

라디오 데이터 수신 시스템의 디지털 복조회로 설계와 그의 성능 평가에 관한 연구

正會員 金 基 根* 正會員 許 東 奎* 正會員 金 晄 光*
 正會員 柳 興 均* 正會員 裴 鉉 惠* 正會員 李 鍾 夏**

A Study on the Digital Demodulation Circuit Design and its Performance Evaluation of Radio Data Receiver System

Kee Keun KIM*, Dong Kyu HUR*, Ju Koang KIM*, Heunggyoon RYU*,
 Hyeon Deok BAE*, Jong Ha LEE** *Regular Members*

要 約 본 연구에서는 라디오 데이터 수신 시스템의 복조 회로를 제안하고, 잡음에 오염된 디지털 전송 신호의 오차 확률을 구하여, 그의 성능을 평가하였다.

일반적인 논리회로와 PLL을 이용하여 수신 복조회로를 설계 및 구현하였으며, 이것을 이용하여 라디오 데이터 수신 시스템의 새로운 집적회로 설계가 가능하도록 하였다. 또한 복원된 디지털 신호의 오류확률을 계산하여 기존의 복조회로와 비교의 성능임을 확인하였다.

ABSTRACT In this paper, we have proposed a demodulation circuit of radio data receiver system and calculated the error probability of the digital transmitted signal corrupted under noise environment. And we have evaluated the error performance of the proposed system.

The designed demodulation circuits have been implemented by using the general random logic and PLL circuits, which can be possible for the integrated circuit design of the radio data receiver system. In addition, calculation of bit error rate in recovered digital signal has been accomplished and we have confirmed that the proposed system has the equivalent performance with already-existing ones.

I. 서 론

정보화 시대인 현대에서 전자파를 이용하는 무선 통신은 정보 전달에 큰 역할을 하고 있다. 특히 라디오는 가장 중요한 방송 매체 중의 하나로서 우리 생활과 밀접한 관련을 맺고 있다. 그러나 사회가 점점 복잡하고 다양화 함에 따라 더 많은 정보와 더 편리한 방송 매체를 요구하게 되었다. 라디오 데이터 시스템은 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 새로운, 중요한 서비스 방식이다. 라디오 데이터 시스템은 VHF(Very High Frequency) 대역의 FM 스테레오 신호에 디지털

데이터를 다중화 하여 방송국 식별, 자동신국, 방송국명 표시, 교통 방송 실시 등의 편리하고 중요한 서비스 기능을 실현할 수 있도록 한 새로운 다중 방송 방식이다. 1979년에 이 시스템에 관한 규격 검토가 시작되어, 1984년에 유럽 방송 연맹(EBU : European Broadcasting Union)에서 새로운 방식의 규정을 정하고 16가지의 응용 규정을 제시하였다.⁽¹⁾⁽²⁾ 이에 따라 유럽을 중심으로 그 이용이 확대 되었으며, 현재 각 나라에서는 자국의 실정에 맞는 규정을 채택하여 방송을 실시하고 있으며 점차 응용 범위를 확대하고 있다⁽³⁾⁽⁴⁾.

본 연구에서는 라디오 데이터 시스템에서 1.1875 kbps 속도로 다중화된 디지털 신호를 복원할 수 있는 수신 시스템의 복조 회로를 제안하

*忠北大學校 電子工學科
 Dept. of Electronic Eng., CNU
 **忠北大學校 電氣工學科
 Dept. of Electrical Eng., CNU.
 論文番號 : 91-28(接受1990. 10. 12)

고, 복원한 디지털 신호의 오차 확률을 분석하고 그의 수신 성능을 평가하였다⁽⁵⁾⁽⁶⁾. 실험 결과 본 연구에서 개발한 수신기는 기존의 복조시스템과 등가의 성능임을 확인하였고, 일반적인 논리 회로를 이용하여 새로운 집적회로가 가능하도록 구현하였다.

II. 라디오 데이터 시스템의 구성

유럽 방송연맹 규격에 의한 라디오 데이터 시스템의 원천 데이터의 기본 데이터 속도는 1187.5 bit/s이며 송신측에서 원천 신호를 차동 부호화 한다. 이때 적절한 기능이 데이터 포맷을 만들어 FM 스테레오 신호의 파일럿 신호를 3채배한 57kHz 부반송파로 DSB SC 변조한 뒤, 스테레오 신호에 부가시키면 송신측의 신호 파형이 되는데, 축적형 디지털 오실로스코프로 측정된 라디오 데이터 신호의 변조 파형을 그림 1에 도시하였다.

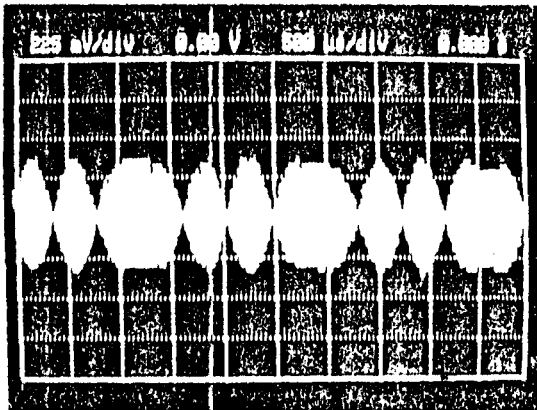


그림 1. 송신측의 라디오 데이터 변조 신호.
Fig. 1. Modulated radio data signal in transmitter.

그리고 FM 스테레오 신호에 라디오 데이터 신호를 다중화한 스펙트럼은 그림 2와 같다. 그림 2의 스펙트럼은 기저대역의 모습이며 이것은 VHF 대역으로 FM 변조되어 전송된다. 수신

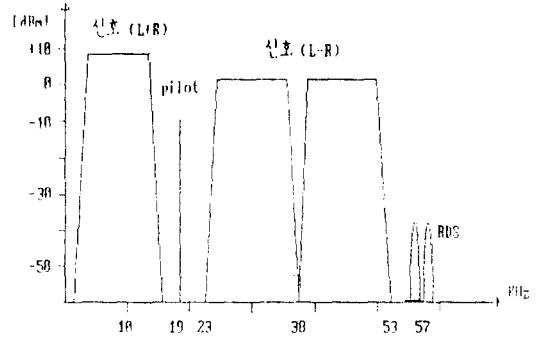


그림 2. 라디오 데이터 신호가 다중화된 스펙트럼.
Fig. 2. Spectrum of multiplexed radio data signal.

단에서는, RF 대역에 있는 라디오 데이터 신호를 FM 복조하여 기저대역으로 주파수 천이되어 이 신호에서 디지털 라디오 데이터 신호를 분리시킨 뒤, 원하는 디지털 데이터를 복원하게 된다. 기존의 라디오 데이터 복원기의 대표적인 구성도는 그림 3에 도시하였다.⁽⁷⁾

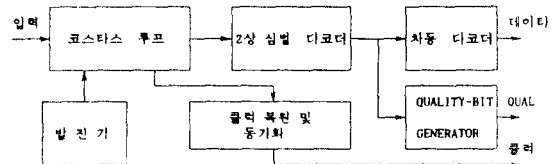


그림 3. 기존 라디오 데이터 복원기의 구성도.
Fig. 3. Block diagram of already existing radio data demodulator.

QUAL은 신호 품질을 의미하는 단자로서, "1"일 때에는 처리된 데이터가 양호함을, 그리고 "0"일 때에는 오차 데이터임을 지시하게 된다. 코스타스 루프에 의해 동기가 맞추어진 라디오 데이터 신호는 2상 삼입 디코더와 차동 디코더를 거쳐 신호를 복원 하게 된다.

한편 제안된 라디오 데이터 수신기의 전체 구성도는 그림 4와 같으며 이것은 EBU 규격의 기본 구성도에 의거된 것이다. 먼저, FM 수신기에 의해 얻어진 기저 대역 신호에서 57kHz 중심

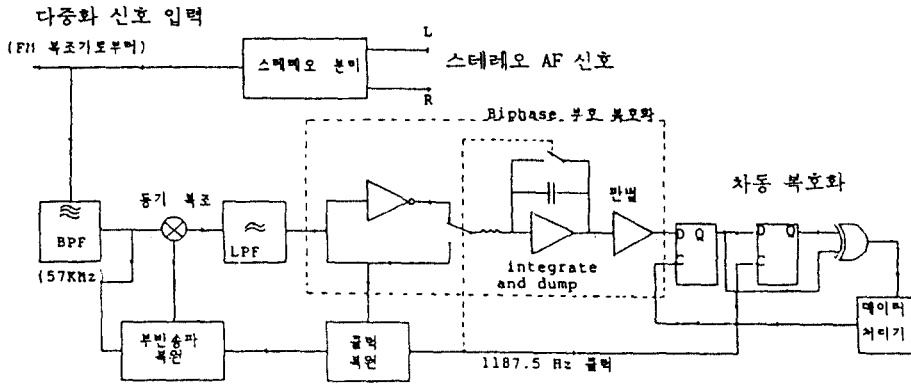


그림 4. 라디오 데이터 신호 복조기 블록 구성도.
Fig. 4. Block-diagram of radio data signal demodulator.

의 대역 필터를 사용하여 라디오 데이터 신호를 추출한 뒤 동기 복조 시킨다. 이렇게 복조된 신호의 고조파를 제거하기 위해 저역 필터를 거친 후, 이상(biphase) 디코딩한 신호를 차동 복호화하여 디지털 라디오 데이터를 복원하였다.

저역통과 필터를 거친 57kHz 주변의 DSB-SC의 라디오 데이터 신호는 PLL에 의해 동기가 맞추어진 57kHz의 반송파에 의해 동기 복조된다. 이 기저대역 신호의 고조파 및 고주파 잡음을 제거하기 위해 4차 능동 저역 통과 필터를 사용하였다. 한 주기 동안 이상 복조한 후, 언산 증폭기를 이용한 적분기로 적분을 하여 비교기로 데이터를 추정하였다. 추정한 데이터는 차동복호화하여 라디오 데이터 신호를 복원하였다.

III. 라디오 데이터 시스템 복조기 설계

EBU 규정에 의하면, 송신부에서 소오스 라디오 데이터가 논리 "1"인 경우 데이터 신호 $s_1(t)$ 와 논리 "0"인 경우 데이터 신호 $s_0(t)$ 는 식 (1), (2)와 같다.

$$s_1(t) = \delta(t + t_d/4) - \delta(t - t_d/4) \quad (1)$$

$$s_0(t) = -\delta(t + t_d/4) + \delta(t - t_d/4) \quad (2)$$

이때 $t_d = 1187.5^{-1}$ [sec]이다.

또한 shaping filter의 전달 특성 $F(f)$ 는 식(3)과 같이 주어진다.

$$F(f) = \begin{cases} \cos(\pi f t_d / 4) & 0 \leq f \leq 2/t_d \\ 0 & \text{기타} \end{cases} \quad (3)$$

신호 $s_1(t)$, $s_0(t)$ 가 전달 특성이 $F(f)$ 인 여파기를 통과하여 얻은 신호가 기저 대역의 라디오 데이터 신호이며, 그 스펙트럼의 진폭 $S_1(f)$, $S_0(f)$ 는 식 (4), (5)와 같이 표시할 수 있다.

$$S_1(f) = 2\cos(\pi f t_d / 4)\sin(\pi f t_d / 2), \quad -2/t_d \leq f \leq 2/t_d \quad (4)$$

$$S_0(f) = -2\cos(\pi f t_d / 4)\sin(\pi f t_d / 2), \quad -2/t_d \leq f \leq 2/t_d \quad (5)$$

여기서 $S_1(f)$ 는 입력이 $s_1(t)$ 일때, $S_0(f)$ 는 입력이 $s_0(t)$ 일때의 여파기 출력 신호이다. 이 신호는 57kHz의 반송파로 변조하면 그림 1과 같은 송신측에서의 라디오 데이터 변조 신호가 된다.

그림 5에 라디오 데이터 신호의 스펙트럼 $S_1(f)$, $S_0(f)$ 를 도시하였다.

수신된 그림 2의 기저 대역의 신호에서 대역 필터를 사용하여 57kHz 중심의 원하는 라디오

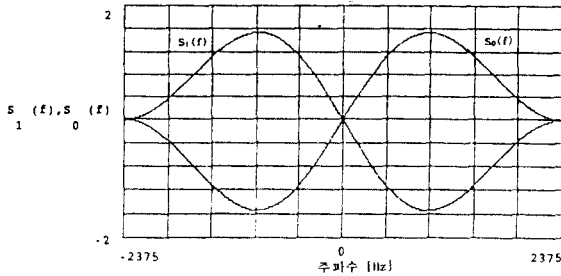


그림 5. 디지털 라디오 데이터의 스펙트럼.
Fig. 5. Spectrum of digital radio data signal.

데이터 신호만을 추출하며 그 외의 대역에 존재하는 잡음과 불필요한 신호를 제거하였다. 신호대 잡음비를 최적으로 하기 위해 필터의 차단 주파수는 57 ± 1.1875 kHz로 하였다.

PLL(phase locked loop)로 검출한 파일럿트 신호를 3배배하여 라디오 데이터 신호를 저주파 대역으로 천이시키는 국부 신호로 사용하였다. 기저 대역으로 천이시킨 신호에서 저역 필터로 고주파 신호를 제거하여 라디오 데이터 신호를 복원하였다.

복원한 라디오 데이터 신호 $R(f)$ 는 데이터가 논리 "1"인 경우, 식(6)과 같으며, 이후로 이식을 이용하여 라디오 데이터 복조기를 해석하기로 한다. 그리고 수신 데이터들은 서로 독립이며, 동일한 발생 확률을 갖는다고 가정한다.

$$R(f) = 2A \cdot j \cos(\pi t_d f / 4) \sin(\pi t_d f / 2), \quad -2/t_d \leq f \leq 2/t_d, \quad j = \sqrt{-1} \quad (6)$$

이때 A 는 복조된 라디오 데이터 신호의 이득이다.

데이터가 논리 "0"이면 식(6)과 역의 관계이다. 이들 신호는 이득이 1인 경우 식(4), (5)와 같으며, 그림 5에서 파형을 관찰할 수 있다.

복원된 RDS 신호를 t_d 시간 동안에 동상의 신호와 역상의 신호를 번갈아 선택하여 이상 복조를 하였다. 식(6)의 라디오 데이터 신호는 시간축에서 식(7)과 같다.

$$r(t) = 2A \cdot ((\text{sinc}(4\pi t / t_d + 3\pi / 2) + \text{sinc}(4\pi t / t_d + \pi / 2) - \text{sinc}(4\pi t / t_d - 3\pi / 2) - \text{sinc}(4\pi t / t_d - \pi / 2)) / t_d) \quad (7)$$

A 를 1로 설정하여 $r(t)$ 의 파형을 그림 6에 도시하였다.

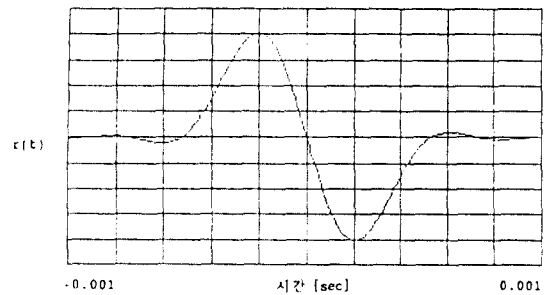


그림 6. 라디오 데이터 신호의 파형.
Fig. 6. Waveform of radio data signal.

이때 이상 복조한 신호 $r_b(t)$ 는 식 (8)과 같다.

$$r_b(t) = r(t) \cdot (-\text{sgn}(t)) \quad (8)$$

$$\text{sgn}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ -1, & t < 0 \end{cases} \text{이다.}$$

송신 데이터를 추정하기 위해서 식(8)의 $r_b(t)$ 를 적분한다. 적분 신호 $ri(t)$ 는 논리 "1"에 대해서 단조 증가 함수이며, 반전된 논리 "0"의 경우 단조 감소 함수로 t_d 시간 동안 적분된 크기는 $1.846A$ 이다. 2개의 확률 변수가 발생 확률이 동일하므로 양극성 antipodal 신호이므로 최적의 데이터 추정을 위해서 비교기 임계치는 0이 된다.

수신 데이터 추정 과정을 통해 데이터의 판별과 오차 성능을 구하기 위하여 라디오 데이터 수신기에 부가성 잡음하에서 에러가 발생할 확률을 구하였다. 적분된 라디오 데이터 신호의 크기를 임의의 A 로 했고, 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 잡음이 선형시스템인 적분기를 통과하

였으므로 적분기 출력 $r_p(t)$ 는 식 (9)와 같다.

$$r_p(t) = r_1(t) + N \quad (9)$$

여기서 $r_1(t)$ 는 $r_b(t)$ 의 적분 신호이고, N 은 식(10)으로 정의되는 확률변수이다.

$$N = \int_{t_c}^{t_c+t_d} n(t) dt \quad (10)$$

여기서 $n(t)$ 는 AWGN로서 평균치는 zero이고, N_0 의 전력 스펙트럼 밀도를 갖는다.

그러므로 N 의 평균치와 분산은 식(11), (12)와 같다.

$$\begin{aligned} E\{N\} &= \int_{t_c}^{t_c+t_d} E\{n(t)\} dt \\ &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}\{N\} &= E\{N^2\} \\ &= \int_{t_c}^{t_c+t_d} \int_{t_c}^{t_c+t_d} E\{n(t)n(\alpha)\} dt d\alpha \\ &= \int_{t_c}^{t_c+t_d} \int_{t_c}^{t_c+t_d} \frac{1}{2} N_0 \delta(t-\alpha) dt d\alpha \\ &= \int_{t_c}^{t_c+t_d} \frac{1}{2} N_0 d\alpha \\ &= \frac{1}{2} N_0 t_d \end{aligned} \quad (12)$$

그러므로 N 의 확률분포 함수는 다음 식 (13)

과 같다.

$$f_N(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 t_d}} \exp(-\eta^2 / N_0 t_d) \quad (13)$$

비교기에서 "0"의 데이터를 전송했을 경우 잡음 n 가 1.846A보다 크면, 그리고 "1"의 데이터를 전송했을 경우 잡음 n 이 -1.846A보다 작으면 오류가 발생하여 복조기는 데이터를 정확히 추정하지 못하게 된다.

그러므로 잡음이 부가된 신호 $r_p(t)$ 가 송신에서 논리 "1"의 데이터를 수신에서 "0"의 데이터로 판별할 오차 확률 $P(e,1)$ 은 식(13)을 이용하면 식(14)와 같다.

$$P(e,1) = \int_{-\infty}^{-1.846A} f_N(\eta) d\eta \quad (14)$$

식 (14)은 다시 식(15)식과 같이 정리된다.

$$P(e,1) = \frac{1}{2} \text{erfc}(1.846A \sqrt{N_0 t_d}) \quad (15)$$

그리고 반대의 경우로 논리 "0"를 "1"로 판별할 오차 확률도 식(15)과 동일하다. 디지털 데이터를 복조하는 시스템의 경우, 전체 오차 확률은

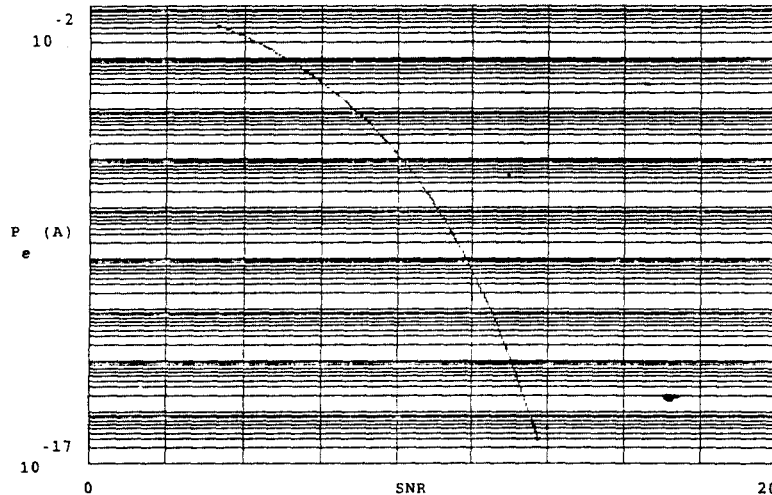


그림 7. 라디오 데이터 복조 회로에서 에러 발생 확률.
Fig. 7. Error probability in radio data demodulation circuit.

식(16)과 같이 표현할 수 있다.

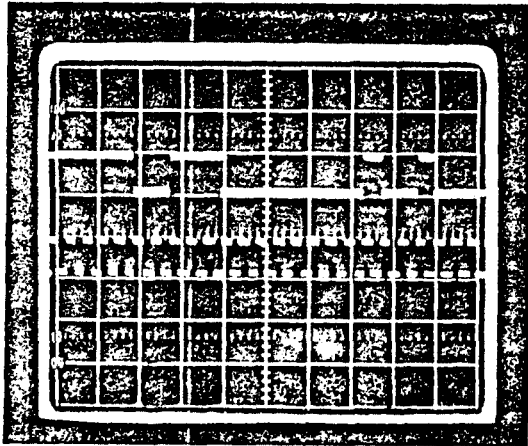
$$P_e = p_1 P(e=1) + p_0 P(e=0) \quad (16)$$

여기서 p_1 과 p_0 는 송신측의 논리 1과 0과 발생할 확률로서 동일한 크기의 확률값 $1/2$ 을 갖는다. 상관 관계가 없는 두 확률 변수의 발생으로 가정 하였으므로 전체 복조기의 추정과정에서 오차 발생 확률 $P_e(A)$ 는 식(17)과 같다.

$$P_e(A) = \frac{1}{2} \text{erfc}(1.846A / \sqrt{N_0 T_d}) \quad (17)$$

결과를 그림 7에 제시하였다.

제안한 라디오 데이터 복조 시스템으로 복원한 디지털 데이터의 결과를 그림 8에 보였다. 그림 8에서 위의 신호는 디지털 라디오 데이터이며, 아래는 복원된 클럭 신호로서 속도는 1.1875kHz이다.



v:5[v] / div, H:2[msec] / div

그림 8. 라디오 데이터 복조기의 출력 데이터와 클럭.
Fig. 8. Output of radio data demodulator and clock pulse.

제안한 라디오 데이터 복조의 전체 회로도도 그림 9와 같다.

IV. 결 론

라디오 데이터 시스템은 VHF대역 FM 스테레오 방송의 차세대 방식으로서 유럽의 국가에서 이미 실시하고 있으며, 서비스도 다양화 추세에 있다.

본 연구에서는 라디오 데이터 수신 시스템을 세로이 설계하여 일반 논리, 회로와, 동기신호 복원을 위하여 PLL을 사용하여 디지털 복조 시스템을 구현하였다. 오차 확률 계산 및 실험을 통하여 제안된 복조 시스템이 기존의 선진국에서 개발된 시스템과 동가의 성능임을 확인하였다. 라디오 데이터가 복조된 후 필요한 서비스 기능 실현을 위하여 데이터 처리에 관한 연구가 추진 되어야 한다.

참 고 문 헌

1. "Specifications of the radio data systems RDS for VHF-FM sound broadcasting", EBU document Tech. 3211 E, Mar. 1981.
2. S.R. Ely & D. Kopitz, "Design Principle for VHF/FM radio receivers using EBU radio data system RDS", EBU review No. 204, 1981.
3. J.Mielke & K.H. Schwager, "Progress with the RDS system and experimental results", reprinted from EBU review Technical No. 217, 1986.
4. Information Processing system - Open systems interconnection Basic reference model, ISO Draft International Standard 7498, 1984.
5. Ziemer와 Tranter, Principles of Communications, Houghton Mifflin, 1985.
6. Roden, Analog and Digital Communication System, Prentice Hall, 1985.
7. Philips, "Radio data system Demodulator", 1989.

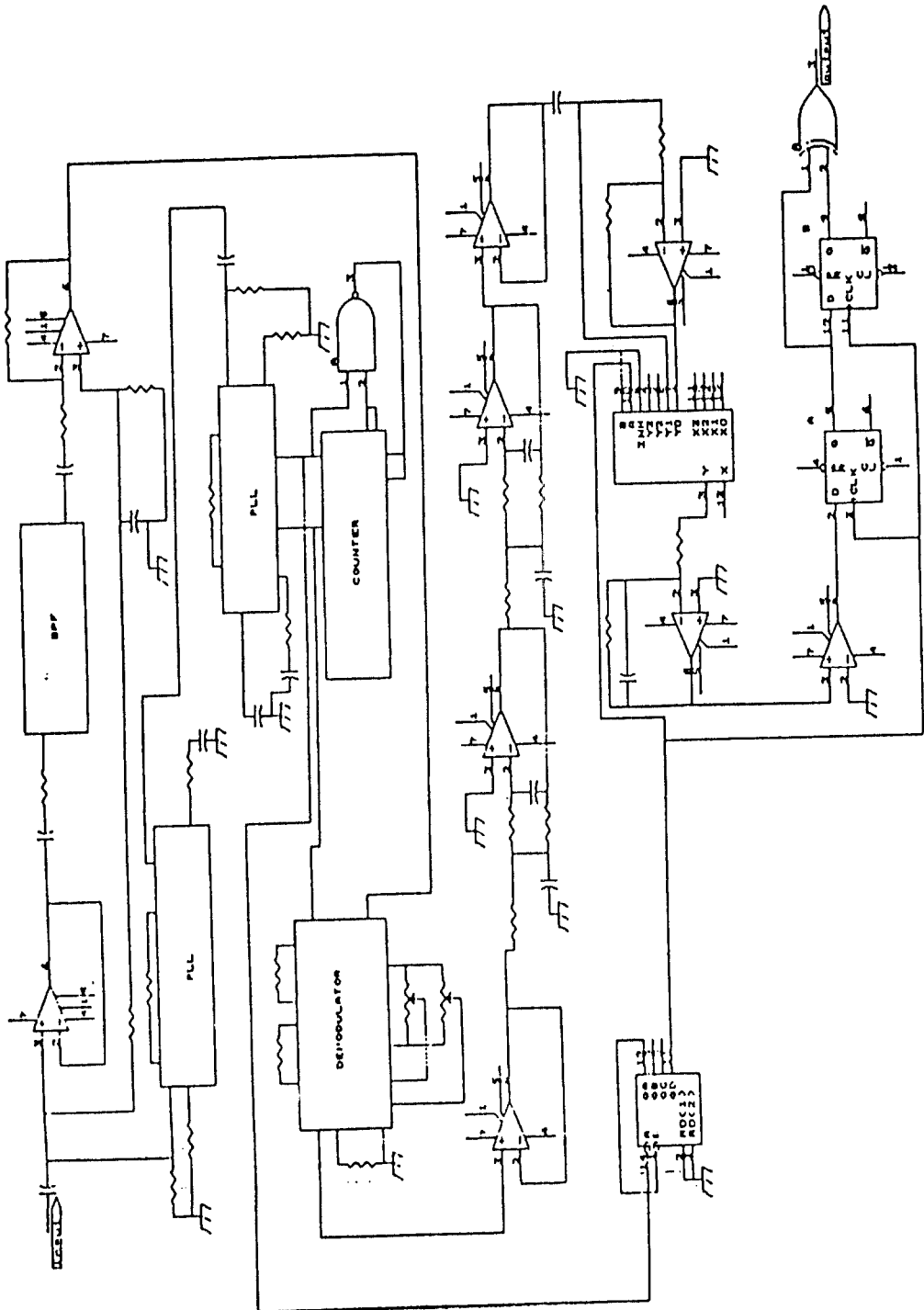


그림 9. 라디오 데이터 복조 회로도.
Fig. 9. Radio data Demodulation circuit.



金基根(Kee Keun KIM) 正會員
 1967年 1月 3日生
 1986年 3月 ~ 1990年 2月 : 忠北大學校
 工科學校 電子工學科(工學士)
 1990年 3月 ~ 現在 : 忠北大學校 大學院
 電子工學科 碩士課程
 ※ 主關心分野 : 通信시스템, 推定理論 등



許東奎(Dong Kyu HUR) 正會員
 1962年 9月 19日生
 1982年 3月 ~ 1989年 2月 : 湖西大學校
 理工大學 電子通信工學科
 (工學士)
 1990年 3月 ~ 現在 : 忠北大學校 大學院
 電子工學科(碩士課程)
 1989年 3月 ~ 1990年 2月 : 에이로 시스템
 (주) 通信研究所 研究院
 ※ 主關心分野 : 디지털 通信工學, 統計的
 信號處理 등



金 胄 光(Ju Koang KIM) 正會員
 1967年 11月 17日生
 1987年 3月 ~ 1991年 2月 : 대전공업대학
 전자공학과(공학사)
 1991年 3월 ~ 현재 : 충북대학교 대학원
 전자공학과 석사과정
 관심분야 : 통신 이론, 회로설계 등



柳 興 均(Heung Gyoon RYU) 正會員
 1959年 7月 10日生
 1982年 2月 : 서울大學校 電子工學科(B.S)
 1984年 2月 : 서울大學校 大學院 電子工學
 科(M.S)
 1989年 2月 : 서울大學校 大學院 電子工學
 科(Ph.D)
 1983年 1月 ~ 1983年 10月 : 韓國電子通信
 研究所 委囑研究員
 1988年 2月 ~ 현재 : 忠北大學校 工學大學
 電子工學科 助教授
 關心分野 : 通信工學, 光通信, 信號處理
 등

裴 鉉 德(Hyeon Deok BAE) 正會員
 1954年 9月 11日生
 1973年 3月 ~ 1977年 2月 : 한양대학교
 공과대학 전자공학과(공학사)
 1978年 3월 ~ 1980年 2월 : 서울대학교
 대학원 전자공학과(공학석사)
 1991年 3월 ~ 1986年 2월 : 서울대학교
 대학원 전자공학과 박사후교수
 1983年 3월 ~ 1987年 2월 : 건국대학교
 전자공학과 조교수
 1987年 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학
 과 부교수



李 鍾 夏(Jong Ha LEE) 正會員
 1934年 7月 30日生
 1954年 4월 ~ 1958年 3월 : 한양대학교
 전기공학과(공학사)
 1974年 9월 ~ 1976年 8월 : 단국대학교
 대학원 전기공학과(공학석사)
 1981年 3월 ~ 1987年 2월 : 한양대학교
 대학원 전기공학과(공학박사)
 1976年 8월 ~ 현재 : 충북대학교 전기공학
 과 교수
 1983年 8월 ~ 1984年 8월 : 일본 명지대학
 교 전기공학과 객원교수
 1990年 3월 ~ 현재 : 충북대학교 산업대학
 원장