

광결합기를 이용한 카오스 발진기 회로 연구

정 동 호, 정 설 희, 정 경 택
동양대학교 전자공학과
전화 : 054-630-1077 / 핸드폰 : 017-252-0104

A Study on a Chaos Oscillator Circuit with Optocoupler

Dong-Ho Jeong, Seol-Hee Jeong, Kyung-Tak Cheong
Dept. of Electronic Engineering, Dongyang University
E-mail : dhjeong@phenix.ac.kr

Abstract

We investigate the dynamics of a non-autonomous chaotic oscillator including an optocoupler that shows a periode-doubling and a chaos dynamics under any conditions of input circuit via experiments. Its characteristics was found to coincide input frequency components with output's. But, the relationship between input signals and output signals is different according to the amplitude of driving input voltage and circuit structure. Thus, this result can be applied to a wide variety of optical systems in the future.

I. 서 론

지금까지 RL-다이오드 발진기 연구는 다이오드를 바랙터 다이오드, 일반 다이오드 혹은 트랜지스터의 베이스-컬렉터 단자를 사용하여 비안정 구동시스템의 카오스 현상을 연구하였다. 그러나 이미 고속 다이오드를 사용하거나 항상 역방향 바이어스가 인가된 다이오드를 사용할 경우 혹은 직렬로 등을 맞댄 두 개의 다이오드 연결이 카오스나 주기배중이 일어나지 않는 것으로 발표되었다[1,2]. 이러한 연구들은 카오스 현상이 일어나는 조건을 전기적인 신호와 소자를 변화시키면서 카오스발생의 효과를 연구하였으며, 전기적인 비선형 특성을

통해 설명하였다. 대부분의 연구는 전기적인 신호에 의한 카오스현상을 이해하는데 목적을 두었다[3-6].

광결합기는 LED와 같은 발광소자와 포토트랜지스터와 같은 수광소자를 서로 마주 보도록 결합하여 전기와 빛 사이의 변환을 통하여 스위칭 작업을 수행할 수 있도록 구성된 회로이다. 그래서 기계적으로 구성된 릴레이에 비하여 속도가 빠르고 신뢰성이 높다는 장점을 가지고 있어, 광결합기는 오디오 장치의 디지털과 아날로그 회로의 분리, TV의 소리와 화면의 접속장치, 레이저 빔 프린터의 증계장치, 팩시밀리의 전화선 접속, 캠코더의 충전기 그리고 VCR의 전원 스위칭 등 많은 분야에 응용된다. 광결합기는 일반 다이오드보다 고속인 GaAs LED 소자를 가졌으며, 이를 포함한 카오스 발진기는 전기신호를 광신호로 변환시켜 전송하고 매개변수 변화에 대한 카오스 특성 유무를 분석하여 다양한 응용에 활용할 수 있다.

그러므로 본 논문은 간단한 RL-다이오드 발진기 회로에서 다이오드 대신 광결합기를 사용하여 카오스 특성을 실험으로 관찰하였다.

II. 광결합기 특성 및 실험내용

광소자인 LED(light emitting diode)와 포토트랜지스터(phototransistor)가 단일 포장으로 결합된 것이 광결합기(optocoupler 혹은 photocoupler)이다. LED는 전기에너지를 빛에너지로 변환하며 에너지가 가해질 때 가시광

선을 발생시키는 부분은 pn접합 다이오드이다. 발광다이오드의 전압-전류 특성은 일반 다이오드와 같으며, 순방향 문턱 전압 이상(GaAs 적외선 발광 다이오드는 1.3V)인가 시 발광한다. 빛을 검출하는 소자는 포토트랜지스터이다. 포토트랜지스터는 통상적으로 npn구조를 가지며 수광부는 콜렉터-베이스 접합이 사용된다.

광결합기인 4N26은 GaAs LED와 Si 포토트랜지스터로 결합된 범용 소자이다. 이 부품은 전력공급 조절기(power supply regulators), 디지털 논리 입력단, 마이크로프로세서 입력단, 컴퓨터의 I/O 인터페이스, 전압과 임피던스가 다른 회로사이의 신호 전달용으로 사용된다. 아래 표 1은 4N26 광결합기의 특성을 나타낸다.

표 1. 4N26 광결합기의 전기적인 특성

반응 시간	3 μ s(조건: $V_{CE}=10V, I_C=2mA, R_L=100\Omega$)
전류 전달비(CTR)	최소 20% (조건: $I_F=10mA, V_{CE}=10V$)
입력-출력 격리 전압	25000 Vrms
격리용량/격리 저항	1pF/10 ¹¹ Ω

그림 1은 실험에 사용한 광결합기 이용 발진기 회로 구성도를 나타낸다. 이 회로의 저항 $R_i = R_s + R$ 이고, 여기서 R_s 는 전원에 있는 저항이며, R 은 인가된 저항이다. 비선형 소자인 다이오드의 중요한 특성변수는 두 개의 용량과 역회복시간 t_{rr} (reverse recovery time)이 있다. 두 용량은 역방향 바이어스 시 존재하는 접합용량

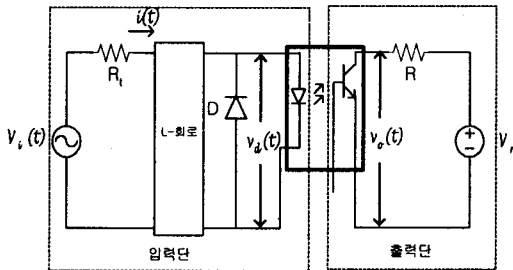


그림 1. 광결합기 이용 발진기 구성도

C_j 와 순방향 바이어스 시 나타나는 전하확산 용량 C_s 이다. 즉, 다이오드의 비선형 용량은 $C(V) = dq/dV = C_j + C_s$ 이며 접합용량 $C_j(v_r) = C_0 / (1 - v_r/\phi)^2$ 의 관계를 가진다. v_r 은 다이오드 역방향 전압이고 ϕ 는

접합에서 생성된 평형 전위차, C_0 는 $v_d=0V$ 일 때 용량이다. 순방향 바이어스 시 측정된 소수 캐리어들의 재결합과 재 확산에 의한 소수캐리어 수명 τ 가 $t \leq \tau$ 관계가 있는 경우 확산용량 $C_s(V) = C_0 e^{V/V_T}$ 이고 $V_T = kT/e$ 이다. 소수캐리어 수명 τ 는 Ge의 경우 $10^{-3}s$ 이며, Si는 $2.5 \times 10^{-3}s$, GaAs는 최대 약 $10^{-8}s$ 정도이다.

한편 다이오드에 순방향 전류가 흐르고 있는 상태에서 갑자기 역방향의 전압을 공급하면 한 순간 역방향 전류가 흘러 버린다. 이 역방향에 흐르는 전류가 멈추기까지의 시간을 역회복시간 t_{rr} 이라고 한다. 일반적인 정류다이오드는 보통 $C_s > C_j, t_{rr} \approx 1\mu s$ 이나 바랙터 다이오드는 $C_j > C_s, 0.1\mu s < t_{rr} < 1\mu s$ 이며 특히 고속 신호용 다이오드 경우 $t_{rr} \approx 1ns$ 이다. RL-바랙터 다이오드회로는 무선수신기의 주파수 선택 조정회로의 RF 수신기에 응용되며, 초고주파의 주파수 분할기에 응용된다[2].

실험회로 종류에는 인덕터가 없는 단순연결 회로와 인덕터를 입력과 광결합기 사이에 병렬로 연결한 L-병렬 회로, 그리고 직렬로 연결한 L-직렬 회로가 있다. 그림 2는 광결합기 이용 발진기의 직류에서 전달특성곡선을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 단순연결 광결합기는 낮은 입력전압 영역에서는 전압감도가 크고 높은 입력전압 범위에서는 넓은 영역에서 선형성을 유지하지만 감도가 낮다. L-직렬 회로의 전달특성곡선은 단순연결 회로의 특성과 비슷하다. 그러나 L-병렬 회로의 경우는 6V에서 9V사이에서 다른 회로에 비해 가장 감도가 높게 나타났으며, 이의 영역에서는 포화상태가 된다.

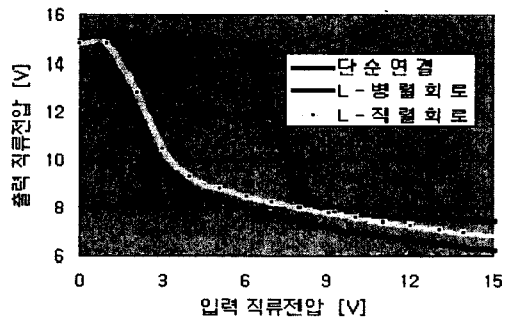


그림 2. 광결합기 이용 발진기의 직류 전달특성곡선

실험에 사용한 매개변수는 교류진폭, 직류전압, 주파수, 직렬저항 등이며 이것들의 변화에 대한 발진기 특성을 관찰하였다. 발진기에 인가한 전압은 $v_i(t) = V_{DC} + V_m \sin \omega t$ 이고, 소자는 각각 $R=270\Omega, L=50mH$, 보호 다이오드는 1N4002, 광결합기는 4N26을 사용하였다. 보호

다이오드는 역방향 바이어스 시 광결합기의 LED에 과도한 전류가 흐르는 것을 방지하기 위해 사용된다. 실험에 사용한 계측기는 Agilent 33120A 신호발생기로 신호를 발생하였으며, HAMEG HM1007(100MHz)과 Tektronix TDS360(200MHz) 오실로스코프와 Hewlett Packard 3561A 신호분석기로 측정하였다.

III. 카오스 발진기 실험 및 결과

3.1 단순연결 회로 특성

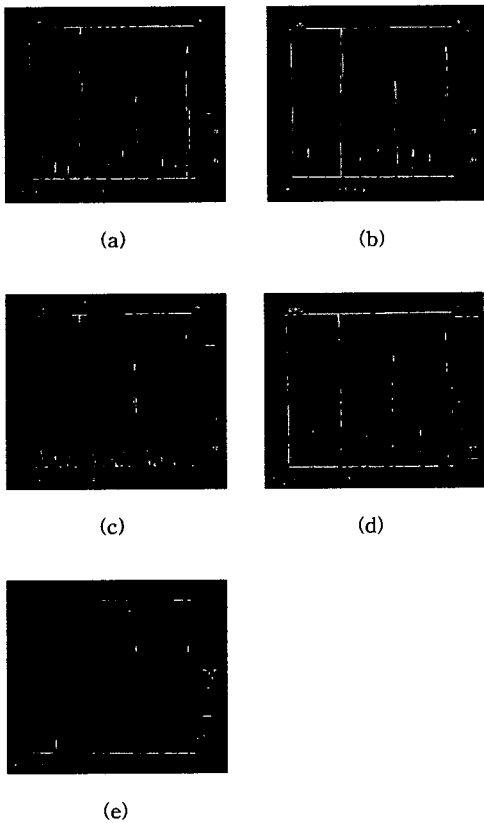


그림 3. 직류전압에 따른 단순연결 회로의 특성(주파수=1kHz, 교류진폭=8V) (a) 0.47V 경우 v_d 스펙트럼, (b) 0.6V 경우 v_d 스펙트럼, (c) 0.7V 경우 v_d 스펙트럼, (d) 1.0V 경우 v_d 스펙트럼 (e) 1.0V 경우 v_o 스펙트럼

인덕터가 없는 경우 발진기에서 다이오드의 비선형 특성을 이용하여 주기배증이나 카오스 특성이 나타나는 것을 확인하였다. 그림 3은 인가주파수=1kHz이고, 교류진폭=8V일 때 직류전압 변화에 대한 v_d 의 스펙트럼 특성

을 나타낸다. 직류전압이 인가되지 않았을 경우나 주기배증이 나타나지 않는 v_d 의 주파수는 단지 인가주파수의 정수배인 고조파만 나타났으나 직류전압의 변화에 따라 다양한 주기배증이 발생한다. 주기배증 현상은 직류전압의 크기에 상당히 민감하게 반응하여 직류전압의 작은 크기 변화로 서로 다른 주기배증으로 변화하거나, 카오스로 천이 된다. 그림 3(c)는 직류전압크기가 0.7V일 때이며 카오스 특성이 나타났다. 그러나 대체로 주기배증과 카오스 주파수의 피크 크기가 작다.

3.2 L-병렬 회로 특성

L을 병렬로 구성하여 실험하였다. 주파수가 커질수록 회로는 단지 고조파 특성만 나타난다. 그러나 약 10kHz

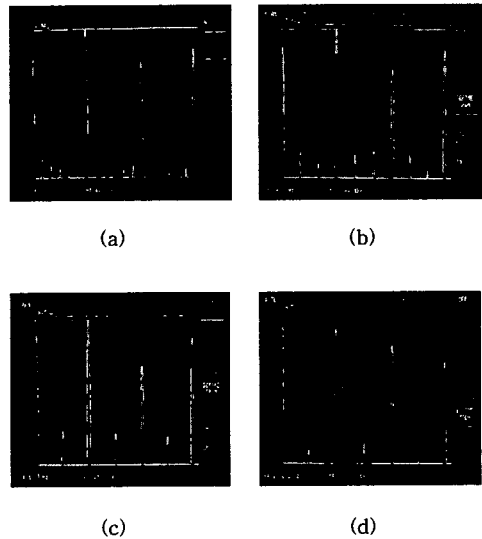


그림 4. 직류전압에 따른 L-병렬연결 회로의 특성(주파수=1kHz, 교류진폭=8V) (a) 0.2V 경우 v_d 스펙트럼, (b) 0.6V 경우 v_d 스펙트럼, (c) 1.0V 경우 v_d 스펙트럼, (d) 1.0V 경우 v_o 스펙트럼

아래의 낮은 주파수 영역에서는 교류진폭이 고정시켰을 경우 직류전압 크기의 변화로 회로에서는 주기배증 현상을 나타낸다. 또한 직류전압과 저항 크기를 동시에 변화시킬 때 회로의 주기배증 현상을 조절할 수 있었고 저항이 작아질수록 회로에 주기배증 현상이 나타나는 입력주파수가 증가하였다. 회로에 인가한 저항을 단락시킬 경우 회로의 주파수 특성은 카오스와 비슷한 특징을 보인다. 그러나 카오스 현상을 설명하는 넓은 영역의 주파수성분 크기가 작다. 그림 4는 주파수 1kHz이고 교류진폭=8V, 저항=270Ω일 때의 직류변화에 대한 v_d 의 스펙

트럼 특성을 나타낸다.

3.3 L-직렬회로 특성

출력은 입력주파수가 올라갈수록 줄어들어 교류 진폭 8V일 때 약 15kHz까지만 출력 회로가 동작된다. 주파수가 35kHz이고 교류진폭 8V일 때 L-직렬회로는 직류의 크기에 따라 주기배증과 카오스 등 다양한 현상을 보인다. 직류의 크기가 양인 경우보다 음인 경우가 더 많은 주기배증 현상이 나타나며 또한 카오스 현상도 나타난다. 다음 그림 5는 카오스현상을 나타낸다. 광결합기의 출력이 나오는 범위에서도 역시 회로는 다양한 주기배증 현상을 보인다. 주파수가 15kHz이고 교류진폭이 8V이고 직류의 크기가 0.1V~1.2V로 변할 때 회로의 주파수

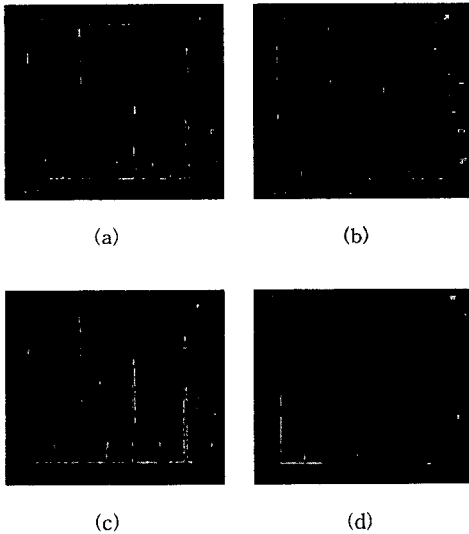


그림 5. 직류전압에 따른 L-직렬연결 회로의 특성(주파수=1kHz, 교류진폭=8V) (a) 0.4V 경우 v_d 스펙트럼, (b) 0.5V 경우 v_d 스펙트럼, (c) 0.7V 경우 v_d 스펙트럼, (d) 0.7V 경우 v_o 스펙트럼

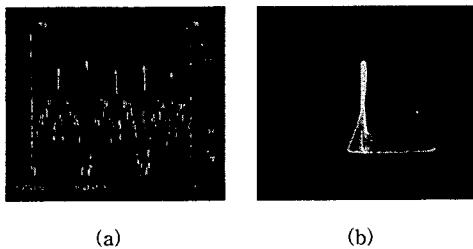


그림 6. L-직렬연결 회로에서의 카오스 현상(주파수=35kHz, 교류진폭=8V, 직류전압=-0.4V) (a) v_d 스펙트럼, (b) 입력과 v_d 위상파형

특성은 인가주파수의 1/n의 피크가 1/6 → 1/5 → 카오스 → 1/4 → 카오스 → 1/3(1/6) → 카오스 → 1/4 → 1/2로 나타나며, 직류 전압이 0~-1.5V인 경우에는 피크가 1/5 → 카오스 → 1/3 → 1/4 → 카오스 → 1/3(1/6) → 카오스 → 1/4 → 1/2배의 주파수가 측정된다. 그림 6은 직류크기가 0.6V 일 때 광결합기의 출력 스펙트럼 특성을 나타낸다

IV. 결 론

본 논문에서는 다이오드 대신 광결합기를 사용하여 카오스 현상을 실험을 통해 조사했다. 고속인 GaAs를 이용한 LED 다이오드는 Si를 이용한 일반 다이오드보다 소수 캐리어 수명이 짧지만 실험에서 보호다이오드를 작동시켜 카오스 경로로 가는 현상을 발견되었다.

그리고 낮은 주파수에서 전원 전압을 조절하여 보호다이오드를 순방향 바이어스 시켜 카오스로 가는 1/n 피크가 검출되었다. 그리고 주기배증이 나타나는 전기적인 신호가 빛을 통해 전달된 후 다시 똑같은 신호가 출력전압으로 나타났다. 한편 인덕터 연결 회로에 비해 단순연결 회로가 카오스 발진기의 특성을 나타내는 1/n 피크는 높지만 L-병렬회로가 더 자주 1/n 피크가 나타난다.

한편 장차 높은 주파수 대역에서 카오스 현상이 나타나는 구조를 개발하고, L-직렬회로와 L-병렬회로의 출력에 나타나는 1/n 피크 현상을 이론적으로 해석하여 카오스 신호를 실제 제품에 응용하는 연구를 계속해야 한다.

참고문헌

- [1] Testa J, Perez J, Jeffries C, "Evidence for Universal Chaotic Behavior of a Driven Nonlinear Oscillator," *Physical Review Letters*, vol. 48, no. 11, pp. 714-717, 1982.
- [2] Testa J, Perez J, Jeffries C, "Testa, Perez, and Jeffries Respond," *Physical Review Letters*, vol. 49, no. 14, p. 1055, 1982.
- [3] Cascais J, Dilao R, Da costa AN, "Chaos and Reverse Bifurcation in a RCL Circuit." *Physics Letters*, vol. 93A, no. 5, pp.213-216, 1983.
- [4] Linsay P.S, "Period Doubling and Chaotic Behavior in a Driven Anharmonic Oscillator," *Physical Review Letters*, vol. 47, no.19, pp.1349-1352, 1981.
- [5] Rollins R.W, Hunt E.R, "Exactly Solvable Model of a Physical system Exhibiting Universal Chaotic Behavior," *Physical Review Letters*, vol. 49, no. 18, pp.1295-1298, 1982.
- [6] Van Buskirt B. Jeffries C, "Observation of Chaotic Dynamics of Coupled Nonlinear Oscillators," *Physical Review A*, vol. 31, no. 5, pp.3332-3357, 1985.