

論文98-35C-10-2

복극4레벨 데이터 방식을 이용한 혼돈 대역확산 통신시스템 설계

(Design of a Chaotic Spread Spectrum Communication System using Polar Quarternary Method)

柳忠鉉*, 鄭鍾潑**, 朴廣炫***, 朴鎭秀*

(Chung Hyun Yoo, Chong Eun Chung, Kwang Hyeon Park, and Jin Soo Park)

요 약

혼돈신호를 사용하여 복극 4레벨 데이터 방식에 의한 혼돈 대역확산 계통을 설계·구현하였다. 송신부는 기본적인 혼돈신호 발생기인 Chua 회로를 네개 사용하여 네가지 체배 관계의 신호들을 결합동기 방식으로 발생시켰으며, 수신부는 송신부와 구동동기 방식으로 연결하여 신호를 복원시켰다. 정보 신호의 주파수 대역 확산은 혼돈신호 자체에 의해 이루어지므로 기존의 대역확산 통신시스템 보다 구성이 간단해 진다.

Abstract

A chaotic spread spectrum communication system using a polar quarternary method is designed and implemented. Four different chaotic signals in the relation of multiplication each other are generated through the use of a coupled synchronization method in the transmitter which is composed of four Chua's circuits. Information is retrieved at the receiver which is connected to the transmitter through the use of a drive synchronization method. Since spread spectrum of information signal is spread by chaotic signal, the configuration of the system is simpler than that of any other conventional system.

I. 서 론

혼돈계통의 동기에 관한 연구가 발표된 이후, 동기 이론을 발전시키고 적용시키기 위한 많은 연구와 논문들이 발표되고 있으며, A.V. Oppenheim et al.은 혼돈신호(chaotic signal)에 정보를 감추어 전송하는 비밀보호 통신회로에 관한 연구를 발표하였다^[1]. M.P.

Kennedy가 발표한 상용화된 부품으로 제작할 수 있는 Chua 회로^[2]와 이 회로에 관한 논문들^[3-12]이 바탕이 되어 Chua 회로는 혼돈통신 연구에 기본적인 회로로 널리 이용되고 있다.

디지털 정보신호 전송에 관한 통신회로의 경우는 디지털의 1, 0 두 값중 한가지 값에만 혼돈신호를 할당하는 진폭천이변조(amplitude shift keying modulation) 회로에 관한 연구와 고유특성이 같거나 다른 두가지 혼돈신호를 사용하는 주파수천이변조(frequency shift keying modulation) 회로에 관한 연구가 발표되었다^{[3] [13-15]}.

이 논문에서는 대역확산 통신의 변조기에서 사용하는 의사잡음(pseudo noise) 신호와 유사한 특성이 있는 혼돈신호를 확산코드로 사용하는 혼돈 대역확산 통

* 正會員, 淸州大學校 電子工學科
(Chongju University, Electronic Eng. Dept.)

** 正會員, 韓國原子力研究所
(Korea Atomic Energy Research Institute)

*** 正會員, 忠州産業大學校
(Chungju National University of Technology)

接受日字:1997年8月7日, 수정완료일:1998年9月22日

신계통을 제안하고, 기본적인 혼돈신호 발생기인 Chua 회로를 네개 사용하여 주파수가 서로 채배 관계가 되도록 송신부를 구성하고 수신부는 송신부와 구동 동기 방식으로 연결하여 정보신호를 추출하도록 구현한다. 구현한 계통은 PSpice에 의한 모의실험을 통하여 성능을 확인한다.

II. Chua 회로와 동기 이론

1. Chua 회로

아주 간단한 3계자율회로(third order autonomous circuit)인 Chua 회로에서 발생하는 비선형 궤도(nonlinear trajectory)의 "double scroll"이 혼돈적인 현상을 나타낸다고 입증되었다^[3].

그림 1(a)에 Chua 회로를 보이고, (b)와 (c)에 OP amp로 구성된 비선형 저항 N_R 의 회로도 및 $v-i$ 특성을 각각 보인다.

그림 1에 보인 회로에 절점해석법을 이용하고, 비선형 저항 N_R 의 구분적 선형특성을 적용하면, 3차 구분적 선형회로(third-order piecewise-linear circuit)가 되어 다음 식(1)과 같은 방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C_1 \frac{dV_{C_1}}{dt} &= \frac{1}{R} (V_{C_2} - V_{C_1}) - g(V_R) \\
 C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt} &= \frac{1}{R} (V_{C_1} - V_{C_2}) + i_L \\
 L \frac{di_L}{dt} &= -V_{C_2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, $g(V_R) = G_b V_R + \frac{1}{2} (G_a - G_b) \times (|V_R + B_P| - |V_R - B_P|)$

B_P 는 비선형저항 N_R 의 $v-i$ 특성곡선에 서의 구분점(breakpoint)

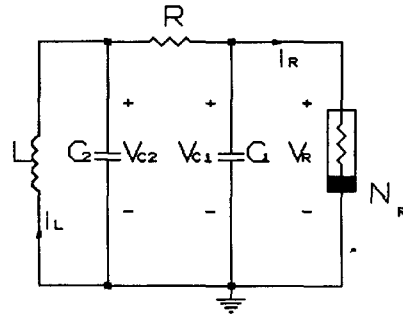
G_a 는 구분점 $\pm B_P$ 안쪽에서의 N_R 의 기울기(admittance)

G_b 는 구분점 $\pm B_P$ 바깥쪽에서의 N_R 의 기울기.

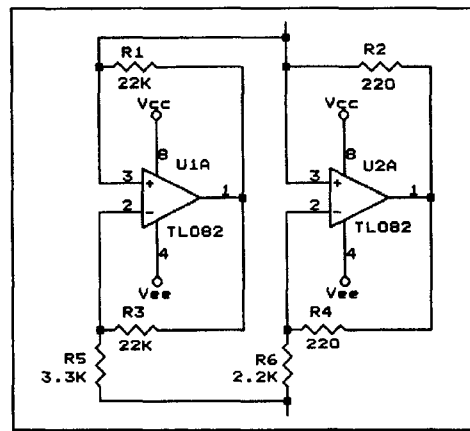
식(1)의 변수를 재조정하면 다음과 같은 상태방정식이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= \alpha [y - x - f(x)] \\
 \dot{y} &= x - y + z \\
 \dot{z} &= -\beta y
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

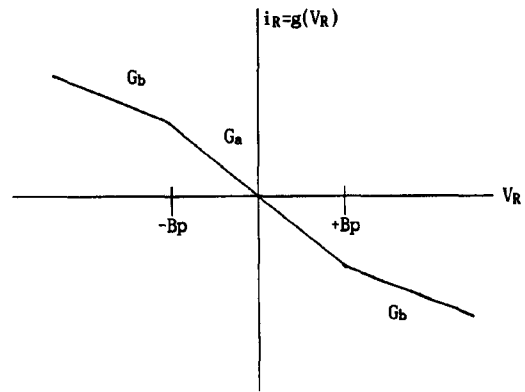
(783)



(a) Chua 회로



(b) Op-amp로 구성된 비선형 저항 N_R



(c) 비선형 저항 N_R 의 $v-i$ 특성

그림 1. Chua 회로와 비선형 저항 N_R 의 회로 및 $v-i$ 특성

Fig. 1. Chua's and nonlinear resistor's circuits and $v-i$ characteristics of nonlinear resistor N_R .

여기서,

$$x = \frac{V_{C_1}}{B_P}, \quad y = \frac{V_{C_2}}{B_P}, \quad z = \frac{i_L}{B_P G}, \quad \tau = \frac{tG}{C_2},$$

$$f(x) = bx + \frac{1}{2} (a-b)(|x+1| - |x-1|),$$

$$a = RG_a, \quad b = RG_b, \quad \alpha = \frac{C_2}{C_1}, \quad \beta = \frac{C_2 R^2}{L}.$$

2. 결합동기(Coupled synchronization)^[16] 이론 선형확산결합(coupled linear diffusion)으로 연결된 두개의 같은 혼돈회로가 모두 똑 같은 혼돈적인 움직임(혹은 궤적)을 갖는다는 것이 V.S. Afraimovich 등에 의해 고찰되었다.

혼돈회로들로서 두개의 똑같은 Chua 회로를 이용하여, 결합저항 R_x 에 의해 X변수가 결합되는 변수 X결합(variable X-coupled) 회로를 그림 2에서 보인다.

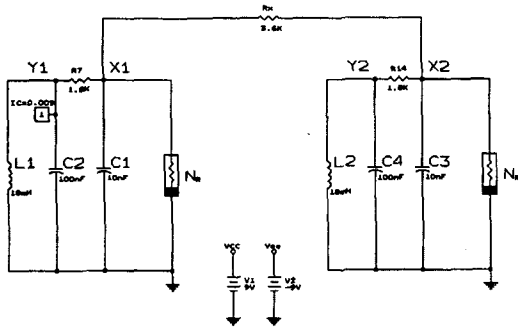


그림 2. 두개의 Chua 회로로 구성된 X 변수 결합회로
Fig. 2. X-coupled circuit using two Chua's circuits..

일반적으로, 선형확산결합 매개변수(linear diffusion coupling parameter)에 의해 결합되는 Chua 회로는 식(3)과 같이 정의된다.

(왼쪽 Chua 회로)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \alpha [y - x - f(x)] + \delta_x (x' - x) \\ \dot{y} &= x - y + z + \delta_y (y' - y) \\ \dot{z} &= -\beta y + \delta_z (z' - z) \end{aligned} \quad (3)$$

(오른쪽 Chua 회로)

$$\begin{aligned} \dot{x}' &= \alpha [y' - x' - f(x')] + \delta_x (x - x') \\ \dot{y}' &= x' - y' + z' + \delta_y (y - y') \\ \dot{z}' &= -\beta y' + \delta_z (z - z') \end{aligned}$$

여기서, $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ 는 각각 x, y, z 결합에서의 결합변수를 의미한다.

식(3)에서 정의한 두 Chua 회로의 차이를 시스템 $\xi(\tau) = p(\tau), q(\tau), r(\tau)$ 라 놓으면, 다음 식(4)의 관계가 구해지고,

$$\begin{aligned} p(\tau) &= x(\tau) - x'(\tau) \\ q(\tau) &= y(\tau) - y'(\tau) \\ r(\tau) &= z(\tau) - z'(\tau) \end{aligned} \quad (4)$$

식(3)과 식(4)로부터 다음과 같은 차에 관한 일반식이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \dot{p} &= \alpha q - \alpha p - \alpha [f(x) - f(x')] - 2\delta_x p \\ \dot{q} &= p - q + r - 2\delta_y q \\ \dot{r} &= -\beta q - 2\delta_z r \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)는, 구분적 선형특성을 갖기 때문에 식(6)과 같은 행렬식으로 줄일 수 있지만,

$f(x) - f(x') = f'(n)(x - x')$ 이고, $f'(n)$ 은 두개의 값 $a(=RG_a)$ 와 $b(=RG_b)$ 를 갖으므로, 식(6)에서 행렬 A 는 두개의 표현을 갖는다.

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 행렬 A 는 다음 두 행렬

$$\begin{bmatrix} -a - \alpha a - 2\delta_x & \alpha & 0 \\ 1 & -1 - 2\delta_y & 1 \\ 0 & -\beta & -2\delta_z \end{bmatrix} \text{ 이나 } \begin{bmatrix} -a - \alpha b - 2\delta_x & \alpha & 0 \\ 1 & -1 - 2\delta_y & 1 \\ 0 & -\beta & -2\delta_z \end{bmatrix} \text{ 이다.}$$

위 식(6)이 변수 x, y, z 결합 시스템의 차 시스템을 행렬로 표현한 일반식이며, 이 행렬의 모든 고유값(eigenvalue)의 실수부가 음(-)이면 식(6)의 평형(equilibrium)은 안정하다는 것을 의미한다.

따라서, 이제 앞의 그림 2에서 결합저항 R_x 에 의해 결합되는 변수 X결합 회로는 X결합만을 고려하므로 Y, Z 결합에서의 결합변수 δ_y, δ_z 는 무시되어 다음과 같은 상태방정식으로 정의할 수 있다.

(왼쪽 Chua 회로)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \alpha [y - x - f(x)] + \delta_x (x' - x) \\ \dot{y} &= x - y + z \\ \dot{z} &= -\beta y \end{aligned}$$

(오른쪽 Chua 회로) (7) 표현된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}' &= \alpha [y' - x' - f(x')] + \delta_x(x - x') \\ \dot{y}' &= x' - y' + z' \\ \dot{z}' &= -\beta y' \end{aligned}$$

식(7)에서 차 시스템으로 다음 식(8)이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \dot{p} &= -\alpha p - S_1 \alpha p - 2\delta_x p + \alpha q \\ \dot{q} &= p - q + r \\ \dot{r} &= -\beta q \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)의 특성방정식은 다음 식(9)로 구해진다.

$$\lambda^3 + k\lambda^2 + \rho\lambda + \sigma = 0 \quad (9)$$

여기서, $k = \alpha + S_n \alpha + 2\delta_x + 1$,

$$\rho = S_n \alpha + 2\sigma_x + \beta,$$

$$\sigma = \alpha + S_n \alpha + 2\delta_x,$$

$$\alpha = C_2 / C_1 = C_4 / C_3,$$

$$\beta = C_2 R_7^2 / L_1 = C_4 R_7^2 / L_2,$$

$$a = R_7 G_a, \quad b = R_7 G_b, \quad \delta_x = C_2 R / C_1 R_x.$$

위 식이 필요조건으로서 $\sigma > 0, \rho > 0, k\rho - \sigma > 0$ 을 만족한다면, $p = q = r = 0$ 은 안정점이고, 두 혼돈회로는 동기한다.

3. 구동동기

L.M. Pecora와 T.L. Carrol은 한 쌍의 혼돈적인 회로나 계통들이 구동동기되어질 수 있다는 것을 이론과 실험으로 발표하였다^[17-19].

[구동동기 개념]

동기되어질 한 쌍의 혼돈계통들 중에서, 구동계통(drive system)이라 불리는 첫 번째 혼돈계통에서, 반응계통(response system)이라 불리는 두 번째 혼돈계통에, 구동계통이 갖는 상태변수들 중의 몇 개만을 전송하면, 전송된 몇 개의 상태변수들에 의해 전송되지 않은 나머지 상태변수들도 반응계통에서 발생됨으로써 구동동기를 이룩한다.

이 방법을 자주적 n차원 역학계통(autonomous n-dimensional dynamical system)으로 먼저 살펴보고 이 논문에서 사용한 Chua 회로에 적용시켜 본다.

자주적 n차원 역학계통은 일반적으로 식(10)과 같이

$$\frac{du}{dt} = F(u) \quad (10)$$

위 계통을 두개의 부계통(subsystem)으로 나누면 다음 식과 같이 기술할 수 있다.

$$\begin{aligned} u &= (v, w) \\ \frac{dv}{dt} &= G(v, w), \quad \frac{dw}{dt} = H(v, w) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $v = (u_1, \dots, u_m), G = (F_1, \dots, F_m)$,

$w = (u_{m+1}, \dots, u_n), H = (F_{m+1}, \dots, F_n)$.

새로운 부계통 w' 를 도입하여, 식(11) 안에 있는 부계통들과 함께 아래와 같이 다시 쓰자.

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= G(v, w), \quad \frac{dw}{dt} = H(v, w) < \text{구동계통} \\ \frac{dw'}{dt} &= H(v, w') < \text{반응계통} \end{aligned} \quad (12)$$

식(12)에서 $w'(t)$ 의 궤적(trajjectory)이 $w(t)$ 의 궤적에 점근적으로 수렴하고 수렴 후에는 같은 궤적을 유지한다면, 즉 반응계통의 CLEs(Conditional Lyapunov Exponents)가 모두 음(-)이라면 두개의 계통 w 와 w' 는 구동동기한다.

그림 3에서, X 구동동기에 관한 동기회로를 두개의 Chua 회로로 구성하였으며 그림 4에서는 이 구동동기 회로의 변수들이 동기됨을 파형 형태로 보인다.

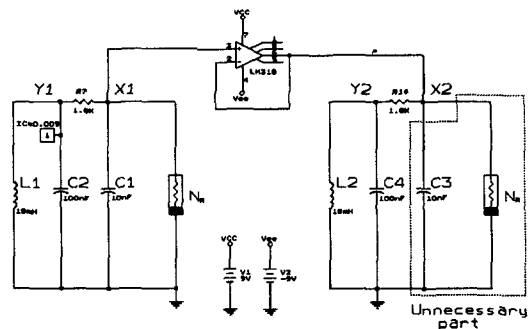


그림 3. 두개의 Chua 회로로 구성된 X 변수 구동회로
Fig. 3. X-variable drive circuit using two Chua's circuits.

그림 3에 보인 두개의 Chua 회로들의 변수 X 구동동기에 대한 수식적인 증명은 다음과 같다.

두 Chua 회로의 상태방정식은 식(13)으로 표현되고,

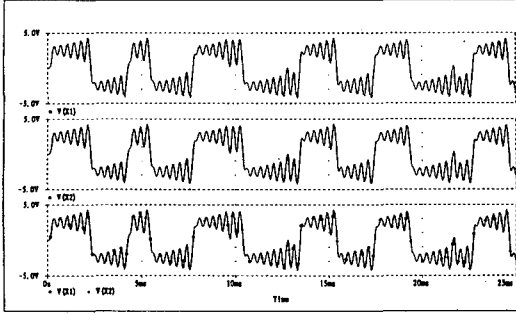


그림 4. 구동동기 파형

Fig. 4. Waveforms of drive synchronization.

(왼쪽 Chua 회로) $\dot{x} = a(y-x-f(x))$

$$\dot{y} = x - y + z$$

$$\dot{z} = -\beta y \quad (13)$$

(오른쪽 Chua 회로의 일부분)

$$\dot{y}' = x' - y' + z'$$

$$\dot{z}' = -\beta y'$$

차 계통 $\xi(t)$ 는,

$$\xi(t) = \dot{w}(t) - \dot{w}'(t) = h(v, w) - h(v, w') \quad (14)$$

으로 기술할 수 있고, Chua 회로는 구분적 선형이므로, 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{\xi}(t) = A\xi(t) \quad (15)$$

여기서, A는 $(n-m) \times (n-m)$ 인 상수행렬이고, 행렬 A의 고유값들의 실수부가 CLE이며, CLE가 모두 음이면 동기 [17-19].

따라서 그림 3에서 보여지는 변수 X 구동동기의 두 Chua 회로의 차 계통 $\xi(t)$ 는 식(16)의 행렬식으로 정의되고,

$$\begin{bmatrix} \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ \beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ r \end{bmatrix} \quad (16)$$

이 식의 고유값들은 $-\frac{1}{2} \pm j\sqrt{4\beta-1}$ 이고, CLE는 $(-0.5, -0.5)$ 이므로 그림 3의 구동계통과 반응계통은 동기한다.

4. 혼돈신호의 체배

결합저항 R_x 에 의해 결합된 두개의 Chua 회로의 상태방정식은 식(7)과 같으며, 식(5)와 식(8)에 의해

구해지는 특성방정식은 식(9)와 마찬가지로 식(17)로 얻어진다.

$$\lambda^3 + (a + S_n a + 2\delta_x + 1)\lambda^2 + (S_n a + 2\delta_x + \beta)\lambda + \beta(a + S_n a + 2\delta_x) = 0 \quad (17)$$

여기서, $a = C_2/C_1 = C_4/C_3$,

$$\beta = C_2 R_7^2 / L_1 = C_4 R_{14}^2 / L_2,$$

$$a = R_7 G_a, \quad b = R_7 G_b.$$

선형화산결합된 한 쌍의 혼돈회로 중에서, 한 혼돈 회로에 대해 나머지 다른 혼돈회로의 인덕터 L이나 커패시터 C의 값을 동시에 동일한 비율로 변화시킨다 하더라도, 앞 식의 변수 a와 변수 β 의 값이 변하지 않으므로 특성방정식에 미치는 영향이 없음을 알 수 있고, 따라서 계통의 혼돈 고유특성은 변하지 않고 주파수만 체배관계가 있는 혼돈신호가 발생된다 [20].

식(13)에서 구해지는 변수 X결합 동기를 위한 결합 변수 δ_x 의 값은 이 논문에서 이용한 Chua 회로의 경우 (즉, 파라미터의 셀(set)이 $a=10.0, \beta=18.0, a=-1.36, b=-0.77$ 인 경우), 충분조건하에서 모두 8개의 값이 찾아지며, 가장 큰 값으로 $\delta_x > 5.8$ 이 얻어지나, 실험적으로는 $\delta_x=0.5$ 에서 동기가 이루어졌다.

충분조건만 만족시키는 이론값과 실험값의 오차 때문에 R_x 값은 실험에 의해 적절한 값을 선정함이 타당하다. [21]

III. 혼돈 대역확산 계통 설계

혼돈신호의 체배동기에 대한 이론을 토대로 네가지 체배 관계의 혼돈신호를 사용하는 혼돈 대역확산 계통을 구현하였다. 그림 5는 설계된 계통의 구성도를 보인다.

설계한 혼돈 대역확산 계통은 변조계통(송신부)과 복조계통(수신부)으로 구성되며, 변조계통은 혼돈신호 발생부와 멀티플렉서 기능의 스위치부로 구성되고 복조계통은 혼돈신호 복조회로와 신호 검출회로로 구성된다.

그림 5에서, 전송하려는 정보의 입력은 스위치부로 입력되며, 스위치부에서는 이진 입력정보의 네가지 레벨(00, 01, 10, 00)에 따라 네가지 혼돈 체배신호중 한가지를 선택하여 입력정보 시퀀스 동안 전송채널로 출력된다.

혼돈신호 특성은 광대역성이고 잡음신호와 유사하여

정확한 복조기가 없으면 수신이 불가능하여 정보 보안이 유지된다.

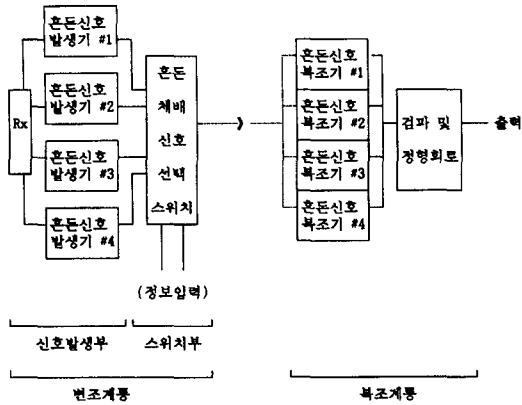


그림 5. 혼돈 대역확산 계통 구성도
Fig. 5. Configuration of chaotic spread spectrum system.

1. 변조계통

그림 6에서, 변조계통은 네개의 혼돈신호 발생기로 구성되며, Chua 회로를 사용한 기본 혼돈신호 발생기와 체배율이 각각 다른 세개의 혼돈신호 발생기로 구성된다.

체배율은 L과 C들의 값들을 기준 값에 대해 0.8, 0.6, 0.4배로 임의로 정함으로써 기본 혼돈주파수에 대해 1.25배, 1.67배, 및 2.5배로 계산된다. 그림 7은 설계된 네가지 혼돈신호를 발생시키는 회로를 보인다.

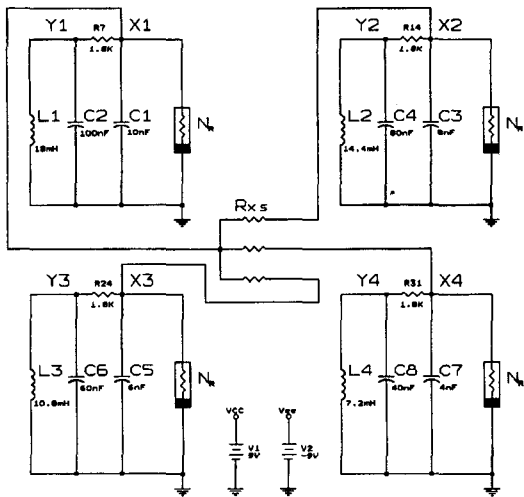


그림 6. 네가지 혼돈신호를 발생시키는 회로
Fig. 6. Generating circuit of quarternary chaotic signals.

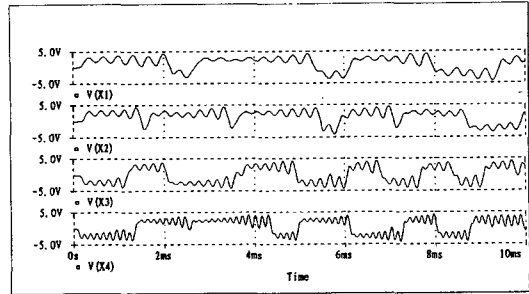


그림 7. 네가지 체배관계 혼돈신호들의 파형.
Fig. 7. Waveforms of quarternary chaotic signals.

2. 복조계통

복조계통은 앞 그림 5에 보인 바와 같이 전송된 혼돈 반송파를 복조하기 위해서 네개의 복조회로를 사용한다. 이 네개의 복조회로는 변조계통의 혼돈신호 발생회로 및 신호에 각각 대응하는 구동동기의 반응계통으로 설계될 수 있다.

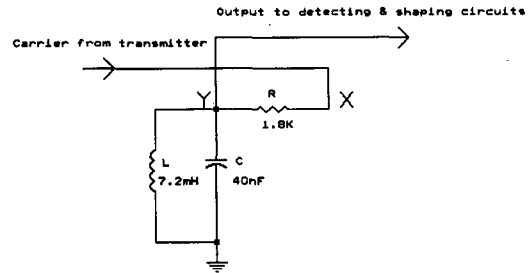


그림 8. 2.5체배 관계의 복조회로의 예
Fig. 8. Example of demodulation circuit for multiplication 2.5 of frequency.

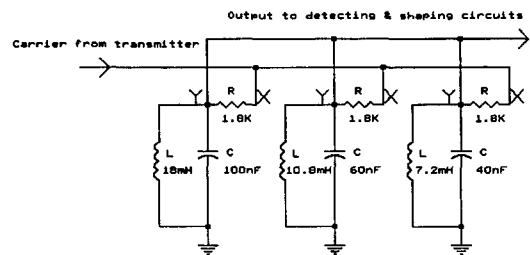


그림 9. 세개의 복조회로로 구성된 복조계통
Fig. 9. Demodulation system composed of three demodulation circuits.

예로, 2.5체배 관계의 혼돈신호를 복조하는 회로는 그림 8과 같다. 또한 입력정보의 네가지 형태중 세가지 만에 해당하는 복조회로들을 갖는 복조계통도 설계될 수 있다. 이때는 복조회로를 갖지 않는 디지털 정보는 출력신호가 검출되지 않을 것이므로 신호가 검출

되지 않는 기간 동안은 복조회로를 갖지 않는 입력정보로 간주하면 된다.

그림 9에 세계의 복조회로만을 갖는 복조계통을 보인다. 이 복조계통에서는 1.25채배 관계의 혼돈 주파수 신호에 동기되는 복조회로가 생략되었다.

IV. 실험 및 고찰

설계된 혼돈 대역확산 계통은 PSpice 툴을 사용한 모의실험을 통하여 성능을 확인하였다.

모의실험 결과들로서, 그림 10은 혼돈신호 발생부에서 발생된 네가지 혼돈신호가 순차적인 입력 정보(00, 01, 10, 11)를 변조시켜 전송 채널로 보내진 반송파의 파형을 보이고 있다. 네가지 레벨의 입력 신호가 각각 2.5ms 동안씩 지속되는 디지털 신호로 모의하였으며, 2.5ms, 5.0ms, 7.5ms에서 혼돈 주파수가 바뀔음을 알 수 있다.

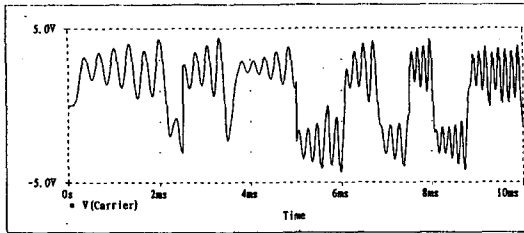


그림 10. 입력정보 신호에 따라 변조된 파형(반송파)
Fig. 10. Modulated waveform(carrier) by input information signals.

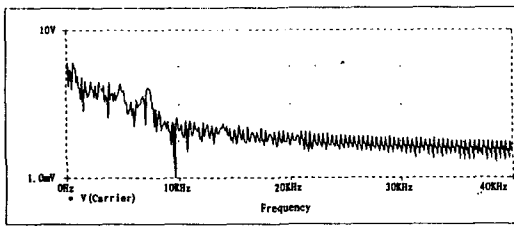


그림 11. 그림 10에 보인 반송파의 주파수 스펙트럼
Fig. 11. Frequency spectrum of carrier shown in fig. 10.

그림 11은 그림 10에 보인 반송파의 주파수 스펙트럼을 보인다. 그림에서 알 수 있듯이 중심 주파수가 나타나지 않는 광대역 특성을 보이고 있다.

그림 12는 구동동기에 의해 복조계통에 수신된 반송파에서 해당 혼돈신호 Y4가 발생되는 것을 보이고

있다. 그림에서 2.5ms 부근과 5ms 부근에서의 약간 큰 잡음성 파형들은 스위칭 동작시의 시간지연 동안 다른 혼돈신호가 동기되는 영향과 채터링의 영향으로 판단되며, 다음 단에 이어지는 정형회로를 통과하면서 무시되므로 원래의 정보신호를 복원하는데는 영향을 미치지 않는다.

그림 13은 복조계통에서 발생된 Y2, Y3, Y4 신호의 파형을 보이고, 그림 14에서는 그림 13에서 보여진 신호들의 주파수 특성을 보인다.

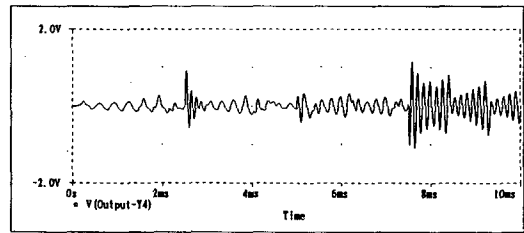


그림 12. 복조계통에서 구동동기된 Y4 신호
Fig. 12. Signal Y4 generated by drive sync. in demodulated part.

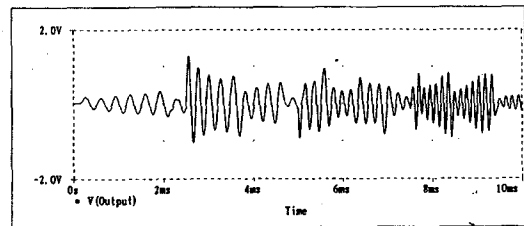


그림 13. 복조계통에서 구동동기된 Y2, Y3, Y4 신호들의 파형
Fig. 13. Signals Y2, Y3, Y4 generated by drive synchronization in demodulated part.

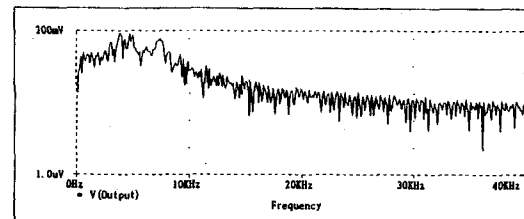


그림 14. 그림 13에 보인 복조회로 출력의 주파수 스펙트럼
Fig. 14. Frequency spectrum of output of demodulation circuit shown in fig. 13.

V. 결론

광대역 특성인 혼돈신호를 대역확산 통신시스템에 응

용하기 위하여, 기본적인 혼돈신호 발생회로인 Chua 회로로 구성된 혼돈회로에서 혼돈신호의 고유특성이 변하지 않도록 유지하면서 혼돈 주파수만을 채배하는 기법을 사용하여 기존의 대역확산 계통중 주파수 도약 방식과 유사하게 복극 4레벨 혼돈 대역확산 계통을 설계하고 구현하였다.

변조계통은 혼돈회로의 결합동기 방식을 이용하여 기본 혼돈회로, 1.25채배, 1.67채배, 2.5채배의 네가지 혼돈신호 발생기와 입력 신호의 네가지 이진(binary) 레벨에 따른 혼돈 채배주파수 선정을 위한 스위치부로 설계되었다. 결합동기 회로에서의 확산 저항 값은 아직까지는 결합 매개변수 8의 충분조건만 구해지므로 모의실험을 통해 최적 값으로 선정하였으며, 구해진 저항 값은 1.25채배, 1.67채배, 2.5채배 각각에 대해 50K Ω , 141K Ω , 160K Ω 에서 설계된 채배 혼돈신호들을 발생시킬 수 있었다.

복조계통은 혼돈신호의 구동동기 방식으로 구성된 세계의 복조회로로 구성하였으며, 네개 이하의 신호검출 혼돈회로도 설계될 수 있도록 하였다. 이 계통에서는 네가지 혼돈신호가 혼합된 수신 신호중 복조회로와 고유특성이 일치하는 신호만이 구동동기가 이루어져 원래의 혼돈 변조신호가 구분되어 복원되었다.

혼돈 대역확산 계통에서의 주파수 대역확산은 혼돈 신호의 잡음과 유사한 특성에 따라 혼돈신호 자체에 의해 이루어지며, 외부로부터 별도의 확산 코드를 필요로 하지 않기 때문에 기존의 대역확산 계통보다 구성이 간단해진다.

설계된 혼돈 대역확산 계통은 MicroSim사의 PS pice 틀인 Design Center ver. 6.1을 이용한 모의실험을 통하여 기능을 확인하였으며, 실험결과 변조부에서는 입력 정보에 따라 채배된 혼돈신호에 의해 확산 변조가 이루어졌으며, 수신에서는 네가지 혼돈신호가 혼합된 반송파에서 원래의 정보신호에 해당하는 혼돈 신호가 구분되어 복원되었다. 송·수신단에서의 주파수 특성은 중심 주파수가 나타나지 않는 광대역 특성을 보였다.

그러나 이론적으로 혼돈회로의 주파수 대역은 제한이 없으나 지금까지 개발되어 발표된 혼돈회로의 주파수 대역은 수 십KHz 범위에 있어 고주파 통신에의 응용은 제한적이나 현재 외국에서는 보다 높은 주파수 - 그 중 한가지 방법은 비선형저항 N_R 의 특성 조정 - 의 혼돈 대역확산통신 개발연구가 진행되고 있

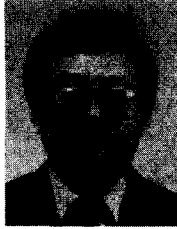
으며, 또 다른 일환으로 기존의 의사잡음 코드 개념을 도입하면 가능하리라 기대된다. 또한 Gaussian Noise 환경에서의 복조능력에 대한 연구는 추후 과제로 남겨둔다.

참 고 문 헌

- [1] A.V. Oppenheim, G.W. Wornell, S.H. Isabelle, and K.M. Cuomo, "Signal processing in the context of chaotic signals", ICASSP-92, IEEE Int. Conf. on Acoustic, Speech and Signal Processing, IV, pp. 117-120, Sanfrancisco, USA, 1992.
- [2] M.P. Kennedy, "Robust OP amp realization of Chua's circuit", Frequenz, vol. 46, pp. 66-80, Mar.-Apr. 1992.
- [3] T. Matsumoto, L.O. Chua and M. Komuro, "The double scroll", IEEE Trans. on Circuits and Systems, vol. CAS-32, pp. 797-827, Aug. 1985.
- [4] M.P. Kennedy, "Three steps to chaos - Part I : Evaluation", IEEE Trans. on Circuits and Systems-I : Fundamental Theory and Applications, vol. 40, pp. 640-656, Oct. 1993.
- [5] M.P. Kennedy, "Three steps to chaos - Part II : A Chua's circuit primer", IEEE Trans. on Circuits and Systems - I : Fundamental Theory and Applications, vol. 40, pp. 657-674, Oct. 1993.
- [6] L.O. Chua, M. Komuro and T. Matsumoto, "The double scroll family Parts I and II", IEEE Trans, on Circuits and Systems, vol. CAS-33, pp. 1073-1118, 1986.
- [7] T. Matsumoto, "Bifurcation of the double scroll", IEEE proc. of 24th conf. on Decision and Control, pp. 455-460, Dec. 1985.
- [8] L.O. Chua and A.C. Deng, "Canonical piecewise-linear modeling", IEEE Trans. on Circuits and Systems, pp. vol. CAS-33, pp. 511-525, May 1986.
- [9] L. Yang and Y. Liao, "Letters to the editor : Self-similar bifurcation structures

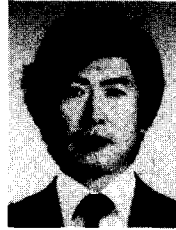
- from Chua's circuit", *Int. J. Circuit Theory and Applications*, vol. 15, pp. 189-192, Sept. 1987.
- [10] T. Matsumoto, "A chaotic attractor from chua's circuit", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, vol. CAS-31, pp. 1055-1058, Dec. 1984.
- [11] L.O. Chua, "The genesis of chua's circuit", *Archivfur Elektronik and Ubertragungstechnik*, vol. 46, pp. 250-257, 1992.
- [12] L.O. Chua, "Chua's circuit 10 years later", *Int. J. of Circuit Theory and Applications*, vol. 22, pp. 279-305, Jul.-Aug. 1994.
- [13] M. Itoh, H. Murakami, and L.O. Chua, "Communication systems via chaotic modulations", *IEICE Trans. Fundamentals*, (JTC-CSCC '93), vol. E77-A, pp. 1000-1005, June 1994.
- [14] H. Dedieu, M.P. Kennedy, and M. Hasler, "Chaos shift keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits", *IEEE Trans. on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, vol. 40, no. 10, pp. 634-642, Oct. 1993.
- [15] 정종은, 박진수, "결합동기와 구동동기를 이용한 카오스 주파수 천이 변·복조 회로", *대한전자공학회*, 제 33 권, B-7호, pp. 1106-1117, 1996. 7
- [16] V.S. Afraimovich, N.N. Verichev and M.I. Rabinovich, "Stochastic synchronization of oscillations in dissipative systems", *Izv. vuz. Radiofiz. RPQAEC.*, vol. 29, pp. 1050-1060, Sep. 1986.
- [17] L.M. Pecora and T.L. Carroll, "Synchronization in chaotic systems", *Physical Rev. Letters*, vol. 64, pp. 821-824, Feb. 1990.
- [18] L.M. Pecora and T.L. Carroll, "Driving systems with chaotic signals", *Physical Rev. Letters*, vol. 44, pp. 2374-2383, Aug. 1990.
- [19] L.M. Pecora and T.L. Carroll, "Synchronizing chaotic circuits", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, vol. 38, pp. 453-456, Apr. 1991.
- [20] K.H. Park and W.S. Chung, "Simulation of fast synchronization in chaotic systems", *KITE J. of Electronic Engineering*, vol. 7, no. 2, June 1996.
- [21] L.O. Chua, M. Itoh, L. Kocarev, and K. Eckert, "Chaos synchronization in Chua's circuit", *J. of Circuits, Systems and Computers*, vol. 3, no. 1, pp. 93-108, 1993.

저 자 소 개



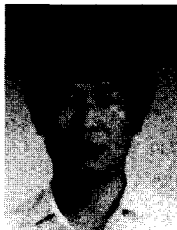
柳 忠 鉉(正會員)

1978년 8월 서울대학교 공과대학 공업교육학과 전기전공(공학사). 1988년 12월 University of South Florida, 대학원 전자공학과(공학석사). 1991년 12월 University of South Florida, 대학원 전자공학과(공학박사). 1992년 3월 ~ 현재 청주대학교 전자공학과 조교수



鄭 鍾 激(正會員)

1977년 2월 한양대학교 공과대학 전자공학과(공학사). 1983년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1997년 2월 청주대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1979년 2월 ~ 현재 한국원자력연구소 책임연구원



朴 廣 炫(正會員)

1977년 2월 한양대학교 공과대학 전자통신공학과(공학사). 1989년 2월 청주대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1996년 8월 청주대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1980년 7월 ~ 1996년 한국원자력연구소 선임연구원. 1997년 1월 ~ 현재 충주산업대학교 전자통신과 전임강사



朴 鎭 秀(正會員)

1975년 2월 한양대학교 공과대학 전자공학과(공학사). 1977년 2월 한양대학교 대학원 전자통신과(공학석사). 1985년 2월 한양대학교 대학원 전자통신과(공학박사). 1978년 3월 ~ 현재 청주대학교 전자공학과 교수