등가손실 전송선로를 가진 Chua 회로에서의 카오스 동기화 및 암호화 통신에 관한 연구

배 영 철*

A study on chaos synchronization and secure communication of Chua's circuit with equivalent lossy transmission line

Young-Chul Bae

요 약

Chua 회로는 어트렉터와 다양한 분기를 나타내는 간단한 전자 회로로 2개의 캐패시터, 인덕터, 선형 저항 그리고 비선형 저항으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 두 개의 동일한 Chua 회로를 이용하여 송신부와 수신부를 구성하고 이 사이에 등가 손실 전송선로를 카오스 동기화 및 암호화 통신 방법에 대하여 연구하였다. 손실 등가 전송 시스템의 동기화는 결합 동기 이론을 적용하기 곤란하기 때문에 구동 동기 이론과 결합 동기 이론을 결합한 구동-결합 동기 이론을 제안하였다. 두 개의 동일한 Chua 회로에 등가 손실 전송 선로를 두어 전송로를 구성한 후 송신부와 전송선로 사이는 구동-결합 동기 이론을, 전송선로와 수신부 사이는 결합 동기 이론을 적용한 동기화 방법을 제시하였다. 손실 등가 전송 선로를 가진 Chua 회로의 카오스 암호화 방법은 송신부에서 카오스 신호화 정보 신호를 가산기를 이용하여 합성한 후 수신부에서 이들 신호를 분리하는 복조 방법을 제안하였다.

ABSTRACT

Chua's circuit is a simple electronic network which exhibits a variety of bifurcation and attractors. The circuit consists of two capacitors, an inductor, a linear resistor, and a nonlinear resistor.

In this paper, a transmitter and a receiver using two identical Chua's circuits are proposed and synchronizations and secure communication of a lossy equivalent transmission are investigated. Since the

* 여수대학교 전기공학과

접수일자 : 1999년 12월 31일

synchronization of the lossy equivalent transmission system is impossible by coupled synchronization, theory having both the drive-response and the coupled synchronization is proposed.

The proposed method is synthesizing the desired information with the chaos circuit by adding the information signal to the chaos signal in the lossy equivalent transmission system.

Ⅰ. 서 론

카오스(chaos)는 공학적으로 "결정론적 비선형 동적 시스템으로부터 생성되는 복잡하고 잡음과 같은 현상"이라고 말하며 여러 분야에서 말하고 있는 카오스 또는 카오스 공학의 의미는 "불규칙천이 현상"에 중점을 둔 의미로 쓰인다.

최근에 카오스 현상에 대한 관심이 물리학, 화학, 생물학, 의학 및 공학 등에서 높아지고 있으며 이에 대한 응용이 활발하게 진행되고 있다.[1-5] 또한 간단한 전기 및 전자 회로를 구성하여 카오스를 생성하는 논문이 다수 발표되고 있으며[6-8] 이를 대표하는 것으로 Chua 회로를 들 수 있다.[9-10]

Chua 회로는 매우 단순한 자율 3차계 시스템으로 가역적(reciprocal)이며 1개의 비선형 소자인 3구분 선형 저항(3-segment piecewise-linear resistor)과 4개의 선형 소자 (R, L, C_1, C_2)로 구성되는 발진 회로로 확률적 공진(stochastic resonance), 신호 증폭, 1/f 잡음 현상, 카오스 간헐성(intermittency), 주기 배증(periodic doubling), 주기적 가산(periodic adding), 나선형파(spiral wave), 자기유사성(self-similarity), 보편성(universality) 등의 현상이 관찰되고 있어 카오스 및 그 응용 연구에 중요한 역할을 하고 있다.

카오스 암호화 통신을 위해서는 카오스 동기화가 선행되어야 하며 Chua 회로를 이용하여 카오스 동기화를 구현하고자 하는 노력이 계속되고 있으며 몇몇 관심있는 발표도 나오고 있다.[11-14]

Chua 회로를 이용한 카오스 동기화 및 암호 통신 방법은 전송 채널을 이상적인 채널로 가정하여 동기화를 이룬 후 암호 통신을 행한다[11-14]. 이러한 방법은 잡음과 신호 왜곡이 없어 완전한 동기화를 이루며 따라서 암호 통신에서도 좋은 보안성과 우수한 암호 복조 능력을 갖는 것으로 알려져 있으나 실제 선로에 적용할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

카오스 동기화 방법은 결합 동기 이론[13], 구동 동기 이론[11]이 제시되어 있으나 결합 동기의 경우 단순히 결합 저항을 연결하여 동기화를 이루며 구동 동기 이론은 구동부(송신부)와 응답부(수신부)가 안정하지 않으면 구동이 되지 않는 단점을 가지고 있다.

이에 본 논문에서는 전송 선로의 동기화 및 암호화 통신에 쉽게 적용할 수 있는 등가손실 전송 선로를 가진 회로의 동기화 방법을 구동-결합 동기와 결합 동기 방식을 써서 새로이 제시하고, 이 동기화 방법을 Pspice로 구현해 보였다.

또한 실제 선로와 동일한 등가 전송 선로를 Chua 회로 사이에 놓고 손실 등가 전송 선로를 구성한 후 송신부와 수신부의 동기화를 이루고 정보 신호와 카오스 신호를 합성하였으며 수신된 통신 신호에서 정보 신호와 카오스 신호를 분리하는 복조 방법은 카오스 신호에만 동기하는 회로를 구성하고 그 회로에 유입하는 전류 신호를 검출하는 방법으로 구현하였으며 일반 필터링에 의한 복조 결과와 비교 검토하고 파라미터 부정합에 의한 안전성을 평가하고 실제 선로의 적용 가능성을 알아보았다.

Ⅱ. 관계이론

2.1 Chua 회로[9]

저항, 콘덴서, 인덕터로 구성된 자율회로(autonomous circuit)가 카오스 현상을 나타내기 위해서는 적어도 하나의 비선형소자와 하나의 국소적 능동(locally active) 저항 및 3개의 에너지 저장 소자를 가져야한다.[9] Chua 회로는 이 조건을 만족하는 가장 간단한 회로이다.

Chua 회로는 매우 단순한 자율, 3차계 시스템으로 가역성(reciprocal)의 성질을 가지며 1개의 비선형 소자인 3구분 선형 저항(3-segment piecewise-linear resistor) 과 4개의 선형소자(R, L, C_1, C_2)로 구성되는 발진회로이다.

Matsumoto에 의해 제안된 Chua 회로[9]를 그림1에 나타냈으며 상태방정식은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

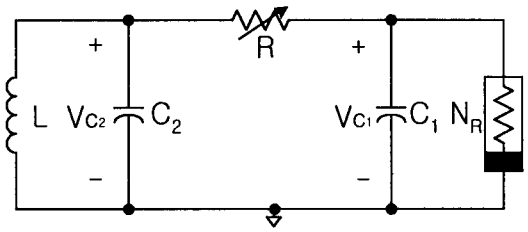


그림 1. Chua 회로
Fig. 1 Chua's circuit

Matsumoto에 의해 제안된 Chua 회로[9]를 그림 1에 나타냈으며 상태방정식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$C_1\frac{dv_{C_1}}{dt} = G\,(v_{C_2} - v_{C_1}) - g(v_{C_1})$$

$$L\frac{di_L}{dt} = -v_{C_2} \qquad \cdots\cdots (1)$$

$$C_2\frac{dv_{C_2}}{dt} = G\,(v_{C_1} - v_{C_2}) + i_L$$

여기서 $G = 1/R$, $g(\cdot)$는 식 (2)와 같이 표현되는 3구분 선형 함수 (3-segment piecewise-linear function) 이며 그림 2에 나타내었다.

$$g(v_R) = m_0 v_R + \frac{1}{2}(m_1 - m_0)[|v_R + B_P| - |v_R - B_P|] \qquad \cdots\cdots (2)$$

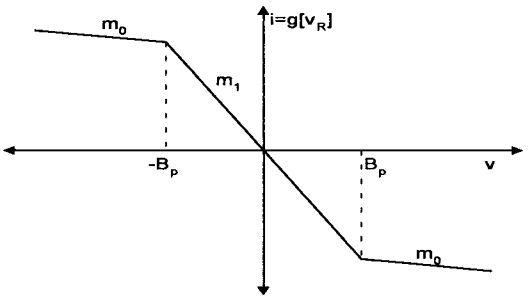
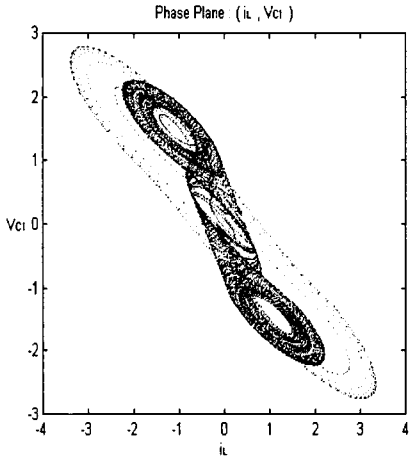


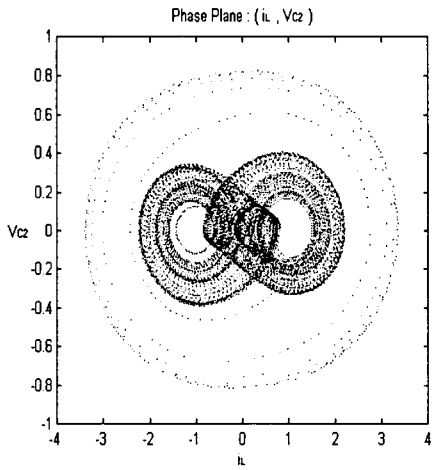
그림 2. 비선형 저항의 전압 전류 특성
Fig. 2. Voltage-current chatacterisric of nonlinear resister

여기서 m_0 는 외부 영역의 기울기, m_1 은 내부 영역의 기울기, $\pm B_P$는 break-point이다.

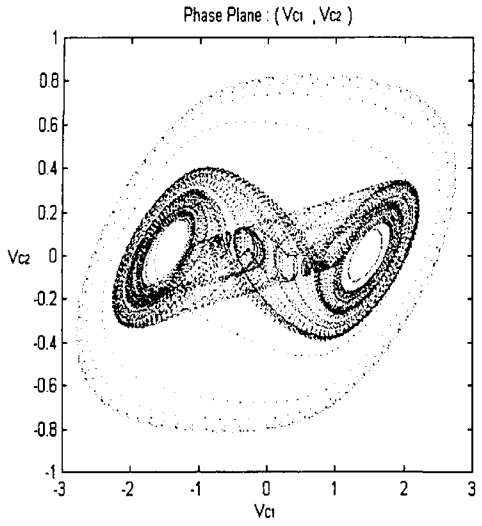
그림 1과 그림 2의 Chua 회로에서의 $1/C_1 = 10$, $1/C_2 = 0.5$, $1/L = 7$, $G = 0.7$, $m_0 = -0.1$, $m_1 = -4$, $B_p = 1$ 로 주고 초기 조건을 $v_{c_1}(0)$ = 2.532735, $v_{c_2}(0)$ = 0.0012585458, $i_L(0)$ = -3.367482 하였을 때 각 단의 전압과 전류를 나타내는 어트렉터를 그림 3에 나타내었다.



(a) (i_L, v_{c_1}) 위상 공간
(a) (i_L, v_{c_1}) phase portrait



(b) (i_L, v_{c_2}) 위상공간
(b) (i_L, v_{c_2}) phase portrait



(c) (v_{c_1}, v_{c_2}) 위상공간

(c) (v_{c_1}, v_{c_2}) phase portrait

그림 3. 카오스 어트렉터

Fig. 3. Chaotic attractor

2.2 등가 전송선로를 가진 Chua 회로

구분 선형 소자를 가진 Chua 회로의 LC 공진기를 한쪽이 단락된 무손실 전송선로로 치환하면 그림 4와 같은 회로를 얻을 수 있다.

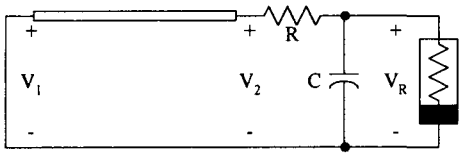


그림 4. 전송 선로를 가진 Chua 회로

Fig. 4. Chua's circuit with transmission lines

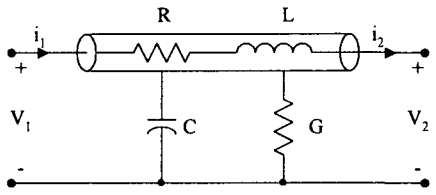


그림 5. 전송 선로

Fig. 5 Transmission lines

Branin는 전송선로의 과도 해석을 위한 특성곡선법을 제안하였다[21].

그림 5와 같은 전송 선로의 특성 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$L\frac{\partial i}{\partial t}+Ri+\frac{\partial e}{\partial x}=0 \quad \cdots\cdots (3)$$

$$C\frac{\partial e}{\partial t}+Ge+\frac{\partial i}{\partial x}=0 \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서 $e(x,t)$와 $i(x,t)$는 시간 t에서 선로 x점의 전압과 전류, R, L, C, G는 단위 길이당의 저항, 인덕턴스, 커패시턴스, 컨덕턴스를 나타낸다.

특성곡선에서 정의된 $\frac{dx}{dt}=\frac{1}{\sqrt{(LC)}}$ 과 $\frac{dx}{dt}=-\frac{1}{\sqrt{(LC)}}$ 를 사용하여 식(3)과 식 (4)를 계산하면 다음식과 같은 상미분 방정식을 유도할 수 있다.

$$\sqrt{\frac{L}{C}}di+(Ri+\sqrt{\frac{L}{C}}\ G\ e)dx+de=0 \quad \cdots\cdots (5)$$

$$-\sqrt{\frac{L}{C}}di+(Ri-\sqrt{\frac{L}{C}}\ G\ e)dx+de=0 \quad \cdots\cdots (6)$$

식(5)는 $\frac{dx}{dt}=\frac{1}{\sqrt{(LC)}}$ 일 때 얻어지며 진행파 특성을 가지고 식(6)는 $\frac{dx}{dt}=-\frac{1}{\sqrt{(LC)}}$ 일 때 얻어지며 반사파 특성을 가진다.

전송선로의 길이를 d라고 하고 일단에서 다른 일단으로의 파의 지연 시간을 $t=\sqrt{LC}d$ 라 놓으면 식(7),(8)과 같은 전압 방정식을 세울 수 있다.

$$e(d,t)=-Z_0 i(d,t)+[e(0,t-\tau)+Z_0 i(0,t-\tau)] \quad \cdots\cdots (7)$$

$$e(0,t)=+Z_0 i(0,t)+[e(d,t-\tau)-Z_0 i(0,t-\tau)] \quad \cdots\cdots (8)$$

식(7)와 식(8)은 입사파와 반사파 전압원을 이용하여 다음과 같은 수식으로 정리 할 수 있다

$$e(d,t)=-Z_0 i(d,t)-e_2(0,t-\tau) \quad \cdots\cdots (9)$$

$$e(0,t)=+Z_0 i(0,t)-e_1(d,t-\tau) \quad \cdots\cdots (10)$$

여기서

$$e_2(0,t) = -[2e(0,t) + e_1(d,t-\tau)] \quad \cdots\cdots (11)$$

$$e_1(d,t) = -[2e(d,t) + e_2(0,t-\tau)] \quad \cdots\cdots (12)$$

이다.

식(9)과 식(10)의 등가 회로를 그림 5에 나타내었다.

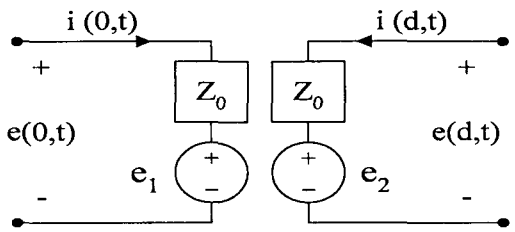


그림 6. 전송 선로의 특성 모델

Fig. 6. Characteristic model of transmission lines

그림 4의 전송선로는 그림 5와 같이 등가 변환되므로 전송선로를 가진 그림 3의 Chua 회로는 그림 6과 같은 새로운 등가회로로 변환할 수 있다.

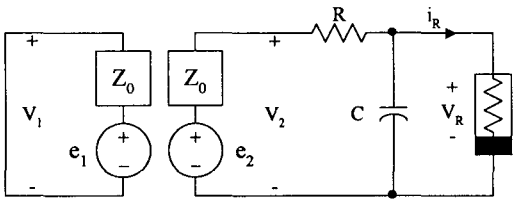


그림 7. 전송 선로를 가진 Chua 회로의 등가회로

Fig. 7. Equivalent Chua's circuit with transmission lines

2.3 등가 전송 선로를 가진 Chua 회로에서의 카오스 동기화

동일한 Chua회로 2개를 송신부와 수신부로 놓고 그 사이에 전송선로를 가진 카오스 회로를 그림 8과 같이 나타내었다.

그림 8에서 동기화를 이루기 위해 Chua 회로의 송신부와 전송 선로 사이를 구동-결합 동기 방법을 적용하고 전송 선로와 수신부 사이는 결합 동기 방식을 적용한 회로를 그림 9에 나타내었다.

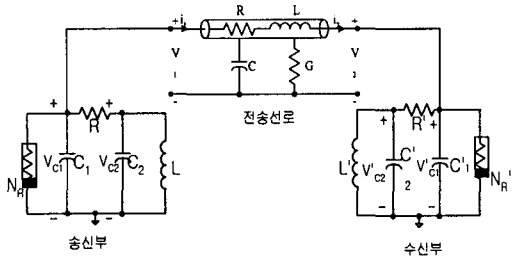


그림 8. 전송선로를 가진 카오스 동기화 회로

Fig. 8 Chaos synchronization circuit with transmission lines

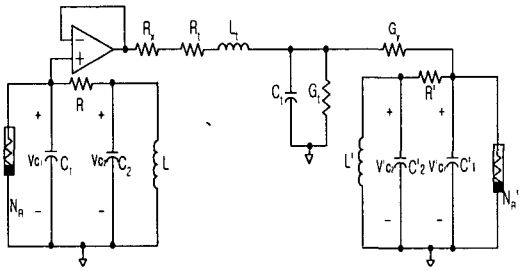


그림 9. 실제 손실 전송선로를 가진 카오스 동기화 회로

Fig. 9 Chaos synchronization circuit with actual lossy transmission lines

그림 9과 같이 동기화 회로를 구성한 이유는 구동 동기가 시스템에 따라 구동하지 못하는 경우가 생기며 결합 동기는 시스템에 불안정한 영역이 발생하여 동기화가 이루어지지 못하는 경우가 나타나기 때문에 본 논문에서는 이들의 문제점을 해결하기 위하여 구동 동기와, 구동-결합 동기 이론을 적용하여 동기화를 이루었다.

그림 9의 실제 전송 선로를 가진 동기화 회로의 상태 방정식을 다음식과 같다.

송신부의 상태방정식

$$C_1 \frac{dv_{c_1}}{dt} = G(v_{c_2} - v_{c_1}) - g(v_{c_1})$$

$$C_2 \frac{dv_{c_2}}{dt} = G(v_{c_1} - v_{c_2}) + i_L \quad \cdots\cdots (13)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -v_{c_2}$$

손실 전송선로부의 상태방정식

$$L_t\frac{di_{L_t}}{dt}=v_{c_1}-(R_x+R_t)i_{L_t}-v_{c_t}$$
$$C_t\frac{dv_{c_t}}{dt}=i_{L_t}-(G_t+G_y)v_{c_t}+G_y v_{c_1}' \quad \cdots\cdots (14)$$

수신부의 상태방정식

$$C_2'\frac{dv_{c_2}'}{dt}=G'(v_{c_1}'-v_{c_2}')+i_L'$$
$$C_1'\frac{dv_{c_1}'}{dt}=G'(v_{c_2}'-v_{c_1}')-g(v_{c_1}')+G_y(v_{c_t}-v_{c_1}')$$
$$L'\frac{di_L'}{dt}=-v_{c_2}' \quad \cdots\cdots (15)$$

$v_x=v_{c_1}-v_{c_1}'$, $v_y=v_{c_2}-v_{c_2}'$, $i_z=i_L-i_L'$라 정의하고 식(13), 식(14), 식(15)에서 차 시스템을 구하면 식(16)와 같이 5차 시스템으로 정리 할 수 있다.

$$C_1\frac{dv_x}{dt}=G(v_y-v_x)-S_i v_x+G_y(v_{c_1}'-v_{c_t})$$
$$C_2\frac{dv_y}{dt}=G(v_x-v_y)+i_z$$
$$L\frac{di_z}{dt}=-v_y$$
$$C_t\frac{dv_{c_t}}{dt}=-G_t v_{c_t}+i_{L_t}+G_y(v_{c_1}'-v_{c_t})$$
$$L_t\frac{di_{L_t}}{dt}=v_{c_1}-v_{c_t}-(R_x+R_t)i_{L_t} \quad \cdots\cdots (16)$$

식(4-6)에서 차 시스템은 시간이 지남에 따라 0으로 수렴해가는, 즉 $\lim_{t\to\infty}|v_x|=\lim_{t\to\infty}|v_y|=\lim_{t\to\infty}|i_z|=0$가 되면 동기화가 이루어지는 것이다.

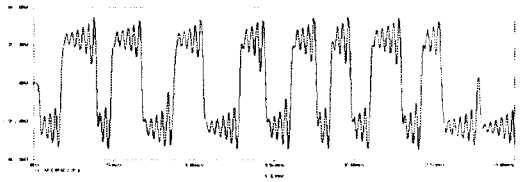
식 (16)을 상태방정식 꼴로 고치고 간략화하기 위해 $x_1=v_x$, $x_2=v_y$, $x_3=i_z$, $x_4=v_{c_t}$, $x_5=i_{L_t}$, $u=v_{c_t}'-v_{c_t}=v_{c_1}-v_{c_t}$라 놓고 정리하면 식(17)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\\ \dot{x}_4\\ \dot{x}_5\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{-(G+S_i)}{C_1} & \frac{G}{C_1} & 0 & 0 & 0\\ \frac{G}{C_2} & \frac{-G}{C_2} & \frac{1}{C_2} & 0 & 0\\ 0 & \frac{-1}{L} & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \frac{-G_t}{C_t} & \frac{1}{C_t}\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-R_t+R_x}{L_t}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\\ x_4\\ x_5\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\frac{G_y}{C_1}\\ 0\\ 0\\ \frac{G_y}{C_t}\\ \frac{1}{L_t}\end{bmatrix}u \quad \cdots\cdots (17)$$

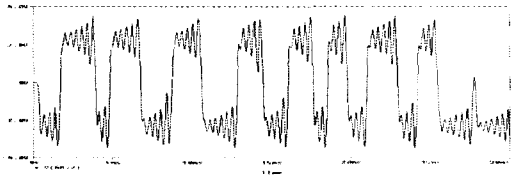
식 (17)에 식 (18)의

$$L,\ L'=18\,mH \quad R_x=780\,\Omega \quad C_t=0.062\,\mu F$$
$$C_1,\ C_1'=10\,nF \quad G_y=0.01\,\Omega \quad G_t=1.5\,\mu\mathrm{℧}$$
$$C_2,\ C_2'=100\,nF \quad R_t=89.7\,\Omega$$
$$R,\ R'=1.74\,K\Omega \quad L_t=0.04\,H \quad \cdots\cdots (18)$$

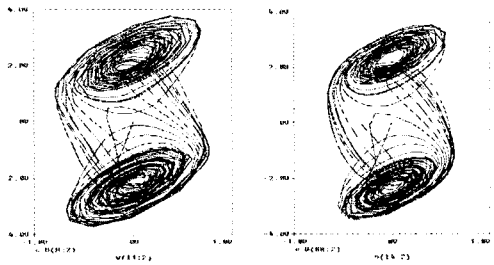
시스템 파라미터를 대입한 특성 방정식으로부터 안정도 판별에 의한 안정한 조건의 R_x와 G_y 값은 $R_x>700\Omega$, $G_y>0.0125\Omega$이 되며 이를 적용한 동기화 결과를 송,수신부의 시계열 데이터, 위상 공간으로 그림 10에 나타내었다.



(a) 송신부의 시계열 데이터
(a) Time series of transmitter

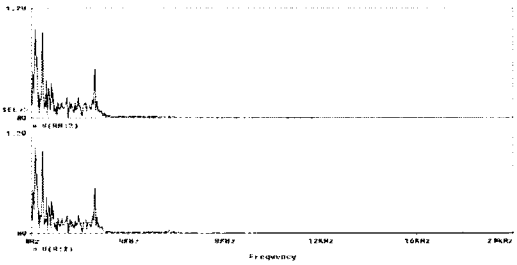


(b) 수신부의 시계열 데이터
(b) Time series of receiver



(c) 송,수신부의 위상공간

(c) Phase portrait of transmission-receiver



(d) 동기화된 송,수신부의 전력 스펙트럼

(d) Power spectrum of synchronized signal

그림 10. 손실 전송선로에서의 카오스 동기화 결과

Fig. 10 Chaos synchronization of lossy transmission lines

2.4 손실 전송선로를 가진 Chua 회로에서의 카오스 암호 통신

동일한 Chua 회로 2개를 송신부와 수신부로 놓고 그 사이에 손실 전송 선로를 가진 비밀 통신 회로를 그림 11에 나타내었다.

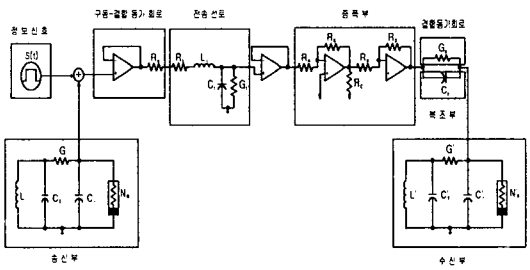


그림 11. 손실 전송선로를 가진 비밀통신 회로

Fig. 11 Secure communication circuit with lossy transmission lines

그림 11에서 송수신부 및 전송선로부의 상태방정식은 다음과 같다

송신부의 상태 방정식

$$C_1\frac{dv_{c_1}}{dt}=G(v_{c_2}-v_{c_1})-g(v_{c_1})$$

$$C_2\frac{dv_{c_2}}{dt}=G(v_{c_1}-v_{c_2})+i_L \qquad \cdots\cdots(19)$$

$$L\frac{di_L}{dt}=-v_{c_2}$$

손실 전송선로의 상태방정식

$$L_t\frac{di_{L_t}}{dt}=v_{c_1}-(R_t+R_x)i_{L_t}-v_{c_t}+S(t)$$

$$C_t\frac{dv_{c_t}}{dt}=i_{L_t}-(G_0+G_t)v_{c_t} \qquad \cdots\cdots(20)$$

수신부의 상태방정식

$$C_1'\frac{dv_{c_1}'}{dt}=G'(v_{c_2}'-v_{c_1}')-g(v_{c_1}')+G_y(v_{c_t}-v_{c_1}')$$

$$C_2'\frac{dv_{c_2}'}{dt}=G'(v_{c_1}'-v_{c_2}')+i_L'$$

$$L'\frac{di_L'}{dt}=-v_{c_2}' \qquad \cdots\cdots(20)$$

식 (19) ~식 (21)에서 송수신부의 상태 변수 차 관계식을 세우고 안정한 시스템이 되도록 $R_x=780[\Omega]$, $G_y=0.005[\mho]$, $C_y=1[\mu F]$로 정하여 시뮬레이션 하였다.

본 논문에서는 카오스 신호에만 동기하는 회로를 구성하고 결합 저항에 흐르는 송신부와 수신부의 전류차를 검출하는 방법으로 정보 신호를 복조하였다.

정보 신호로는 크기 -400[mV] ~ +400[mV], 주기 5[ms]의 구형파를 인가하여 암호화 통신 상태를 비교하였다. 반송파인 송신부의 v_{c_1} 전압 파형을 그림 12에 나타내었으며

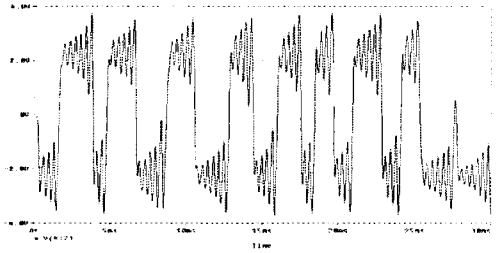


그림 12. 반송파 신호(송신부 신호)
Fig. 12 Carrier signal(transmitter signal)

수신부에서 동기화된 v_{c_1}'의 전압 파형을 그림 13에 나타내었다.

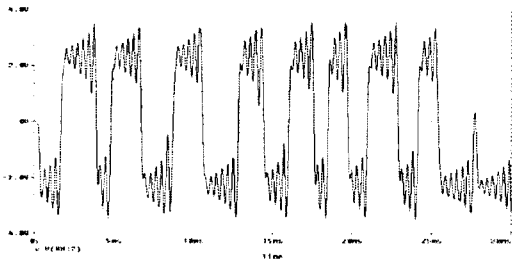


그림 13. 수신부의 카오스 신호
Fig. 13 Chaos signal of receiver

그림 12와 13에서 송신 신호와 수신 신호가 같은 형태를 이루고 있어서 동기화 현상이 이루어짐을 알 수 있다.

도청을 가정하여 선로 중간에서 측정한 신호를 그림 14에 나타내었으며 구형파인 정보 신호와 월등히 다른 모양을 보이고 있어서 도청의 의미가 없음을 알 수 있다

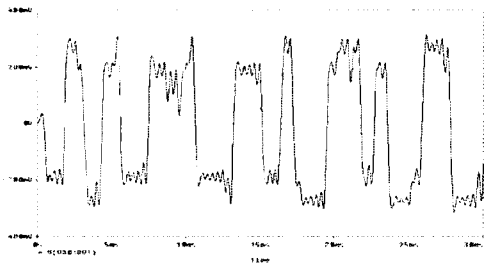


그림 14. 선로 중간에서 도청한 신호
Fig. 14 Wiretapping signal before recovery

복조 신호를 3[kHz]의 차단 주파수를 가진 저역통과 필터를 이용하여 필터링한 결과를 그림 15에 나타내었다.

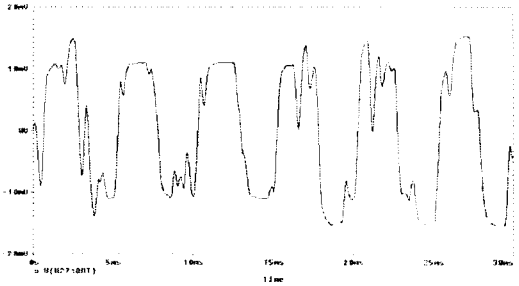


그림 15. 필터링한 후의 복원 신호
Fig. 15 Filtering signal of wiretapping signa

필터링 결과 구형파 형태로 어느 정도 복원 할 수 있었으나 등가 전송선로의 L, C에 의한 동기화의 영향 때문에 복조 성능이 우수하지 않음을 알 수 있다.

Ⅲ. 카오스 비밀 통신에서의 안전성 검토

카오스 회로는 초기치에 민감한 조건 때문에 동일한 2개의 카오스 회로에서 동기화를 이루는 것이 어려운 것으로 알려져 있다.

Chua 회로에서는 파라미터 값이 C_1, C_2, L, G, m_0, m_1을 가지며 두개의 동일한 회로를 구성하여 비밀 통신에 이용하고자 할 때는 이들 파라미터 값이 모두 일치해야만 동기화를 이룰 수 있다. 만약 이들 파라미터 값 중 하나라도 미소하게라도 불일치 한다면 동기화를 이룰 수 없으며 아울러 비밀 통신도 불가능하다.

본 연구에서는 이 파라미터 값을 키 신호로 이용하여 6개의 파라미터 값이 미소하게 불일치 한 경우의 비밀 통신 결과를 나타내었다.

그림 16는 C_1 파라미터 값이 송신부에서 10nF, 수신부에서 9.9nF의 미소하게 불일치 한 경우의 복원 결과를 나타내었다.

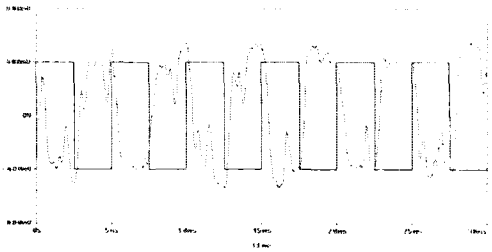


그림 16. 파라미터 송신측 $C_1 = 10nF$, 수신측 $C_1 = 9.9nF$ 일 때의 복원 결과

Fig. 16 The result of parameter mismatch

그림 16에서 보듯이 키 값이 약간 불일치 하는 경우에 그림 15과의 결과와 다르게 나타남을 알 수 있다. 이 결과 선로 중간에서 송수신기와 동일한 Chua 회로를 이용하여 공격한다 할지라도 6개의 파라미터 값을 송수신부의 키값에 의해 랜덤하게 변경한다면 도청은 불가능하며 공격자에 대한 안전성 즉 키를 모르고 공격하는 경우의 안전성을 확보할 수 있다.

실제 다른 파라미터보다 비선형 저항의 기울기인 m_0, m_1은 아주 미소하게 변하여도 큰 효과를 낼 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 전송선로를 가진 Chua 회로에서의 카오스 동기화 및 암호 통신 방법에 대하여 연구하였다. 두 개의 동일한 Chua 회로에 전송 선로를 두어 손실 전송로를 구성한 후 송신부와 전송선로부 사이는 구동-결합 동기 이론을 전송선로와 수신부 사이는 결합 동기 이론을 적용한 동기화 방법을 제시하였으며, 송신부에서 가산기를 이용하여 정보 신호와 카오스 신호를 합성하고 수신부에서 이들 신호를 분리하는 비밀 통신을 행하고 그 안정성을 평가하였다. 앞으로 디지털 방식에 의한 동기화와 실제 전송로의 적용에 대한 비밀 통신의 질적인 향상이 과제로 남는다.

참 고 문 헌

1. 배영철, "카오스의 응용" 전자저널, pp.110-112. 1993.1.20.
2. 배영철, 임화영, "주기적 외력을 인가한 Bonhoeffer-Van der Pol 오실레이터 모델에서의 카오스 현상 해석에 관한 연구 " 한국통신학회논문지, 20권 11호, pp. 2991 - 3000, 1995.
3. T. S. Parker and L. O. Chua, " Chaos: A Tutorial for Enginees" Proc. IEEE, vol. 75, no. 8, pp. 982-1008. 1987.
4. 合原一幸, "바이오 카오스 정보와 그 공학적 응용" 電子工業月報, 제34권, 1호, pp. 30-39, 1993.
5. 제임스 글레리크 "CHAOS: Making A New Science" 동문사.
6. M. Kuramitsu and K. I. Mori, "A simple Electric Circuit Generating chaos" Technical Report IEICE, NLP 93 - 68, pp. 31-38, 1994.
7. Y. Ueda and N. Akamatsu, "Chaotically Transitional phenomena, in the Forced Negative-Resistance Oscillator" IEEE Trans. Circuit and Systems, vol. CAS-28, pp. 217 - 224, 1981.
8. 고재호, 배영철, 임화영, "주기적 외력을 인가한 Bonhoeffer - Van der Pol 오실레이터 모델에서의 카오스 현상 해석에 관한 연구", 1995 제어계측연구회 학술발표회 논문집, pp. 100 - 102, 1995.
9. T. Matsumoto, "A chaotic attractor from Chua's circuit" IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. CAS-31, no. 12, pp. 1055-1058, 1984.
10. G. O. Zhong and F. Ayrom, "Experimental confirmation of chaos from Chua's circuit", Int. J. Circuit Theory and Applications, vol. 13, no. 1, pp. 93-98, 1985.
11. L. M. Pecora and T. L. Carroll "Synchronization in Chaotic System" Phy. Rev. Lett., vol. 64, no. 8, pp. 821-824, 1990.
12. M. Itoh, H. Murakami and L. O. Chua, "Communication System Via Chaotic Modulations" IEICE. Trans. Fundamenrtals.

vol. E77-A, no. 6, pp. 1000-1005, 1994.
13. L. O. Chua, M. Itoh, L. Kocarev, and K. Eckert, "Chaos Synchronization in Chua's Circuit" J. Circuit. Systems and Computers, vol. 3, no. 1, pp. 93-108, 1993.
14. R. He, P. G. Vaidya, " Analysis and Synthesis of Synchronous Periodic and Chaotic Systems" Phys. Rev. A, vol. 6, no. 12. pp. 7387-7392. 1992.
15. L. Kocarev, U. Parlitz. "Generized Synchronization, Predictability, and Equivalence of Unidirectionally Coupled Dynamical System" Phys. Rev. Lett. vol. 76, no. 11, pp. 1816-1819, 1996.
16. 배영철, 고재호, 임화영, "Chua 회로에서의 Bifurcation과 Attractor", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp..664 - 666, 1995.
17. 배영철, 고재호, 임화영, "구분 선형 함수의 최적 구현에 관한 연구", 한국자동제어학술 회의 논문집, pp. 370 - 373, 1995.
18. 배영철, 고재호, 임화영, "Chua 회로에서의 파라미터 변화에 의한 Period-doubling과 Bifurcation에 관한 연구", 한국 자동제어 학술 회의 논문집, pp. 482 - 485, 1995.
19. L. Kocarev, K. S. Halle, K. Eckert and L. O. Chua, " Expermental Demonstration of Secure Communication via Chaotic Synchronization" Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 2, no. 3, pp. 709-713, 1992.
20. K. S. Halle, C. W. Wu, M. Itoh and L. O. Chua, "Spread Spectrum Communication through Modulation of Chaos" Int. J. Bifurcation and Chaos, vol. 3, no. 2, pp. 469-477, 1993
21. F. H. Branin, JR, "Transisent Analysis of Lossless Transmission Lines", Proc. IEEE, vol.55, pp. 2012 - 2013, 1967.
22. A. N. Sharkovsky, "Chaos from a Time-delayed Chaos Circuit", IEEE Trans. on Circuit and System, vol. CAS-40, pp. 781 - 783, 1993.
23. L. Kocarev and Z. Tazev, "Analytical Description of a Fractal Set Generated by the Time-Delayed Chua's Circuit", International Journal of Bifurcation and Chaos, vol. 4, pp. 1639 - 1643, 1994.
24. X. Rodet, "Models of Musical Instruments from Chua's Circuit with Time-Delay", IEEE Trans. on Circuit and System, vol. CAS-40, pp. 696-701, 1993.
25. 배영철 "전송선로를 가진 Chua 회로에서의 카오스 동기화 및 암호화 통신" 광운대학교 박사 학위 논문, 1997.
26. 배영철, 고재호, 유창완, 홍대승, 임화영 " 손실 전송 선로를 가진 Chua 회로에서의 카오스 비밀 통신에 관한 연구" 한국 통신학회논문지 24권 10A호, pp. 2991-3000, 1999.
27. 배영철, 임화영 " RLCG 전송선로를 가진 Chua 회로에서의 카오스 동기화에 관한 연구" 한국 통신학회 논문지 24권 11B호, pp. 2030-2035, 1999.

배 영 철(裵英哲)
1984년 2월 광운대학교 전기공학과 졸업
1986년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
1997년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
1986년2월-1991년9월 한국전력공사
1991년9월-1997년9월 산업기술정보원 책임연구원
1997년9월-현재 국립여수대학교 전기 및 반도체공학과 조교수
*관심 분야: 카오스 동기화, 카오스 제어, 카오스 암호화 통신, 실측 카오스 해석, 시계열 해석, 신경망