

아나로그 및 디지털 無線通信 시스템間的 干涉 影響
 —PSK 信號에 미치는 FM 信號의 干涉—
 (Intersystem Interference between Analog and Digital
 Communication Systems, Part 1: Interference
 into PSK signal from FDM-FM signal)

趙 成 俊*
 (Cho, Sung Joon)

要 約

아나로그 無線通信系와 디지털 無線通信系가 각기 同一 無線周波數帶의 隣接周波數를 使用함에 依한 시스템間 干涉이 存在하는 狀態下에서 이들 兩 無線通信系가 混在하기 爲해 必要한 最適條件을 구하고 자 그의 第一段階로서 아나로그系가 디지털系에 미치는 시스템間 干涉에 對해 理論的 解析을 行했다. 이에 是 특히 이제까지 不明明했던 PSK 信號에 미치는 FM 信號의 干涉影響에 對해서 論했다. 本 研究에서 얻어진 結果는 시스템間 干涉의 存在下에 있어서의 PSK 시스템에 對한 周波數割當 및 帶域幅, 電力 等을 定함에 있어 有用한 資料를 提供한다.

Abstract

It has been investigated that the effect of an wideband FDM-FM signal upon an M-ary coherent PSK (MCPSK) signal in an intersystem radio interference environment between analog and digital systems, which had not been discussed before and had been obscure. It is assumed that PSK and FM signal are adjacently allocated in same radio frequency band. And the symbol error performance of MCPSK signal with co-channel and adjacent channel interference from an FDM-FM signal is evaluated with considering the receiver noise. The numerical results for the theoretical symbol error rates of MCPSK system in the presence of Gaussian noise and co-channel or adjacent channel interference are given in graphical forms as the function of carrier-to-noise ratio(CNR), carrier-to-interference ratio (CIR) and normalized carrier separation between the desired PSK and interfering FM signal.

The objective of this research is to find some optimal conditions for coexistence of analog and digital systems in an intersystem interference environment. The results we obtained here stress a possible utilization of them for designing the frequency allocation, bandwidth and power of PSK channel in the intersystem interference from an FDM-FM signal.

1. 序 論

從來로부터 無線通信系에 있어 周波數 有効利用의

觀點에서 干涉 問題가 重要視되어 많은 研究[1]~[10]가 行해져 왔으나, 通信需要의 急激한 增大에 부응한 通信衛星中繼 및 地上 無線中繼 方式의 發達에 따라 最近과 같이 아나로그(analog)通信系와 디지털(digital)通信系가 混在하는 狀態를 考慮했을 때는 제각종 通信系의 特徵을 갖고 있는 通信方式間的 干涉(시스템間 干涉)의 모델(model)化 및 影響의 定量的 評價가

*正會員, 韓國航空大學, 通信工學科
 (Member, Dept. of Communication Eng., Civil Aviation College of Korea)
 接受日字: 1978年 8月 8日

重要하다.

시스템間 干涉에는 두 가지 相互干涉이 存在한다. 그 하나는 同一 無線周波數를 共用함에 依한 同一 回線 干涉(co-channel interference)이고, 또 하나는 隣接한 無線 周波數를 使用함으로써 惹起되는 隣接回線干涉(adjacent channel interference)이다.

이제껏 同一 無線通信 方式間的 干涉影響에 關해서는 많은 研究 [1]~[7]가 行해졌으나, 디지털 無線通信系와 아나로그 無線通信系가 現在와 같이 混在하는 狀態下에서의 시스템間 相互 干涉 影響에 對한 解析은 드문 實情이다[8]~[9].

本 論文은 시스템間 干涉이 存在하는 狀態下에서 아나로그 無線通信系와 디지털 無線通信系가 混在하기 위해 必要한 最適條件을 求하고자 함에 있으며, 그

로그 信號로서 正規分布의 周波數 스펙트럼(frequency spectrum)을 갖는 廣帶域(wideband) FDM-FM 信號를, 디지털 信號로서는 多相同期 PSK 信號(M-ary coherent PSK signal)를 생각한다. CPSK 信號의 情報(message)는 모두 等確率(equally likely)로 發生하고 있고 受信機는 理想的인 帶域필터(band pass filter)와 位相判定器(phase detector)로 構成된다고 假定한다. 따라서 CPSK 受信機의 誤判(error)은 定常白色가우스性雜音(stationary white Gaussian noise)과 隣接하는 FM 信號 $i(t)$ (干涉波)의 影響에 依해 일어난다.

그림 2에 各 信號의 周波數 配置를 표시했다. 여기에서 FM 信號가 PSK 信號에 對해 f_d ($f_d = f_s \sim f_i$, f_i : FDM-FM 信號의 中心 周波數)만큼 떨어져 位置한다고 했을 때, FM 信號의 周波數 偏移가 커져서

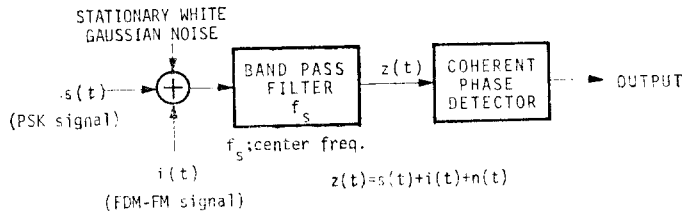


그림 1. 解析모델
Fig.1. Analysis model.

의 第一段階로서 디지털系가 아나로그系로부터 받는 시스템間 干涉에 對하여 理論的 解析을 行하고자 한다. 이에는 특히 이제까지 不分明했던 PSK 信號에 미치는 FM 信號의 干涉 影響에 對하여 論하고자 한다.

2. 解析 모델

그림 1에 解析모델을 나타냈다. 여기에서 干涉 아나

로그 PSK 受信機의 通過帶域(passband)內에 들어올 경우 PSK 信號에 干涉을 미치게 된다.

PSK 信號 $s(t)$ 와 干涉 FM 信號 $i(t)$ 는 각각

$$s(t) = S \cos[\omega_s t + \mu_j(t)] \tag{1}$$

$$\mu_j(t) = 2(j-1)\pi/M, (j=1, 2, \dots, M)$$

$$i(t) = I \cos[\omega_i t + \phi(t)] \tag{2}$$

와 같이 주어지며 여기서 $\mu_j(t)$ 는 位相角으로서 送信된 情報(message)를 싣고 있다. 또 $\dot{\phi}(t)$ ($\dot{\phi}(t) = \frac{d\phi(t)}{dt}$)

는 基底帶域(baseband) FM 變調信號를 나타내며, FDM-FM 方式에서 이는 平均値 0, 實効 周波數 偏移가 Δf 인 定常가우스過程(stationary Gaussian process)에 따르므로 FM 信號의 瞬時周波數 分布 $p(f)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$p(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \Delta f} \exp\left[-\frac{(f-f_i)^2}{2\Delta f^2}\right] \tag{3}$$

단, $f_i \gg \Delta f$

本 解析에서 取扱하는 FM 通信系는 被變調波의 周波數 스펙트럼이 基底帶域 變調信號(baseband modulating signal)의 統計的 性質에 依해 一意的으로 定해지는 準定常狀態(quasi-statistic condition)下의 것

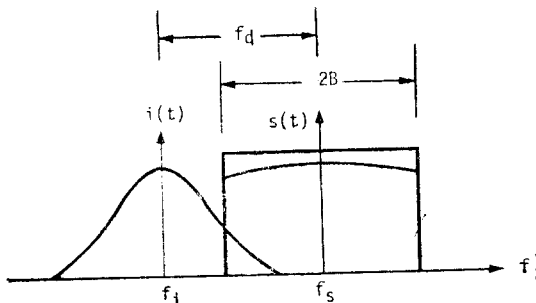


그림 2. 周波數 配置
Fig.2. Frequency arrangement.

이라 하면 FM 信號를 어느 時間區間에 對해서는 周波數 分布가 式(3)과 같이 주어지는 單一 正弦波로서의 解析의 取扱이 가능하다.

FM 信號가 PSK 受信機의 BPF (band pass filter)의 通過帶域內에 들어오면 PSK 信號는 FM 信號로부터 干涉影響을 받게 되어 位相判定器에서 誤判(error)이 일어나게 된다. 이때의 誤判率(error rate) Pe_1 은 위에서 말한 單一 正弦波의 干涉波와 PSK 信號와의 干涉 問題로서 算出된다.

그러나 FM 信號가 PSK 受信機의 通過帶域外에 있을 경우에도 位相判定器에선 誤判이 일어날 수 있다. 이때의 誤判率 (error rate) Pe_2 는 PSK 信號와 狹帶域 가우스성 雜音(narrowband Gaussian noise)만에 의한 干涉 問題로서 算出된다. 따라서 平均記號 誤判率(average symbol error rate) PE 는 Pe_1, Pe_2 를 各各의 發生確率(probability of occurrence)에 따라 平均함에 의해 구해진다.

즉,

$$PE = p Pe_1 + (1-p) Pe_2 \quad (4)$$

여기서 p 는 FM 信號가 PSK 受信機 BPF의 通過帶域內에 混入되는 確率이며, 그림 2의 경우로부터 다음과 같이 주어진다.

$$p = \int_{f_s-B}^{f_s+B} p(f) df = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{F_d+b}{\sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{F_d-b}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (5)$$

단, $\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$; 誤差函數(error function)

$$F_d = \frac{f_d}{\Delta f}, \quad b = \frac{B}{\Delta f}, \quad f_d = f_s \sim f_i$$

3. 多相 CPSK 〇스텝의 誤判率

干涉 FM 信號가 受信機의 BPF의 通過帶域內에 들어올 경우, PSK 信號는 定常 白色가우스성 雜音 및 干涉波와 함께 受信機의 BPF(中心周波數 f_s)를 通過하여 受信合成 信號 $z(t)$ 를 構成한다. 단, 一般性을 잃지 않는 範圍內에서 0 位相의 PSK 信號를 假定하면 $z(t)$ 는 $z(t) = s(t) + i(t) + n(t)$

$$= S \cos \omega_s t + I \cos (\omega t + \lambda) + n(t) \quad (6)$$

上式에 있어 f ($f = \omega/2\pi$)는 式(3)에서 주어지는 統計의 性質을 가지며, λ 는 $[0 \sim 2\pi]$ 사이에서 一樣分布(uniform distribution)하고 있다. 또 $n(t)$ 는 平均值 0, 電力 σ_n^2 의 狹帶域 가우스성 雜音으로서

$$n(t) = n_c(t) \cos \omega_s t - n_s(t) \sin \omega_s t \quad (7)$$

로 表示된다. 여기서 $n_c(t), n_s(t)$ 는 信號位相에 대한 同相 및 直交雜音成分으로서 모두 平均值 0, 分散 σ_n^2 인 서로 統計的으로 獨立된 定常低域 가우스過程

(stationary lowpass Gaussian process)이다.

位相判定器 入力の 벡터圖 및 判定領域을 그림 3에 表示했다. 그림에서 S 는 PSK 信號의 振幅, I 는 干涉 信號인 FM 信號의 振幅, N 는 狹帶域 가우스성 雜音의 振幅이며, Z 는 이들 受信合成 信號의 振幅이다.

ψ 는 干涉波의 PSK 信號位相에 對한 相對位相으로서 $\psi = (\omega - \omega_s)t + \lambda$ 이다. θ 는 受信合成 信號의 合成位相으로서 位相判定器는 이 θ 位相을 判定하여 送信된 情報를 얻는다.

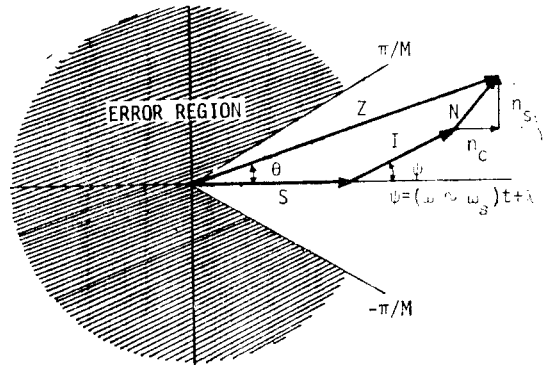


그림 3. 位相判定器 入力の 벡터圖 및 判定領域
Fig. 3. A vector diagram of the input to the phase detector and its decision region.

多相 CPSK 受信機의 記號誤判率(symbol error rate) $Pe(M)$ 은 送信位相角의 發生確率에 모두 等確率인 경우에는 合成位相 θ 가 $[-\pi/M, \pi/M]$ 의 領域外에 놓여질 確率로 주어진다. 따라서 우선 位相判定器 入力の 受信合成 信號位相의 確率密度函數(p.d.f.; probability density function), $p(\theta)$,를 구해야 한다.

$p(\theta)$ 에 關한 等價表現式은 여러 文獻에 나타나 있지만 特性 函數法(characteristic function method)에 의해 受信誤判率의 導出에 便利하게 求해 놓은 文獻 [10] [15]에 依하면 $p(\theta)_1$ 은 다음과 같다.

$$p(\theta)_1 = \frac{1}{2\pi} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k m \beta^k}{2\pi m! (k!)^2} \alpha^{\frac{m}{2}} \Gamma\left(\frac{m}{2} + k\right) {}_1F_1\left[\frac{m}{2} + k; m+1; -\alpha\right] \times \cos m\theta \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2\pi} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k m \gamma^{-k}}{2\pi m! (k!)^2} \alpha^{\frac{m}{2} + k} \Gamma\left(\frac{m}{2} + k\right) {}_1F_1\left[\frac{m}{2} + k; m+1; -\alpha\right] \times \cos m\theta \quad (9)$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi$$

단,

$$\alpha = S^2/2\sigma_n^2; \text{ 信號電力對 雜音電力 比(CNR)}$$

$$\beta = I^2/2\sigma_n^2; \text{ 干涉波電力對 雜音電力 比(INR)}$$

$\gamma = S^2/I^2$; 信號電力對 干涉波電力 比(CIR)

${}_1F_1(\cdot; \cdot; \cdot)$; 合流形 超幾何函數(confluent hypergeometric function)

$\Gamma(\cdot)$; Gamma 函數

干渉波인 FM 信號가 干渉을 주지 않는 경우 즉, PSK 信號와 雜音단에 依한 合成位相의 *p. d. f.* $p(\theta)_2$ 는 式(8)에서 $\beta=0$ 으로 하여 求解지며, 이는 Middleton의 文獻[12]에 나타나 있는 結果와도 一致한다.

따라서

$$p(\theta)_2 = \frac{1}{2\pi} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\alpha^m}{2\pi(m-1)!} \Gamma\left(\frac{m}{2}\right) {}_1F_1\left[\frac{m}{2}; m+1; -\alpha\right] \times \cos m\theta \quad (10)$$

그리고 多相同期 PSK 시스템의 記號誤判率(symbol error rate)은 $Pe_1(M)$, $Pe_2(M)$ 를 $p(\theta)_1$, $p(\theta)_2$ 을 각각 그림 3의 誤判領域(error region)에 걸쳐 θ 에 關해 積分함에 依해 求解진다. ○, 變調位相 $\mu_j(t)$ ($j=1, 2, \dots, M$)가 等確率로 發生하는 경우에는 다음과 같이 계산된다.

$$Pe(M) = \int_{-\pi/M}^{\pi} p(\theta) d\theta + \int_{-\pi}^{-\pi/M} p(\theta) d\theta = 2 \int_{\pi/M}^{\pi} p(\theta) d\theta \quad (11)$$

따라서 $Pe_1(M)$, $Pe_2(M)$ 은 各各 다음과 같이 얻어진다.

$$Pe_1(M) = 1 - \frac{1}{M} - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \gamma^{-k}}{\pi m! (k!)^2} \alpha^{m+k}$$

$$\Gamma\left(\frac{m}{2} + k\right) {}_1F_1\left[\frac{m}{2} + k; m+1; -\alpha\right] \sin\left(\frac{m\pi}{M}\right) \quad (12)$$

$$Pe_2(M) = 1 - \frac{1}{M} - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\alpha^m}{\pi m!} \Gamma\left(\frac{m}{2}\right)$$

$${}_1F_1\left[\frac{m}{2}; m+1; -\alpha\right] \sin\left(\frac{m\pi}{M}\right) \quad (13)$$

結局 式(5), 式(12)와 式(13)을 式(4)에 代入함에 依해 多相同期 PSK 시스템이 隣接 FM 信號와 雜音의 影響을 받아 일으키는 平均記號誤判率(average symbol error rate) $PE(M)$ 은 다음과 같이 求解진다.

$$PE(M) = pPe_1(M) + (1-p)Pe_2(M)$$

$$= 1 - \frac{1}{M} - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\alpha^m}{\pi m!} \Gamma\left(\frac{m}{2}\right)$$

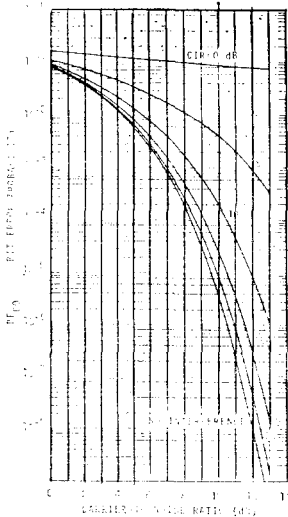
$${}_1F_1\left[\frac{m}{2}; m+1; -\alpha\right] \sin\left(\frac{m\pi}{M}\right)$$

$$- \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{F_d+b}{\sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{F_d-b}{\sqrt{2}}\right) \right]$$

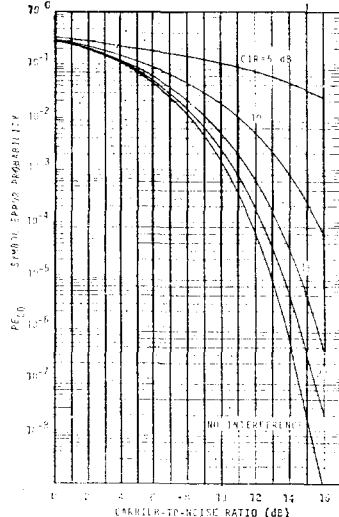
$$\left\{ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \gamma^{-k}}{\pi m! (k!)^2} \cdot \alpha^{m+k} \Gamma\left(\frac{m}{2} + k\right) \right.$$

$$\left. : F_1\left[\frac{m}{2} + k; m+1; -\alpha\right] \right.$$

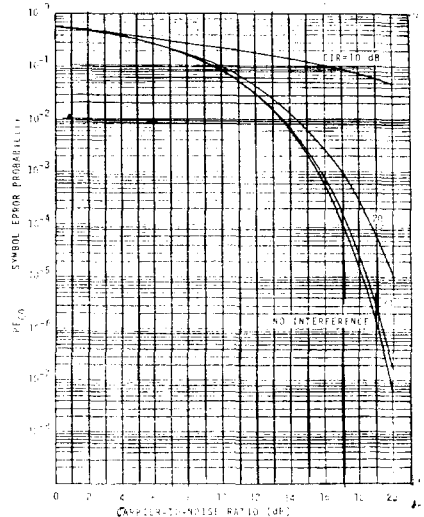
$$\left. \cdot \sin\left(\frac{m\pi}{M}\right) \right\} \quad (14)$$



(a) 2相(BPSK)



(b) 4相(QPSK)



(c) 8相(8PSK)

그림 4. 同一 回線干渉에 의한 多相同期 PSK 시스템의 記號誤判率

Fig.4. Symbol error rates of M-ary CPSK system with co-channel interference from an FDM-FM signal when $B/\Delta f=3$.

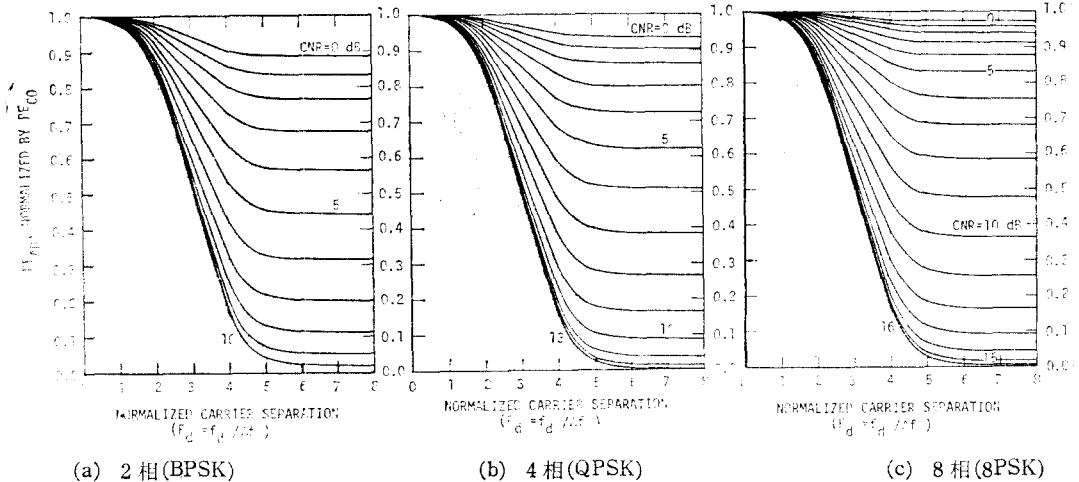


그림 5. 隣接回線 干涉에 의한 多相同期 PSK 시스템의 記號誤判率

Fig.5. Symbol error rates of M-ary CPSK system with adjacent channel interference when an FDM-FM signal when $B/\Delta f=3$ and CIR is 10 dB.

式(14)에서 $F_d=0(F_d=f_d/\Delta f)$ 인 경우는 同一 回線 干涉(co-channel interference)影響에 의한 誤判率 PE_{CO} 를 意味하므로 式(14)는 FDM-FM 方式으로부터 同一 또는 隣接回線 干涉(adjacent channel interference)을 받는 多相同期 PSK 시스템의 記號誤判率의 一般式을 나타낸다.

4. 數值計算 및 檢討

同一 回線 干涉에 의한 多相同期 PSK 시스템의 記號 誤判率(symbol error rate) PE_{CO} 의 數值計算 結果($b=3$ 인 경우; $b=B/\Delta f$)를 PSK 回線(PSK channel)의 搬送波對 雜音電力 比(CNR)와 搬送波對 干涉波電力 比(CIR)를 파라메터로 하여 2相, 4相, 8相에 對해 各 各 그림 4에 나타냈다. 이들의 結果는 Rosenbaum[4]의 結果와도 잘 一致한다. 또 그림 5에는 隣接回線 干涉에 의한 記號誤判率 PE_{AD} 를 PE_{CO} 에 對해 正規化 시켜 CIR=10 dB인 경우를 例로서 2相, 4相, 8相에 對해 표시했다. 그림 5로부터 FM 信號와 PSK 信號와의 正規化 中心周波數 差 F_d 가 크면 갈수록 당연히 誤判率이 減少함을 알 수 있으며, $F_d \geq 6$ 인 경우엔 어느 一定值로 飽和해감을 볼 수 있다. 이는 이때의 誤判率이 雜音만에 依해 주로 支配되는 것으로 간주되며, 그 같은 FM 信號로부터의 干涉이 없을 때(NO INTERFERENCE)의 값 점차 가까워 간다.

5. 結 論

本 研究에서는 最近과 같이 아나로그 無線通信系와 디지털 無線通信系가 混在함에 依해 시스템 間 干涉이

存在하는 狀態下에서 이들 無線通信系가 混在하기 위한 最適條件을 구하고자 그의 第1段階로서 디지털系가 아나로그系로부터 받는 시스템 間 干涉에 對하여 各各의 代表的인 同期 PSK 方式과 FM 方式을 들어 理論의 解析을 行했다. 周波數 스펙트럼이 正規分布를 하고 있는 FM 信號가 同期 PSK 信號에 미치는 干涉 影響에 對해 同一 및 隣接回線 干涉에 依한 記號誤判率(symbol error rate)의 一般式을 導出하여 2相, 4相, 8相에 對해 數值計算과 檢討를 行했다. 本 研究에서 얻어진 結果는 시스템 間 干涉의 存在下에 있 어서의 PSK 시스템에 對한 周波數 割當 및 帶域幅, 電力 等を 定함에 있어 有用한 資料를 提供한다.

謝 辭

本 論文은 大阪大學大學院 通信工學科에서 滑川敏彦 博士와 森永規彦博士의 指導下에 行해진 一連의 研究의 一部로서 本 研究에 있어 여러 가지로 方向提示와 指導를 하여 주신 두 분에게 깊은 感謝의 뜻을 表합니다.

參 考 文 獻

1. R.G. Medhurst, E.M. Hicks, and W.Grossett, "Distortion in Frequency-division-multiplex FM Systems Due to an Interfering Carrier," Proc. Inst. Elec. Eng., vol. 105 B, pp.282~292, May 1958.
2. V.K. Prabhu and L.H. Enloe, "Interchannel Interference Considerations in Angle-Modul-

- ated Systems," Bell Syst. Tech. J., vol. 48, pp.2333~2358, Sept. 1969.
3. E.K. Koh and O. Shimbo "Computation of Interference into Angle Modulated Systems Carrying Multichannel Telephone Signals." IEEE Trans. Commun., vol. COM-24, pp.259~263, Feb. 1976.
 4. A.S. Rosenbaum, "PSK Error Performance with Gaussian Noise and Interference," Bell Syst. Tech. J., vol. 48, No.2, pp.413~442, Feb. 1969.
 5. V.K. Prabhu, "Error Rate Considerations for Coherent Phase-Shift Keyed Systems With Co-channel Interference," Bell Syst. Tech. J., vol. 48, no.3, pp. 743~767, Mar. 1969.
 6. A.S. Rosenbaum, "Binary PSK Error Probabilities with Multiple Cochannel Interferences," IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM-18, pp.241~253, June 1970.
 7. J. Goldman, "Multiple Error performance of PSK Systems with Cochannel Interference and Noise," IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM-19, pp.420~430, Aug. 1971.
 8. J. Dodo and H. Kirematsu, "Interference Problems of Digital (PSK) and FM Radio Relay System," FUJITSU Scientific & Tech. J., pp.43~65. Mar. 1973.
 9. 水野俊夫, 平田康夫, 森永規彦, 滑川敏彦, "PSK波に対する FDM-FM波の信號干渉", 日本電子通信學會研究會資料 CS 73-130, 1974年 1月,
 10. 樺澤哲, 森永規彦, 滑川敏彦, "多相 PSK 受信誤り率に對する多波干渉 特性, 日本電子通信學會研究會資料 CS 77-63, 1977年 9月.
 11. 喜安善市, "周波數變調波の 周波數 スペクトル分布について" 日本電氣通信學會雜誌, 34卷 11號, pp.605~615, 1951年 11月.
 12. D. Middleton, An Introduction to Statistical Communication Theory. p.417, New York: McGraw-Hill, 1960.
 13. 趙成俊, "Interchannel Interference of FDM-FM signal upon Binary CPSK signal," "韓國航空大學論文集 第13 輯, pp.79~87, 1978年 5月.
 14. 趙成俊, 森永規彦, 滑川敏彦, "アナログ・デジタル通信システム間の干渉," 昭和 53年度 日本電子通信學會光・電波部門全國大會論文集, 論文 No.103, 1978年 10月
 15. S. J. Cho, N. Morinaga, and T. Namekawa, "Effects of Intersystem Radio Interference from FDM-FM signals on PSK signal," submitted to IEEE Trans. Communications.

