

## 카오스 발진을 위한 RL-광결합기 회로 연구

정 동 호, 정 설 희

동양대학교 IT전자공학과

전화 : 054-630-1077 / 핸드폰 : 016-9780-6035

### A Study on a RL-Photocoupler Circuit for Chaos Oscillation

Dong-Ho Jeong, Seol-Hee Jeong

Dept. of IT Electronic Engineering, Dongyang University

E-mail : dhjeong@phenix.dyu.ac.kr

#### Abstract

We study the characteristics of oscillating in non-autonomous condition and the conducted noise generation in a RL-photocoupler circuit. This circuit may be shown a period-doubling and a chaos dynamics under any specific conditions of input circuit. But, the relationship between input signals and output signals is different according to the amplitude of driving input voltage.

Then, the oscillation noise was analyzed with respect to both the frequency and the amplitude of an external ac signal and dc values. The results show that the noise-induced oscillations for falling and rising cycles induced by kick-back effect in an inductor, nonlinear capacitance, nonlinear resistance and charge storage time in a diode and an LED. We also compared the simulation with the experimental results.

#### I. 서 론

구조가 간단하고 구현하기가 쉬운 RL-다이오드 회로는 다이오드의 역 회복시간과 용량의 비선형 전도특성에 의해 주기 배중(period doubling) 경로를 따른 카오스 현상과 주기 누중(period adding) 현상이 잘 나타나는 대표적 카오스 발진기로 알려져 있다[1-3].

그런데 이 발진기 회로는 고속 다이오드를 사용하거나 항상 역방향 바이어스가 인가된 다이오드를 사용할 경우, 혹은 두 개의 다이오드가 직렬로 등을 맞댄 구조일 경우는 카오스나 주기배중이 일어나지 않는 것으로 알려졌고, 주기 배중이 일어날 수 있는 경우는 역 회복시간이 주기의 0.1~0.6 배일 경우와 회로의 저항이 충분하지 않을 경우로 제한된다고 발표되었다[4].

실제 비선형회로에서 원하지 않는 오동작은 카오스에 기인될 가능성이 있으며 이런 시스템을 안정되게 동작시키는 방법이 필요하다. 그래서 다양한 비선형 카오스 제어 방법들이 연구되었고 발표된 비선형 제어방법들은 기존의 선형 제어방법에 비하여 효율이 높다. 또한 비선형 동역학 및 카오스를 이용한 제어방법은 계에 미치는 영향을 최소화하면서 카오스를 제어할 수 있는 방법을 제공한다[5].

EMI(electro magnetic interference: EMI)는 전기·전자기기로부터 직접방사, 또는 전도되는 전자파가 다른 기기의 전자기 수신 기능에 장애를 주는 것을 말하며, 전기·전자기기로부터 직접 방사하는 방사잡음(radiated EMI)과 전원선을 따라 새어나오는 전도잡음(conductive EMI)이 있다. 전도잡음의 원인은 전력선으로 공급되는 전압이 비선형 소자를 통과할 때 생성되는 조화 주파수와 전압이나 전류의 과도적 변화에 의해 발생하는 고주파전류가 원인인 것으로 알려져 있다. 다이오드 역시 비선형 소자이므로 RL 다이오드 회로에서 인가전원의 바이어스에 따라 다이오드의 비선형 저항의 왜곡에 의한

전도잡음과 감쇠진동 형태의 전도잡음이 발생한다[6].

따라서 본 논문은 RL-광결합기 회로에서 카오스 특성과 전도잡음을 실험하고 시뮬레이션 하였다.

## II. RL-광결합기 회로 실험내용

광소자인 GaAs LED(light emitting diode)의 전압-전류 특성은 일반 다이오드와 같으며, 순방향 문턱 전압 1.3V 이상 인가 시 발광한다. 빛을 검출하는 소자인 포토트랜지스터(phototransistor)는 통상적으로 npn구조를 가지며 수광부는 컬렉터-베이스 접합이 사용된다[7].

광결합기인 4N26은 GaAs LED와 Si 포토트랜지스터로 결합된 범용 소자이며 반응 시간은  $3\mu s$ (조건:  $V_{CE}=10V, I_C=2mA, R_L=100\Omega$ )이고, 격리용량/격리저항은  $1pF/10^{11}\Omega$ 이다.

그림 1은 RL-광결합기 회로 구성도를 나타낸다. 이 회로에 인가한 전압은  $v_i(t) = V_{DC} + V_m \sin \omega t$  이고, 소자는 각각  $R=270\Omega, L=50mH$ , 다이오드는 1N4002를 사용했으며 연산증폭기는 UA741CN, 광결합기는 4N26을 사용하였다.

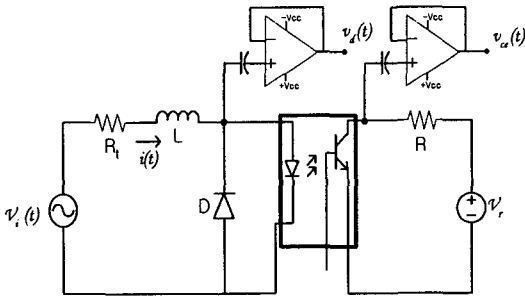


그림 1. RL-광결합기 회로 구성도

실험에 사용한 매개변수는 직류 전압, 교류진폭과 주파수 등이며 이것들의 변화에 대한 RL-광결합기 회로 특성을 관찰하고 전도잡음을 측정하였다. 실험에는 Agilent 33120A 신호발생기로 신호를 발생하였으며, Tektronix TDS360(200MHz) 오실로스코프와 Hewlett Packard 3561A 신호분석기로 측정하였고 시뮬레이션은 OrCAD사의 PSpice 9.2판을 이용하였다.

## III. RL-광결합기 회로 실험 결과

### 3.1 주기 배증과 카오스 현상

입력단의 여러 조건에 따라  $v_o$ 의 시간 파형, 주파수

스펙트럼, 그리고 위상 파형을 전압 완충기를 통해서 관찰하였다. 교류 진폭=8V를 인가 후 주파수 1kHz ~ 200kHz까지 1kHz 간격으로 주파수를 증가시켜 주파수 변화에 따른 LED 전압  $v_d$ 와 포토트랜지스터 전압  $v_{ce}$ (수광부 전압)의 파형을 관찰하였다.

낮은 주파수에서  $v_d$ 와  $v_{ce}$ 의 시간 파형은 1 주기를 나타내고 주파수 스펙트럼 또한 단순히 고조파 발진만 나타났다. 그러나 약 주파수=150kHz가 인가되면  $v_d$ 의 시간 파형은 2주기가 나타나고,  $v_{ce}$  파형도 2주기처럼 보이나 진폭이 매우 작다.  $v_d$ 의 주파수 스펙트럼은 2주기를 나타내는 인가주파수=150kHz의 1/2배인 주파수=75kHz에서 피크가 나타나며,  $v_{ce}$ 의 주파수 스펙트럼에서도 역시 75kHz의 주파수 피크가 나타났다. 다만  $v_{ce}$ 의 주파수 스펙트럼에는 2주기를 나타내는 주파수 외에도 넓은 주파수 범위에서 작은 피크들이 검출되었다. 입력주파수=

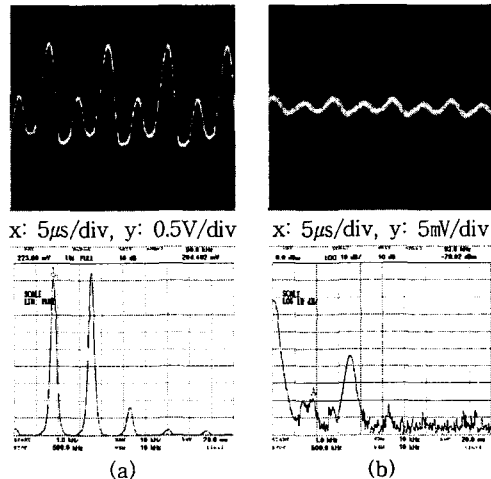


그림 2. 교류 진폭=8V, 주파수=180kHz일 때

(a)  $v_d$ , (b)  $v_{ce}$ 의 시간 파형과 주파수 스펙트럼

170kHz에서는  $v_d$ 의 시간 파형의 2주기가 다시 1주기로 바뀌며 주파수=180kHz일 때  $v_d$ 의 시간 파형은 다시 2주기로 나타난다.  $v_d$ 와  $v_{ce}$ 의 주파수 스펙트럼 역시 1/2 피크가 관찰된다. 주파수를 더욱 증가시키면  $v_d$ 의 시간 파형은 1주기로 나타난다. 그림 2는 교류 진폭=8V, 주파수=180kHz일 때  $v_d$ 와  $v_{ce}$ 의 시간파형과 주파수 스펙트럼이다. 주파수=35kHz를 인가 후 교류 진폭 변화에 대한  $v_d$ 와  $v_{ce}$ 의 파형을 관찰하였으나 주파수 변화와는 다르게 시간파형, 주파수 스펙트럼 모두 1주기만 나타났다. 주파수=35kHz, 교류 진폭=8V를 인가 후 직류 전압 변화

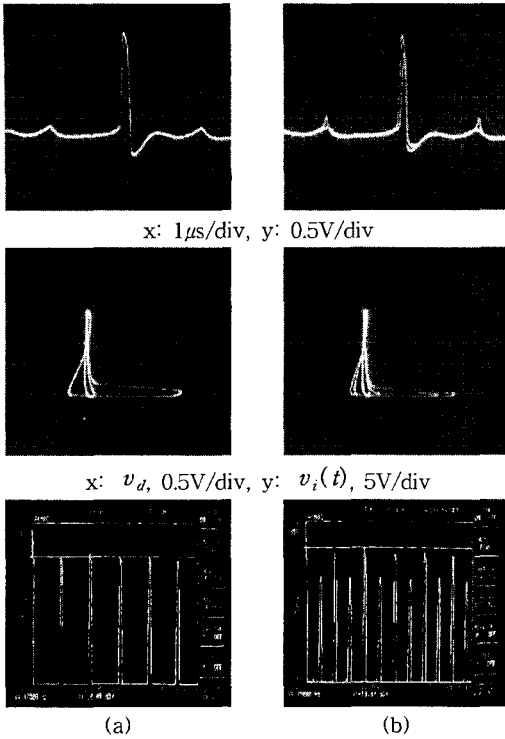


그림 3. 직류 전압에 따른 주기배중 현상  
(주파수=35kHz, 교류진폭=8V)  
(a) -0.59V (b) -0.62V 일 때  $v_d$  시간 파형,  
 $v_d - v_i(t)$  위상파형 그리고  $v_d$  스펙트럼

에 따른 회로의 특성을 조사하였다. 그림 3은 주파수=35kHz, 교류진폭=8V일 때 직류 전압에 따른 주기배중 현상을 나타낸다. 직류 전압이 -0.59V 일 때  $v_d$ 의 시간 파형은 두 개의 피크를 가지는 주기배중을 나타낸다.  $v_d$ 와 입력의 위상파형에서 두 개의 고리가 확인되며  $v_d$  스펙트럼에서 인가한 35kHz의 1/2배인 17.5kHz 주파수 피크가 나타나는 것을 알 수 있다. 직류 전압을 -0.62V로 감소시키면 회로는 4 주기를 나타낸다.  $v_d$ 의 시간 파형은 4개의 피크를 가지며 위상파형도 4개의 고리가 나타난다. 스펙트럼의 피크는 각각 35kHz의 1/4, 1/2, 3/4인 17.5kHz와 8.75kHz, 26.25kHz에서 나타났다. 직류 전압이 더 작아져 -0.63V가 되면 그림 4와 같이 회로는 카오스 현상을 나타낸다. 실험에서  $v_d$  시간 파형은 겹쳐진 여러 피크를 가지며 위상파형에서도 역시 겹쳐진 고리가 나타난다. 주파수 스펙트럼에서도 카오스 현상이 나타났으며 시뮬레이션 역시 실험과 일치하였다.  $v_{ce}$ 의 경우 시간파형은 진폭이 매우 작고 주파수 스펙트럼에는 인가주파수 35kHz 피크만 나타났다.

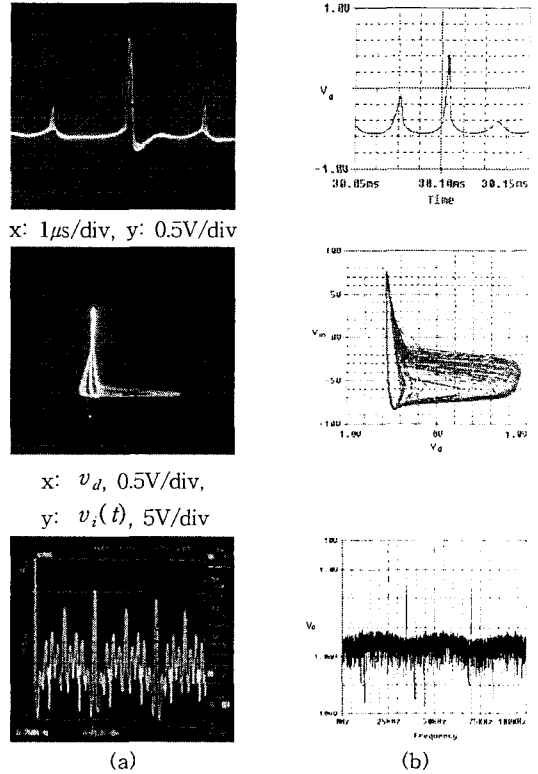


그림 4. 직류 전압에 따른 카오스 현상  
(주파수=35kHz, 교류진폭=8V, 직류 전압= -0.63V)  
(a) 측정 (b) 시뮬레이션 한  $v_d$  시간 파형,  
 $v_d - v_i(t)$  위상파형 그리고  $v_d$  스펙트럼

### 3.2 전도잡음 특성

RL-광결합기 회로의 전도잡음 특성을 주파수=1kHz에서 교류진폭을 변화시켜 조사하였다. 전도잡음은 교류 진폭 0.5V~2.5V 범위에서 나타났고, 교류 진폭=1.1V일 때  $v_d$  파형의 상승 및 하강부분에서 모두 나타났다. 상승 부분에 생기는 전도잡음은 역방향으로 연결된 보호 다이오드에 의한 것이고, 하강 부분의 전도잡음은 LED가 비선형영역에서 도통되었다가 차단되면서 발생한다. 전도잡음은 다이오드와 LED가 각각 역방향으로 바이어스 되는 초기에 나타났다. 인가 교류 진폭이 커질수록 전도잡음보다 RLC 감쇄진동이 크게 나타난다. 출력인  $v_{ce}$ 의 파형에서 전도잡음은 교류 진폭이 약 1.3V이상 인가될 때 시작되지만 그림 5(b)와 같이 매우 작은 진폭을 가져 무시할 수 있다. 교류 진폭이 커질수록 출력파형의 진폭과 시간축이 넓어져 전도잡음은 점차 작아지고 사라져, 교류 진폭=2V 이상 인가 될 때 전도잡음보다 RLC 감쇄진동이 크게 나타난다.

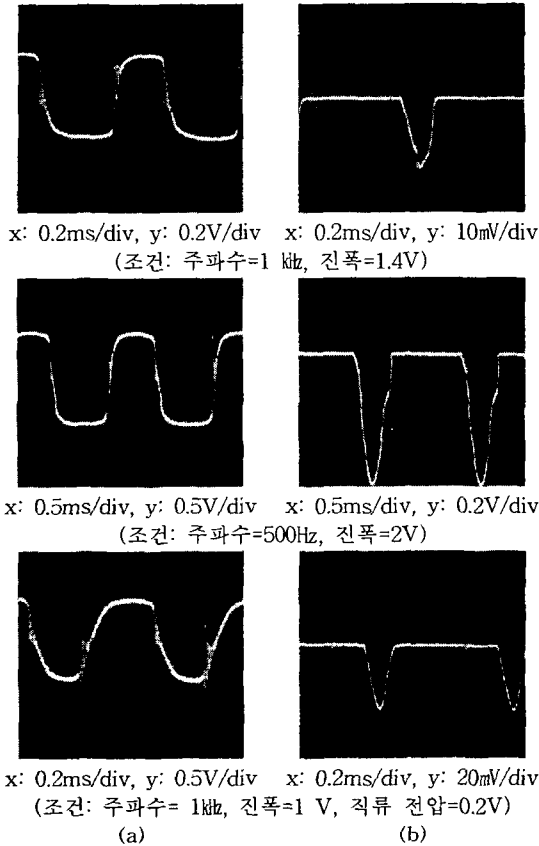


그림 5. 각 조건에 따른 전도잡음 특성  
(a)  $v_d$  파형 (b)  $v_{ce}$  파형

교류 진폭=2V로 인가 후 주파수를 변화시킬 때 전도잡음 특성은 교류 진폭 변화 결과와 비슷한 결과를 나타낸다. 주파수=100Hz일 때  $v_d$  파형의 상승부분에서 전도잡음이 나타나 약 300Hz에서 파형의 상승, 하강 부분 모두 나타난다. 약 주파수=1kHz에서 상승부분의 전도잡음은 없어지고 하강 부분의 전도잡음만 나타나며 약 10kHz이 되면 RLC 감쇄진동만 나타난다.  $v_{ce}$ 의 파형에서 나타나는 전도잡음은 입력에 나타나는 전도잡음에 비해 매우 작다.  $v_{ce}$  파형에 나타나는 전도잡음은 주파수=600Hz일 때 가장 크고, 주파수=1kHz 이상 인가 시 없어져 RLC 감쇄진동현상만 나타난다.

주파수=1kHz, 교류 진폭=1V일 때 직류 전압을 0V ~ 10V까지 변화시켜 전도잡음 특성을 조사하였다. 직류 전압이 증가할수록  $v_d$  파형의 듀티 사이클(duty cycle)은 커지고 진폭은 작아져 전도잡음의 피크의 크기와 수가 줄어든다. 직류 전압=1.5V일 때 전도잡음은 사라진다.  $v_{ce}$ 의 파형에서 나타나는 전도잡음은 직류 전압=0.2V까지 나타나다가 약 0.4V에서 사라져 RLC 감쇄진

동현상만 나타났다. 그림 5에 각 조건에 따른 전도잡음 특성을 보였다. 그리고 시뮬레이션 결과는 실험 결과와 비슷하였다.

#### IV. 결론

본 논문은 RL-광결합기 회로를 사용하여 카오스 특성을 실험하고 광결합기의 전도잡음 특성을 측정하였다. 고속인 광결합기를 사용한 실험에서 보호다이오드를 작동시켜 카오스 현상이 나타났다. 교류와 직류 매개변수에 따라 전도잡음의 발진이 다르게 발생하였다. 전도잡음은 LED의 전압파형에서는 비교적 크게 나타났지만 광검출기에서는 거의 영향이 없었다. 주파수를 증가시키면 처음에는 다이오드의 정류특성을 보이지만 점차 다이오드와 LED의 비선형 저항과 용량, 그리고 인덕터의 인덕턴스에 의존하는 전도잡음 발진이 발생한다. 이 회로는 R-L 다이오드 회로보다 전도잡음의 피크가 작고 그 수 또한 적었다.

따라서 RL-광결합기 회로는 기계적으로 구성된 릴레이에 비하여 속도가 빠르고 신뢰성이 높다는 장점을 가지고 매개변수 변화에 대한 카오스 특성 유무를 분석하여 다양한 응용에 활용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Linsay P.S, "Period Doubling and Chaotic Behavior in a Driven Anharmonic Oscillator," Physical Review Letters, vol.47, no.19, pp.1349-1352, 1981.
- [2] Azzouz.A, Duhr R, Hasler M, "Transition to Chaos in a Simple Nonlinear Circuit Driven by a Sinusoidal Voltage Source," IEEE Transactions on circuits and systems, vol. CAS-30, no.12, pp.913-914 1983.
- [3] 김영태, "고체물리계의 케이오스 현상," 한국과학재단 pp.1-69, 1995.
- [4] Testa J, Perez J, Jeffries C, "Testa, Perez, and Jeffries Respond," Physical Review Letters, vol.49, no.14, p.1055, 1982.
- [5] Joshua E. S. Socolar, David W. Sukow, and Daniel J. Gauthier, "Stabilizing Unstable Periodic Orbits in Fast Dynamical Systems," Physical Review E, vol.50, no.4, pp.3245-3248, 1994.
- [6] 신종철 외, "간단한 R-L-Diode 직렬회로에서의 전도잡음 발생 특성," Korean Applied Physics vol.6 no.4, pp.356-364, 1993.
- [7] Ben G. Streetman, Solid State Electronic Devices (5th Ed), 사이텍 미디어, pp.140-150, 200.