 오류식을 구하여 각 변수를 변화시키며 수치계산을 하였다. 여기에서 변수로서는 반송파 전력 대 잡음 전력비(CNR), 임펄스 지수(A) 및 임펄스 잡음전력에 대한 가우스성 잡음 전력비(I<sup>2</sup>)를 택하였다.

그림 5 ~ 9는 수치계산에 의하여 얻어진, 오류율 그래프이다.

그림 5는 임펄스의 발생빈도를 나타내는 A와 I<sup>2</sup>의 변화에 따른 ASK 신호의 오류율을 나타낸 것이다. A와 I<sup>2</sup>의 값이 클 경우에는 가우스성 성분이 강하여 CNR을 약간 증가시키므로써 만족할 만한 오류율을 얻을 수 있고 A와 I<sup>2</sup>의 값이 작은 경우에는 임펄스성 성분이 강하므로 CNR을 상당히 크게 하여도 오류율의 개선이 별로 없었다.

그림 6은 I<sup>2</sup>의 값을 일정하게 하고 A의 값을 변화시켰을 때의 ASK 신호의 오류율을 나타낸 그래프이고 그림 7은 A의 값을 일정하게 하고 I<sup>2</sup>의

값을 변화시켰을 때의 ASK 신호의 오류율을 나타낸 그래프로 각각 A와 I<sup>2</sup>의 값이 커지면 임펄스성 성분이 강하게 되어 CNR의 증가에도 불구하고 오류율의 개선이 거의 없었다.

그림 8은 FSK 신호의 오류율을 나타낸 것으로, 실선은 a<sub>k</sub>가 1인 경우의 오류율, 점선은 a<sub>k</sub>가 0인 경우의 오류율을 나타낸 것이고 일점쇄선은 전체 FSK의 오류율을 나타낸 것이다. 이 그래프에 나타낸 바와 같이 FSK 신호의 경우도 임펄스성 잡음에 의해 심각한 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 9는 임펄스성 잡음 환경하에서의 AFSK, ASK, FSK1과 FSK2의 오류특성을 비교한 것이다.

이상의 그래프에 나타낸 오류로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

일반적으로 낮은 CNR에서는 주로 가우스성 잡음에 의해 신호의 에러가 발생하며 높은 CNR에서는 주로 임펄스성 잡음에 의해 신호의 에러가 발생한다. 또한 같은 신호전력에 대해서는 ASK가 FSK보다 열화된 오류특성을 나타낸다.

혼합 변조된 신호 AFSK는 ASK와 FSK의 전체의 오류율의 합이 되므로 가장 열화된 성능을 보인다. 이는 전송 정보량의 증대와 호환적인 것으로서 물리적으로도 타당하다.

参 考 文 献

- (1) P. Merty, "Model of impulsive noise for data transmission," IRE Trans. Commu. Systems, June 1961.
- (2) 조성준, 광명옥, "임펄스성 잡음(上)," 무선 제 8 호, 1983. 6.
- (3) D. Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference," IEEE Trans. Electromag. Compat., vol. EMC-19, no. 3, pp. 106 - 127, Aug. 1977.
- (4) A. Papoulis, Probability, random variables and stochastic process, New York: McGraw-Hill, 1965.



洪 鉉 成 (Hyun Sung HONG) 正會員  
1960年 3月 21日生  
1979年 3 ~ 1983年 2 : 韓國航空大學通信工學科(工學士)  
1984年 3 ~ 現在 : 韓國航空大學大學院在學中



南 浩 法 (Ho Bub NAM) 正會員  
1945年 9月 9日生  
1965年 3月 ~ 1969年 2月 : 서울大學校文理大學物理學科卒業  
1980年 3月 ~ 1982年 2月 : 慶熙大學校大學院電子工學科(工學碩士)  
1974年 3月 ~ 現在 : 大-外國語學校



趙 成 俊 (Sung Joon CHO) 正會員  
韓國航空大學 通信工學科 卒業(工學士)  
漢陽大學校 大學院(通信專攻)修了(工學碩士)  
大阪大學 大學院(通信工學)修了(工學博士)  
現在, 韓國航空大學通信工學科副教授, 本學會常任理事, 編輯委員長  
IEEE會員, 日本電子通信學會, TV學會會員, 日本ITU協會會員