

하드웨어 구현에 의한 카오스 어트랙터 생성용 Chua 회로에 관한 연구

손영우* · 배영철**

Chua's Circuit for Chaotic Attractors creation by Hardware Implementation

Youngwoo Shon* · Youngchul Bae**

요 약

본 연구에서는 Chua 회로의 선형 요소인 R, L, C 성분의 요소 중에서 포화 특성을 가지고 있어 상용화된 제품으로는 제작 구현이 어려운 L 성분을 C 성분으로 대체하는 간략화한 Chua's 회로를 실제 하드웨어를 이용하여 제작하고, 그 결과로 얻은 생성된 카오스 어트랙터를 기존의 Chua's 회로와 비교하였다.

ABSTRACT

In this paper, we implemented the simplified Chua's circuit which is replace L to C by real hardware implementation. Because L element has a difficult problem to make a real hardware, L has a saturation characteristic and we also compare with previous Chua's circuit as the result of chaotic attractors creation.

키워드

Chaotic Attractors, Chua's circuit, Nonlinear Dynamics, hardware implementation

I. 서 론

Chua 회로는 매우 단순한 자율 3차계 시스템으로 가역(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 발진회로로 확률적 공진(stochastic resonance), 신호 증폭, 1/f 잡음 현상, 카오스 간헐성(intermittency), 주기 배증(periodic doubling), 주기 가산(periodic Adding), auto-wave, 나선형파(spiral wave), 자기유사성(self-similarity), 보편성(universality) 등의 현상이 관찰되고

있어 카오스 및 그 응용 연구에 중요한 역할을 하고 있다

Chua 회로는 Matsumoto가 카오스 현상을 나타내는 로렌츠(lorenz) 방정식^[1]을 전자 회로로 구현하고자 하는 연구^[2]로 부터 시작되었다. Matsumoto^[3]는 Chua 회로에서 기이한 어트랙터(strange attractor)가 있음을 컴퓨터 시뮬레이션으로 증명하고 이를 더블 스크롤(double Scroll)이라 칭하였다. 더블 스크롤은 로렌츠 방정식의 카오스 어트랙터(chaos attractor)와 유사한 어트랙터로 비선형 저항을 3구간 직선 소자를 이용하여 구성하였으나 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 특정

* 김포대학 IT학부 멀티미디어과(ywson@kimpo.ac.kr)

** 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부(ycbae@chonnam.ac.kr)

이 논문은 2009년 한국전자통신학회춘계종합학술대회에 일부 발표된 논문임.

접수일자 : 2010. 02. 01

심사완료일자 : 2010. 03. 12

초기 조건에 따라 카오스 어트랙터를 구성하지 못하고 발산하는 경우와 3구분 선형 소자를 실제 회로로 구현 할 수 없다는 문제점이 있었다.

Chua 회로는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 수학적 증명에 중점을 두는 연구와 실제 소자를 이용하여 하드웨어를 구현하는 연구^[4,5,6], Chua 회로를 응용하는 연구^[7]로 나누어 활발하게 연구되고 있다. 이론적 연구에서는^[8-10] Chua 회로의 주기 배증 현상 및 나사(screw)형 어트랙터, 실린코프(shilnikov)형 어트랙터, 뢰슬러(rössler)형 어트랙터, 더블 스크롤(double scroll), 고유값 패턴(eigenvalue pattern), 고유공간 패턴(eigenspace pattern), Linearly equivalent, Linearly conjugate 등에 관하여 증명하였다.

Chua 회로를 하드웨어로 구현하고자 하는 연구도 활발하게 진행되었다. Chua 회로의 하드웨어 구현은 비선형 저항을 구성하기 위해 다이오드^[5], 연산 증폭기^[4], 트랜지스터^[6], 연산 전달 컨덕턴스 증폭기(operational transconductance amplifier)^[11] 등의 여러 종류의 소자를 사용한 연구가 있었다.

본 연구에서는 Chua 회로의 선형 요소인 RLC 성분의 요소 중에서 포화 특성을 가지고 있어 상용화된 제품으로는 제작 구현이 어려운 L 성분을 C 성분으로 대체하는 간략화한 Chua's 회로 제작 기법을 제안하고, 이를 하드웨어로 구현한 후, 생성된 카오스 어트랙터를 실험 결과로 나타내었다.

II. 하드웨어로 제작한 Chua's 회로

저항, 캐패시터, 인덕터로 구성된 자율회로(autonomous circuit)가 카오스 현상을 나타내기 위해서는 적어도 하나의 비선형소자와 하나의 국소적 능동(locally active) 저항과 3개의 에너지 저장 소자를 가져야한다. Chua 회로는 이 조건을 만족하는 가장 간단한 전자회로이다.

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 선형소자인 (R, L, C_1, C_2)로 구성되는 발진회로이다.

하드웨어로 구현한 5구분 선형 저항 회로의 전압-

전류 특성 곡선을 그림 1에 나타내었다.

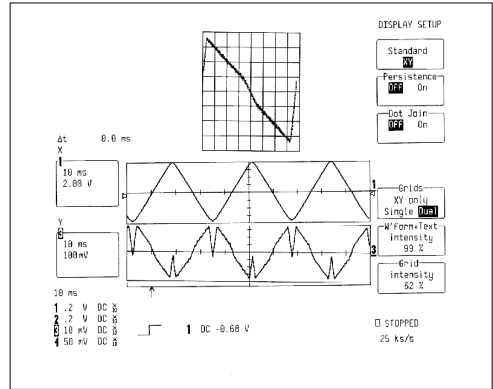


그림 1. 5구분 선형 전압-전류 특성 곡선
Fig. 1 v-i characteristic curve of 5 segment linear resistor

그림 1의 5구분 선형과 Chua 회로에서 저항 R 값을 2,000 Ω 에서 0 까지 변화하면 1주기 운동, 2주기 운동, 4주기 운동 등의 주기 배증(period-doubling) 과정이 나타나고, 뢰슬러형 어트랙터, Double scroll 어트랙터, 주기성 윈도우, 리미트 사이클이 차례로 나타난다.

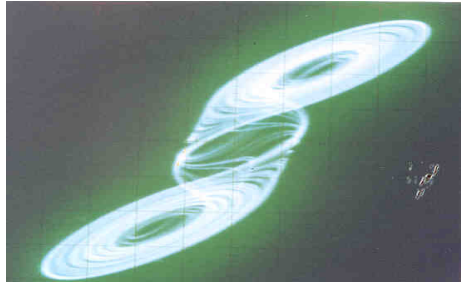
그림 2에는 하드웨어 구현에 의한 1주기, 2주기, 4주기 운동과, 뢰슬러형 어트랙터, 더블 스크롤 어트랙터, 주기성 윈도우, 다양한 형태의 리미트 사이클을 나타내었다.



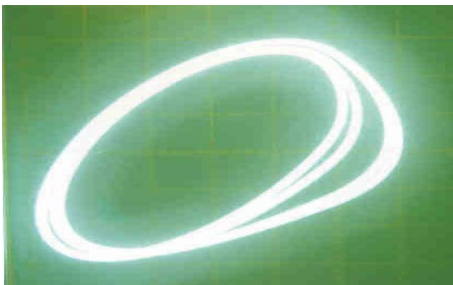
(a) 1주기 운동 (i_L, v_{c_1})
(a) 1-period (i_L, v_{c_1})



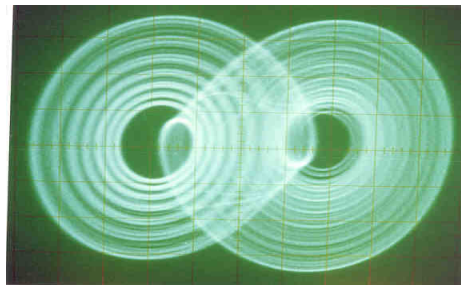
(b) 2주기 운동 (v_{c_1}, v_{c_2})
(b) 2- period (v_{c_1}, v_{c_2})



(e) 더블 스크롤 어트랙터 1 (i_L, v_{c_1})
(e) Double scroll attractor-1 (i_L, v_{c_1})



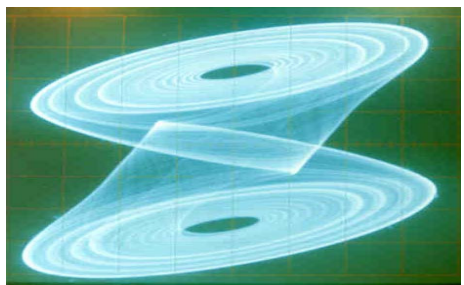
(c) 4주기 운동 (v_{c_1}, v_{c_2})
(c) 4 - period (v_{c_1}, v_{c_2})



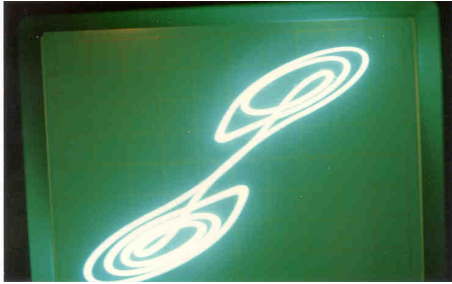
(f) 더블 스크롤 어트랙터 2 (i_L, v_{c_2})
(f) Double scroll attractor-2 (i_L, v_{c_2})



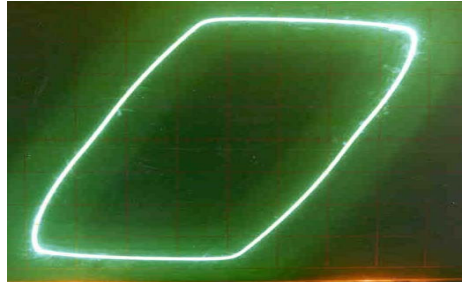
(d) 뱀슬러형 어트랙터 (i_L, v_{c_1})
(d) Roseller type attractor (i_L, v_{c_1})



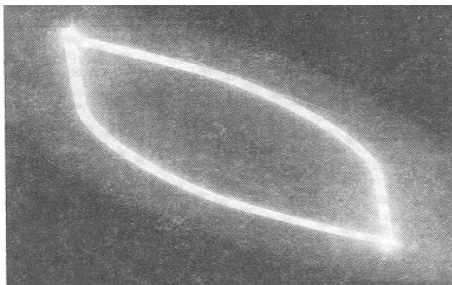
(g) 더블 스크롤 어트랙터 3 (v_{c_1}, v_{c_2})
(g) Double scroll attractor-3 (v_{c_1}, v_{c_2})



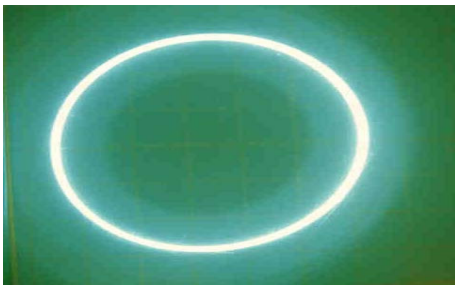
(h) 주기창(i_L, v_{c_2})
(h) period window(i_L, v_{c_2})



(k) 리미트 사이클-3(i_L, v_{c_2})
(k) Limit cycle-3(i_L, v_{c_2})



(i) 리미트 사이클-1(v_{c_1}, v_{c_2})
(i) Limit cycle-1(v_{c_1}, v_{c_2})

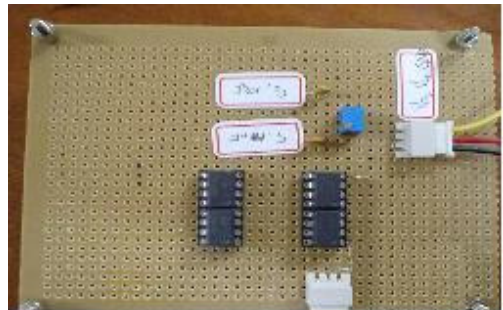


(j) 리미트 사이클-2(i_L, v_{c_2})
(j) Limit cycle-2(i_L, v_{c_2})

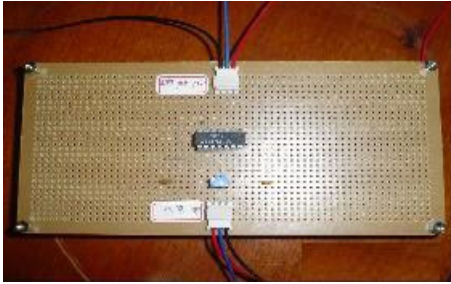
그림 2. R값 변화에 의한 Chua 회로의 주기 운동과 카오스 운동
Fig. 2 Periodic and chaotic motion of Chua's circuit by R variation

III. L 성분이 없는 하드웨어로 구현한 간략화된 Chua's 회로

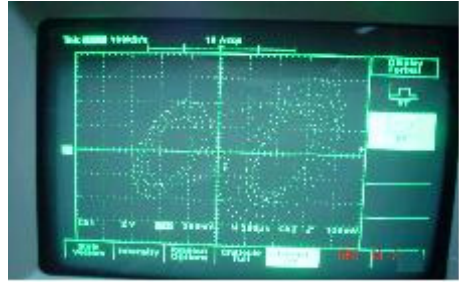
Pspice에 의한 제안한 L을 op 앰프로 치환한 회로를 이용하여 제작한 제안한 하드웨어 구현 회로와 본 회로로부터 얻은 Chua 회로의 시계열 데이터와 피슬러형 어트랙터, 카오스 어트랙터를 그림 3에 나타내었다.



(a) 하드웨어 구현 -1
(a) Hardware implementation 1



(b) 하드웨어 구현-2
(b) Hardware implementation 2



(e) 카오스 어트랙터-1
(e) chaotic attractor 1



(c) 시계열 데이터
(c) Time series



(d) 뢰슬러형 어트랙터
(d) Roseller type attractor



(f) 카오스 어트랙터-2
(f) chaotic attractor 2

그림 3. 제안한 Chua 회로의 시계열 데이터와 카오스 어트랙터

Fig. 3 Time series and chaotic attractor of proposed Chua's circuit

V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 하드웨어 구현을 통하여 Chua 회로의 L 성분을 C 성분으로 대체한 간략화한 Chua 회로 구현 방법을 제시하였고, 이를 통하여 시계열 데이터와 뢰슬러형 어트랙터, 카오스 어트랙터를 생성하였다.

실험 결과, 제안된 Chua 회로 하드웨어는 간략화하기전의 Chua's 회로와 유사한 결과를 얻었음을 확인할 수 있었으며 앞으로 이를 이용한 동기화 및 암호화통신 분야의 응용이 그 과제로 남는다.

감사의 글

“이 논문은 2010학년도 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었음”

참고 문헌

- [1] E. N. Lorenz, "Deterministic periodic flow " J. Atmos, Sci. Vol. 20, pp.130-141, 1963.
- [2] L O. Chua, "The genesis of Chua's circuit, Archiv for Electronic and Ubertragungstechnik", Vol. 46, pp.250-257, 1992.
- [3] T. Matsumoto, "A chaotic attractor from

- Chua's circuit", IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol. CAS-31, no. 12, pp. 1055-1058, 1984.
- [4] 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.
- [5] M. P. Kennedy, "Robust OP Amp Realization of Chua's circuit", Frequenz, Vol. 46, No. 3-4, pp.66-80, 1982.
- [6] T. Matsumoto, L. O. Chua and K. Tokumasu, "Double Scroll via a two-transistor circuit", IEEE Trans. Circuit and Systems, Vol. CAS-33, No. 8, pp.828-835, 1986.
- [7] L. O. Chua "Chua's circuit 10 Years Later", Int. J. Circuit Theory and Application, Vol. 22, No. pp.279-305, 1994.
- [8] T. Matsumoto, L. O. Chua and M. Komuro, "The Double Scroll" IEEE. Trans. Circuit and Systems. Vol. CAS-32, No. 8, pp.798-818, 1985.
- [9] L. O. Chua, M. Komuro and T. Matsumoto, "The Double Scroll Family", IEEE Trans. Circuit and Systems, Vol. CAS-33, No. 11. pp1073-1118, 1986.
- [10] T. Matsumoto, L. O. Chua, M. Komuro, "The Double Scroll Bifurcation", Int. J. Circuit Theory and Application Vol. 14, pp117-146, 1986.
- [11] T. Matsumoto, L. O. Chua, and K. Ayaki, "Reality of chaos in the double scroll circuit: A computer assisted proof", IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol. CAS-35, No. 7, pp.909-925, 1988.
- [12] M. P. Kennedy, "Robust OP Amp Realization of Chua's circuit", Frequenz, Vol. 46, No. 3-4, pp.66-80, 1982.
- [13] 배영철, 고재호, 임화영, "Chua 회로에서의 Bifurcation과 Attractor", 대한 전기 학회 하계 학술 대회 논문집, pp.664 - 666, 1995.

저자 소개



손영우(YoungWoo Shon)

1981년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2000년 2월 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1991-1998년 : KISTI 전자전기실 책임연구원

1998년 3월 ~ 현재 : 김포대학 멀티미디어과 부교수

※ 관심분야 : 카오스 공학, 멀티미디어응용, 영상처리



배영철(Youngchul Bae)

1984년 2월 : 광운대학교 전기공학과 (공학사)

1986년 2월 : 광운대학교대학원 전기공학과 (공학석사)

1997년 2월 : 광운대학교대학원 전기공학과 (공학박사)

1986년 ~ 1991년 : 한국전력공사

1991년 ~ 1997년 : 산업기술정보원 책임연구원

1997년 ~ 2006년 : 여수대학교 전자통신전기공학부 부 교수

2006년 ~ 현재 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control 등