
리아프노프 함수를 이용한 Chua 오실레이터 회로에서의 카오스 제어

배영철*, 고재호**, 유창환**, 홍대승**, 임화영***

A Study on Chaos Control of a Chua' Oscillator Circuit Using a Lyapunov Function

Young-Chul Bae*, Jae-Ho Ko**, Dae-Seung Hong**, Chang-Wan Ryu**, Hwa-Yeoung Yim***

요 약

Chua 발진기의 카오스 신호를 선형 상태 피드백 제어 이론을 적용하여 평형점, 1주기, 2주기의 신호로 제어하는 방법을 제안하였다. 제안한 선형 상태 피드백 이득 값을 리아프노프 함수를 이용하여 Chua 오실레이터가 나타내는 모든 카오스 현상을 제어할 수 있도록 파라미터 부호의 조합에 의해 4가지로 분류하였다.

본 논문의 상태 피드백 제어 기법은 시스템의 카오스 상태에서 얻고자 하는 상태(평형점, 주기 신호등)로 효율적으로 제어 가능하고, 매우 간단한 구조로 파라미터의 변화 없이 최소의 입력으로 가능케 하였다.

Abstract

In this paper, chaotic signals of a Chua's oscillator are effectively controlled to low periodic signal(1-periodic signal, 2-periodic signal, etc) or equilibrium point using the linear state feedback technique.

The proposed linear state feedback technique has characteristics, that any solution of the Chua's oscillator can be a goal of the control(fixed point, periodic orbit, etc). The controller has a very simple structure, which does not require adjusting system parameters.

* 여수 대학교 전기 및 반도체 공학과

** 광운대학교 제어계측공학과

*** 광운대학교 제어계측공학과, 광운대학교 신기술 연구소

접수일자 : 1999년 2월 13일

1. 서 론

카오스 현상^[1]이 실제 제어 시스템에 존재하면 초기 조건 및 파라미터의 변화에 민감하여 시스템의 응답을 예측 불가능한 비주기적 진동 상태로 천이 시키게 되므로 카오스 현상을 억제하기 위한 카오스 제어(chaos control)에 대한 연구^[2,3,4,5,6]의 필요성이 증대되고 있다.

카오스 제어란 시스템의 응답이 불규칙한 천이 상태인 카오스 신호일 때, 이를 예측 가능한 1주기나 2주기의 주기 신호로 바꾸거나 원하는 평형점(equilibrium point)으로 수렴시켜 불규칙한 진동 상태를 없애거나 줄여서 카오스 현상이 나타나지 않도록 하는 것이다.

카오스 제어법은 피드백을 사용하는 공학적 카오스 제어 방법과 피드백을 사용하지 않는 방법으로 나눌 수 있으며, 후자는 시스템 파라미터를 변화시키거나^[5], 카오스 진동을 흡수하는 흡수기^[6]를 추가시키는 방법이 있다.

시스템 파라미터를 변화시키는 방법^[5] 파라미터를 변화시켰을 때 과도 현상을 제거한 정상 상태만을 나타내는 분기도에 의해 파라미터를 카오스 현상이 발생하지 않는 영역으로 선정하는 것으로 큰 범위의 파라미터 변동이 요구되기 때문에 바람직한 방법이라 할 수 없다.

카오스 진동 흡수기를 추가시키는 방법도 간단하지만 시스템의 재설계가 필요하고, 모든 시스템에 적용할 수 없으며, 이론적인 전개가 불가능한 단점이 있다.

피드백을 사용하는 제어 방법^[3,4]은 선형 제어 이론 및 비선형 제어 이론을 적용하는 방법으로 모든 카오스 시스템에 적용될 수 있으나 Chen과 Dong^[4]이 제시한 방법처럼 카오스 신호를 새들형(saddle type)의 불안정한 주기 신호로 제어하면 미소 섭동 등에도 불안정해지고 제어 입력인 새들형 주기 신호의 구현이 불가능하다는 문제점 등이 있었다.

본 논문에서는 카오스 현상을 나타내는 Chua 오실레이터를 제어 대상으로 선정하여 상태 피드백 제어 기법을 써서 제어하였으며, 리아프노프 함수를 구하여 피드백 이득을 결정하였다. 상태 피드백 제어 기법은 시스템이 카오스 상태에서 얻고자 하

는 상태(평형점, 주기 신호등)로 효율적으로 제어 가능하고, 매우 간단한 구조로 시스템 파라미터의 변화 없이 최소의 입력으로 가능하게 하였다.

II. Chua 오실레이터 회로

Chua 오실레이터(Chua's oscillator)^[7,8]의 L 소자에 저항(R_0)을 직렬로 연결한 형태의 회로로 그림 1에 보였으며, 회로 방정식은 식 (1)과 같다.

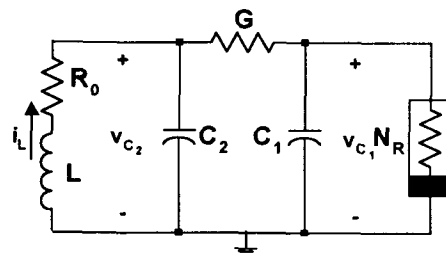


그림 1. Chua 오실레이터
Fig. 1. Chua's oscillator

$$\begin{aligned} C_1 \frac{dv_{c_1}}{dt} &= G(v_{c_2} - v_{c_1}) - g(v_{c_1}) \\ C_2 \frac{dv_{c_2}}{dt} &= G(v_{c_1} - v_{c_2}) + i_L \quad \dots\dots\dots (1) \\ L \frac{di_L}{dt} &= -v_{c_2} - R_0 i_L \end{aligned}$$

식(1)에서 v_{c_1}, v_{c_2} 는 콘덴서 C_1, C_2 의 양단 전압, i_L 은 인덕터 L 에 흐르는 전류이다. $G=1/R$ 로 저항의 역수이며, $g(\cdot)$ 는 비선형 저항을 나타내는 3구분 선형 함수(3 segment piecewise-linear function)로 그 특성을 그림 2에 보였으며, 수식으로 나타내면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} g(v_{c_1}) &= G_b v_{c_1} + \frac{1}{2} (G_a - G_b) [|v_{c_1} + B_p| - |v_{c_1} - B_p|] \\ &= \begin{cases} G_b v_{c_1} + (G_a - G_b) B_p & v_{c_1} \geq B_p \\ G_a v_{c_1} & |v_{c_1}| \leq B_p \\ G_b v_{c_1} - (G_a - G_b) B_p & v_{c_1} \leq -B_p \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

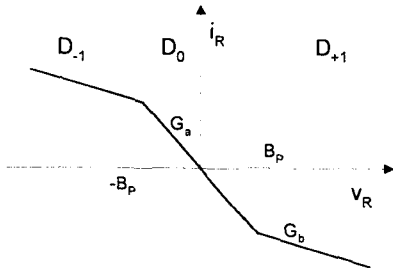


그림 2. 3구분 선형 저항
Fig. 2. 3 segment piecewise-linear resistor

Chua 오실레이터에서 카오스 현상을 나타내는 조건을 정립하고 파라미터와 고유치간의 관계 특성을 살펴본다.

Chua 회로에서와 동일하게 $v_{c1} \geq B_p$ 인 영역을 D_{+1} , $v_{c1} \leq -B_p$ 인 영역을 D_{-1} , 원점을 포함하는 $|v_{c1}| \leq B_p$ 인 영역을 D_0 로 표시하면, 특성 방정식은 각 영역에서 식 (3)이 된다.

$$S^3 + \left[\frac{G+G_j}{C_1} + \frac{G}{C_2} + \frac{R_0}{L} \right] S^2 + \left[\frac{GG_j}{C_1 C_2} + \frac{G+G_j}{C_1 L} R_0 + \frac{GR_0}{C_2 L} + \frac{1}{C_2 L} \right] S + \frac{R_0 GG_j + G + G_j}{C_1 C_2 L} = 0 \quad \dots\dots (3)$$

여기서, D_0 영역에서 $G_j = G_a$, D_{\pm} 영역에서 $G_j = G_b$ 이다.

D_0 영역의 고유치를 μ_1, μ_2, μ_3 라하고 특성 방정식의 계수를 p_1, p_2, p_3 로 나타내면 식(3)는 식(4)처럼 표현된다.

$$S^3 - p_1 S^2 + p_2 S - p_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

여기서

$$p_1 = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 = - \left(\frac{G+G_a}{C_1} + \frac{G}{C_2} + \frac{R_0}{L} \right)$$

$$p_2 = \mu_1 \mu_2 + \mu_2 \mu_3 + \mu_3 \mu_1 = \frac{GG_a}{C_1 C_2} + \frac{G+G_a}{C_1 L} R_0 + \frac{GR_0}{C_2 L} + \frac{1}{C_2 L}$$

$$p_3 = \mu_1 \mu_2 \mu_3 = - \frac{R_0 GG_a + G + G_a}{C_1 C_2 L}$$

이다.

위와 동일한 방법으로 $D_{\pm 1}$ 영역의 고유치를 v_1, v_2, v_3 라하고 특성 방정식의 계수를 q_1, q_2, q_3 라 하면 식(5)와 같이 특성 방정식을 나타낼 수 있다.

$$S^3 - q_1 S^2 + q_2 S - q_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

여기서

$$q_1 = v_1 + v_2 + v_3 = - \left(\frac{G+G_b}{C_1} + \frac{G}{C_2} + \frac{R_0}{L} \right)$$

$$q_2 = v_1 v_2 + v_2 v_3 + v_3 v_1 = \frac{GG_b}{C_1 C_2} + \frac{G+G_b}{C_1 L} R_0 + \frac{GR_0}{C_2 L} + \frac{1}{C_2 L}$$

$$q_3 = v_1 v_2 v_3 = - \frac{R_0 GG_b + G + G_b}{C_1 C_2 L}$$

이다.

식 (4)과 (5)에서 $p_1 - q_1, p_2 - q_2, p_3 - q_3$ 를 계산하여, 파라미터 $C_1, C_2, G, G_a, G_b, L, R_0$ 를 $p_1, p_2, p_3, q_1, q_2, q_3$ 만으로 정리하면 식(6)와 같이 되며, 치환 변수 k_1, k_2, k_3 를 식(7)에 나타내었다.

$$C_1 = 1, \quad C_2 = - \frac{k_1}{k_2^2}$$

$$G = - \frac{k_1}{k_2}, \quad G_a = - p_1 + \frac{k_1}{k_2} - \left(\frac{q_2 - p_2}{p_1 - q_1} \right)$$

$$G_b = - q_1 + \frac{k_1}{k_2} - \left(\frac{q_2 - p_2}{p_1 - q_1} \right) \quad \dots (6)$$

$$L = - \frac{1}{k_1 k_3}$$

$$R_0 = - \left(\frac{p_3 - q_3}{p_1 - q_1} \right) \frac{1}{k_1 k_2 k_3} + \frac{k_2}{k_1}$$

$$k_1 = p_2 - \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1} \right) + \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1} \right) \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1} + p_1 \right)$$

$$k_2 = \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1} \right) - \frac{- p_3 + \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1} \right) \left(p_1 + \frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1} \right)}{k_1}$$

$$k_3 = 1 + \frac{1}{k_2^2} \left(\frac{p_3 - q_3}{p_1 - q_1} \right) - \frac{q_2 - p_2}{(p_1 - q_1) k_2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

식(6)에서 Chua 오실레이터로 형성이 불가능한 제약 조건은, 각 파라미터의 분모가 0이 되어 파라미터가 무한대가 되는 조건으로 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 p_1 - q_1 &= 0, \quad k_1 = p_2 - \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1}\right) + \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right)(p_1 + p_2) = 0 \\
 k_2 &= \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right) - \frac{-p_3 + \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1}\right)(p_1 + \frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1})}{p_2 - \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1}\right) + \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right)(p_1 + p_2)} = 0 \\
 k_3 &= 1 + \frac{1}{k_2} \left(\frac{p_3 - q_3}{p_1 - q_1}\right) - \frac{q_2 - p_2}{(p_1 - q_1)k_2} = 0
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Chua 오실레이터에서 카오스 신호를 발생하는 조건은 Chua 회로의 제약 조건을 크게 완화시켰으며 식(6)에 나타낸 것 같이 고유치만으로 파라미터를 결정할 수 있는 장점이 있다.

Chua 회로에서와 같이 Chua 오실레이터의 상태 방정식 (1)을 차원이 없는 식으로 표시하기 위해 $x = v_{c1}/B_p$, $y = v_{c2}/B_p$, $z = i_L/B_pG$, $\gamma = Gt/C_2$, $m_1 = G_a/G$, $m_0 = G_b/G$, $\alpha = C_2/C_1$, $\beta = C_2/LG^2$, $\gamma = C_2R_0/LG$, $k = \text{sgn}(G/C_2)$ 을 대입하면 식(1)은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= ka(y - x - f(x)) \\
 \dot{y} &= k(x - y + z) \\
 \dot{z} &= k(-\beta y - \gamma z) \\
 f(x) &= m_0x + \frac{1}{2}(m_1 - m_0)[|x + 1| - |x - 1|]
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

식(9)로부터 파라미터 α , β , γ , m_1 , m_0 , k 를 p_1 , p_2 , p_3 , q_1 , q_2 , q_3 만으로 나타내면 식 (10)가 되며 k_1 , k_2 , k_3 는 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \alpha &= -\frac{k_1}{k_2} \\
 \beta &= k_3 \\
 \gamma &= \left(\frac{p_3 - q_3}{p_1 - q_1}\right) \frac{1}{k_2} - k_3 \\
 m_1 &= -1 + \left(p_1 + \frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right) \frac{k_2}{k_1} \\
 m_0 &= -1 + \left(q_1 + \frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right) \frac{k_2}{k_1} \\
 k &= \text{sgn}(k_2)
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

따라서, 차원이 없는 수식에서 카오스 현상이 될 수 없는 조건은 식(11)과 같다.

$$\begin{aligned}
 p_1 - q_1 &= 0 \\
 k_1 &= p_2 - \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1}\right) + \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right)(p_1 + p_2) = 0 \\
 k_2 &= \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right) - \frac{-p_3 + \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1}\right)(p_1 + \frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1})}{p_2 - \left(\frac{q_3 - p_3}{q_1 - p_1}\right) + \left(\frac{p_2 - q_2}{q_1 - p_1}\right)(p_1 + p_2)} = 0
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

파라미터를 고유치만으로 결정할 수 있는 성질을 이용하여 현재까지 발표된 이상한 끌개를 나타내는 시스템중 일부를 Chua 오실레이터의 파라미터로 변환하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 이상한 끌개를 나타내는 Chua 오실레이터에서의 파라미터

Table 1. Parameters of strange attractors in Chua's oscillator

	α	β	γ	m_0	m_1	k
Double-hook	9	14.28	0	-1/7	2/7	1
2-torus	31.553	64.257	-0.6683	-0.9926	-1.0230	-1
Folded-torus	13.352	213.12	-0.9408	0.4740	2.0393	-1
Ogorzalek's system	-90.364	-89.114	-1.000	-9.98893	-0.98848	-1
Brockett's system	52.056	54.290	-1.00	-1.01812	-1.02003	-1
Sparrow's system	100.18	-98.823	-1.00	-0.99002	-0.98933	-1

III. 리아프노프 함수를 이용한 카오스 제어

3.1 카오스 제어^(4,5,6)

카오스 현상을 제어하는 의미는 시스템의 응답이 주기가 없는 불규칙한 진동 상태인 카오스 신호^[1] 일 때, 이 신호를 예측 가능한 저주기(1주기, 2주기) 신호로 바꾸거나 원하는 평형점(equilibrium point)으로 수렴시켜, 불규칙한 진동 상태를 없애거나 줄여서 카오스 현상이 나타나지 않도록 억제하는 것이다.

카오스 현상을 제어하기 위해 그림 3에 보인 것처럼 상태 피드백 기법을 적용했으며 $[x, y, z]^T$ 는 출력, $[\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}]^T$ 는 제어 목표로 하는 1주기, 2주

음의 반한정(negative semi-definite) 함수이기 위한 이득의 범위는 $K_{22} \geq 0$, $K_{33} + \gamma \geq 0$, $\alpha X \check{\chi}(x, \bar{x}) + K_{11} X^2 \geq 0$ 이 된다.

여기서 $\check{\chi}(x, \bar{x}) = f(x) - f(\bar{x})$ 인 함수로 x 와 \bar{x} 의 범위에 따라 다음과 같은 9개의 함수로 나타낼 수 있으며,

$$\begin{aligned}
 & m_0(x - \bar{x}) && x \geq 1, && \bar{x} \geq 1 \\
 & m_0 x - m_1 \bar{x} + m_1 - m_0 && x \geq 1, && -1 \leq \bar{x} \leq 1 \\
 & m_0(x - \bar{x}) + 2(m_1 - m_0) && x \geq 1, && \bar{x} \leq -1 \\
 & m_1 x - m_0 \bar{x} - m_1 + m_0 && -1 \leq x \leq 1, && \bar{x} \geq 1 \\
 & m_1(x - \bar{x}) && -1 \leq x \leq 1, && -1 \leq \bar{x} \leq 1 \\
 & m_1 x - m_0 \bar{x} + m_1 - m_0 && -1 \leq x \leq 1, && \bar{x} \leq -1 \\
 & m_0(x - \bar{x}) - 2(m_1 - m_0) && x \leq -1, && \bar{x} \geq 1 \\
 & m_0 x - m_1 \bar{x} - m_1 + m_0 && x \leq -1, && -1 \leq \bar{x} \leq 1 \\
 & m_0(x - \bar{x}) && x \leq -1, && \bar{x} \leq -1
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

$\alpha X \check{\chi}(x, \bar{x}) + K_{11} X^2 \geq 0$ 에서, 이득 K_{11} 의 범위는 식(18)의 모든 경우에 대해 다음과 같이 정해진다.

$$K_{11} \geq \max\{-am_0, -am_1\}$$

위와 동일한 방법으로 제어된 상태가 목표치를 추종하기 위한 이득 K_{11} , K_{22} , K_{33} 의 범위를 표 3에 정리하였다.

3.3 시뮬레이션 회로의 제어^[5,6]

유도된 제어 법칙을 이용하여 Chua 회로의 파라미터가 $k=1$, $\alpha=9$, $\beta=100/7$, $\gamma=0$, $m_1=-8/7$, $m_0=-5/7$ 일 때의 카오스 현상을 제어 입력의 이득 $K_{11} \geq \max\{-am_0, -am_1\}$, $K_{22} \geq 0$, $K_{33} \geq -\gamma (=0)$ 인 조건을 만족하는 $K_{11} > 72/7$, $K_{22}=0$, $K_{33}=0$ 로 입력하여 제어한다.

3.3.1 평형점에서의 제어

제어 입력 $u = -K_{11}(x - \bar{x})$ 의 제어 목표 \bar{x} 에 D_{+1} 영역의 평형점 P^+ 를 대입하면 그림 4와 같이 카오스 신호는 평형점 P^+ 로 수렴된다.

제어 입력은 이득 K_{11} 은 15로, X축의 시각이 50일 때 입력하였다.

그림 4는 평형점에서의 제어 결과를 위상 공간에 보인 것이다.

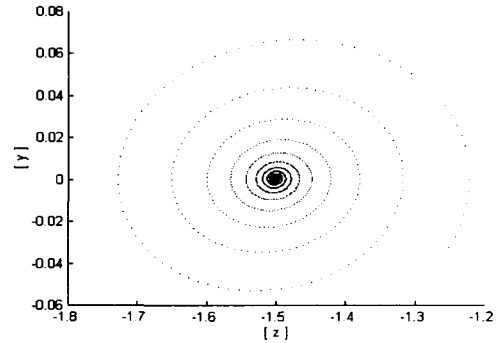


그림 4. 평형점으로 제어된 카오스 신호의 위상 공간
Fig. 4. Phase plane of chaotic signals controlled to an equilibrium point

3.3.2 1주기 신호로의 제어

제어 입력 $u = -K_{11}(x - \bar{x})$ 의 제어 목표 \bar{x} 에 1주기 신호 $A \cos wt$ ($A=0.1, w=1$)를 입력하면 카오스 신호 x 는 입력된 제어 신호의 진폭 및 주기를 가진 신호로 변화되며 이에 대한 위상 공간을 그림 5에 보였다.

제어 입력의 이득 K_{11} 은 20으로 시각이 50일 때 입력하였다.

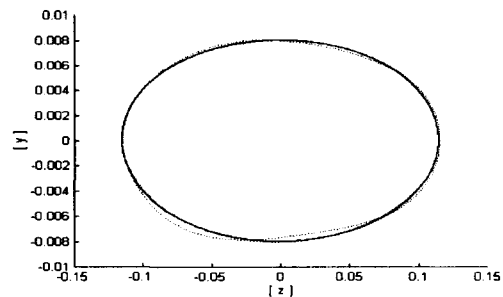


그림 5. 1주기 신호로 제어된 카오스 신호의 위상 공간
Fig. 5. Phase plane of chaotic signals controlled to 1 periodic signal

3.3.3 2주기 신호로의 제어

제어 입력 $u = -K_{11}(x - \bar{x})$ 의 제어 목표 \bar{x} 에 $A \cos wt + B \cos 2wt$ ($A = 0.1, B = 0.2, w = 1$)를 대입하면 2주기 신호로 제어되며 제어 결과 위상 공간으로 그림6에 나타냈다.

제어 입력의 이득 $K_{11} = 11$ 로 시각이 50일 때 입력하였다.

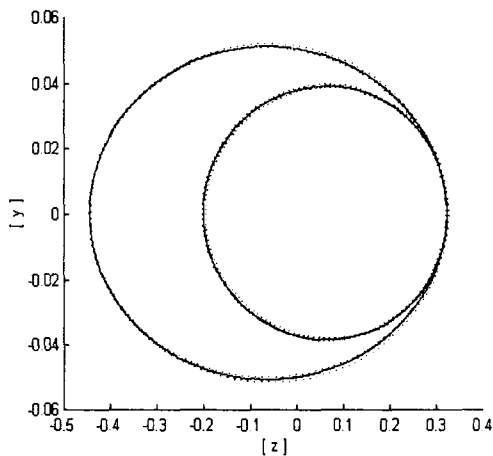


그림 6. 2주기 신호로 제어된 카오스 신호의 위상 공간
Fig. 6. Phase plane of chaotic signals controlled to 2 periodic signal

IV. 결 론

Chua 오실레이터가 나타내는 카오스 신호를 예측 가능한 1주기, 2주기 신호로 제어하기 위해 상태 피드백 이득 값을 리아프노프 함수를 이용하여 결정하였다.

리아프노프 함수는 Chua 오실레이터가 나타내는 모든 카오스 현상을 제어할 수 있도록 파라미터 부호의 조합에 의해 4가지로 분류하였다.

본 논문의 상태 피드백 제어 기법은 시스템의 카오스 상태에서 연고자 하는 상태(평형점, 주기 신호 등)로 효율적으로 제어 가능하고, 매우 간단한 구조

로 파라미터의 변화 없이 최소의 입력으로 가능케 하였다.

참고문헌

- [1] T. S. Parker, L. O. Chua, "Chaos: A Tutorial for Engineers," Proc. IEEE vol. 75, no. 8, pp. 982-1008, 1987.
- [2] 배영철, 고재호, 임화영, "연속시간 시스템에서의 카오스 피드백 제어," 1995 제어계측연구회 학술 발표회 논문집, pp. 112-114, 1995.
- [3] 고재호, 방성운, 배영철, 임화영, "Canonical Chua 회로에서의 카오스 제어," 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 1083-1085, 1996.
- [4] G. Chen., X. Dong, "On feedback control of chaotic dynamic systems," Int. J. Bifurcation Chaos, vol. 2, pp. 407-411, 1992.
- [5] Ott, E., Grebogi, C., Yorke, J. A., "Controlling chaos," Phys. Rev. Lett. 64, pp. 1196-1199, 1990.
- [6] M. J. Ogorzalek, "Taming Chaos: Part II - Control," IEEE Trans. Circuits Syst, vol. 40, No. 10, pp. 700-706, 1993.
- [7] L. O. Chua, "Global Unfolding of Chua's circuit," IEEE. Trans. Fundamentals. vol. E76-A, No-11, pp. 704-734, 1993.
- [8] L. O. Chua, "Chua's circuit 10 Years Later," Int. J. Circuit Theory and Application, vol. 22 No. pp. 279-305, 1994.
- [9] 배영철, 고재호, 이광원, 서삼문, 임화영, "Chua 회로를 이용한 카오스 동기화," 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 1086-1088, 1996.
- [10] J. Guckenheimer., P. Holmes, Nonlinear Oscillations, Dynamical System, and Bifurcations of vector Field, New York: Springer-Verlag, 1983.
- [11] L. O. Chua, C. A. Desoer, and E.S. Kuh, Linear and Nonlinear Circuits, New York: McGraw-Hill, 1987.



배 영 철(裴英哲)

1984년 2월 광운대학교 전기공학과 졸업

1986년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1997년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1986년 2월 ~ 1991년 9월 한국전력공사

1991년 9월 ~ 1997년 9월 산업기술정보원 책임연구원

1997년 9월 ~ 현재 국립여수대학교 전기 및 반도체 공학과 교수

*관심 분야 : 카오스 동기화, 카오스 제어, 카오스 암호화 통신, 실측 카오스 해석, 시계열 해석, 신경망



고 재 호(高載虎)

1995년 제어계측공학과 졸업 (석사)

1997년 동 대학원 제어계측공학과 졸업

현재 광운대 대학원 제어계측공학과 박사과정



유 창 완(柳昌完)

1992년 광운대 공대 제어계측공학과 졸업

1994년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사)

현재 광운대 대학원 제어계측공학과 박사과정 수료



홍 대 승(洪大昇)

1992년 광운대 공대 제어계측공학과 졸업

1994년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사)

현재 광운대 대학원 제어계측공학과 박사과정



임 화 영(任化永)

1973년 한양대 공대 전기과 졸업

1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)

1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1982년 ~ 1988년 광운대 공대 전기공학과 교수

현재 광운대 공대 제어계측공학과 교수