論 文

2安定 멀티바이브레이터 터널 다이오우드 對回路의 解析

正會員 李 光 衡*

Analysis of a Two Stable Multi-Vibrator using a Tunnel Diode Pair Circuit

Kwang Hyung LEE*, *Regular Member*

要 約 1개의 터널 다이오우드(TD)의 靜特性을 커어브 트레서로부터 2개의 指數項의 합으로 나타내어 電子計算機에 의해 TD對特性을 플롯한 결과 理論値의 2%이내의 오차로 近似시킬 수 있었다. 이와 같이 구한 對特性을 이용하여 MV(멀티바이브레이터)트리거作動을 図式的으로 잘 說明할 수 있었으며 双安定特性을 區間直線法에 의해서 解析한 結果는 實驗値와 잘 일치함을 알았다.

ABSTRACT The characteristic of a Tunnel Diode(TD) is approximated by the summation of two exponential terms, obtained from the characteristic curves displayed on the curve tracer. Using this result, static characteristic of a TD pair was plotted by a computer programming. From these static characteristic curves, the triggering behavior of TD pair multi-vibrators was described graphically. Two stable characteristics were analyzed by piecewise linear Method. Theoritical switching Theoritical switching times of a TD pair flip-flop(F-F) circuits were compared with experimental results.

1. 서 론

P-N半導体에 不純物을 多量 添加시킴으로써 Esaki는 量子力學的인 貫通現象을 發見하여 1973年 노벨物理學賞을 받기에 이르렀다.

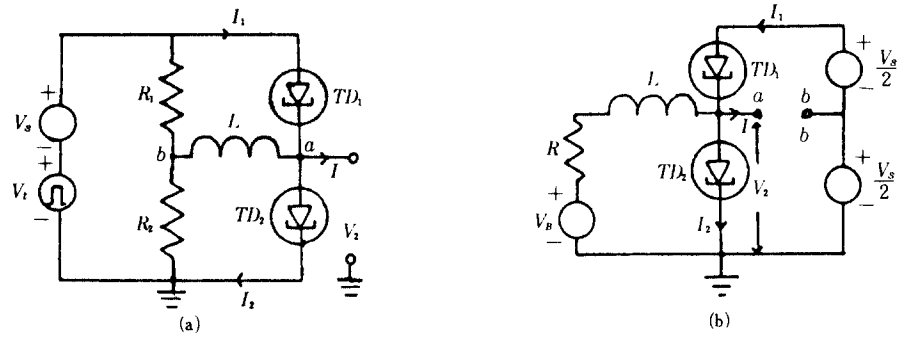
TD는 多數搬送子에 의해 熱電流가 無視될 수 있는 낮은 正電壓에서 確率性電流로 負抵抗特性을 나타낸다. 電流制御素子보다도 넓은 溫度範圍에서 作動할 뿐 아니라 少數搬送子에 의한 素子보다 10倍나 放射能에 강한 것으로 알려져 있다. 또 感度가 크며 光速에 가깝게 動作시킬 수 있으므로 超高周波의 發振器, 增幅器 및 放射線計測回路등에 實用化되어 있다[1]. 한편 第5世代電子計算機의 디지틀 스위칭素子로써의 研究도 계속되고 있다[2].

TD는 소비전력이 적고 간단히 機能을 발휘할 수 있는 등의 長點이 많은 반면에 2端子兩方向素子이므로 入出力間에 간섭을 일으킨다. 같은 特性을 갖는 TD 2개를 直列로 접속한 TD Pair 回路는 3端子網으로 動作시킬 수 있으며 靜特性이 대칭이고 공급전압에 따라서 負抵抗傾斜를 바꿀 수 있는 利點이 있다.

그러나 이와 같은 弛張發振器(Relaxation Oscillator)의 解析的 解는 數學的未決問題로 남아 있다[3].

본 연구에서는 TD커어브 트레이서로부터 구한 TD靜特性을 2개의 指數項의 합으로 模型化한 式을 이용하여 TD對特性을 구하였다. 이 對特性式을 이용하여 트리거作動을 明示하고 區間直線化法에 의해 近似시켜 스위칭時間을 구하였다.

* 崇田大學校工科大學電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, Soongjun University, Seoul, 151 Korea
論文番號 : 83-06 (接受 1983. 2. 7)



$$R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2} \qquad V_B=V_s\left(\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}\right) \qquad V_2=V_{ab}+\frac{V_s}{2}$$

그림 1 전압 트리거 V_t를 포함한 TD對MV回路(A) V_t제거시의 (A)의 등가회로(B)
Multivibrator with voltage trigger (A) and equivalent circuit (B) of (A), without V_t.

2. TD對特性

TD對回路는 2포트回路網으로 論理回路 및 MV回路에 有用한 몇 가지 特性을 갖는다[4]. 그림 1의 $V_{ab}-I$靜特性은 그림 3의 對特性과 같이 2개의 같은 기울기의 陽領域과 그 사이의 負콘덕턴스領域을 나타내며 電源電壓 V_s변화에 따라서 負傾斜를 변화시킬 수 있고 또한 奇函數性質을 갖는다.

이 때 對特性의 매개변수 : I_p', V_a, V_1값은 식(1), (2), (3)에서 구할 수 있다.

$$I_p'=I_p-I_v \tag{1}$$

$$V_a=V_s/2-V_p \tag{2}$$

$$I_v\exp\{q^2(V_1+V_s/2-V_v)/kT\}=\frac{I_p}{V_p}\cdot(V_s/2-V_1) \tag{3}$$

$V_s=V_v+V_p$일 때 對特性의 첨두전류 I_p'는 최대치를 가지며 $2V_p<V_s<2V_v$에서만 負特性을 갖는다. 실제회로에서 電源은 內部抵抗 R_s를 가지므로 TDIN3712對特性을 측정하는 회로를 구성하여 R_s를 변화시켜 보면 I_p'값은 不變이나 R_s는 150Ω정도 이상에서는 負特性을 잃게 됨을 알 수 있다.

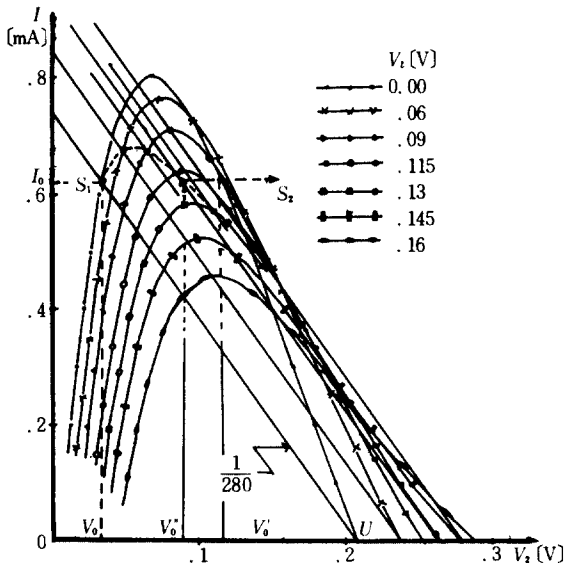


그림 2 트리거 전압 V_t변화에 따른 TD對 V_2-I 靜特性
Variation of a TD pair V_2-I characteristics due to variation of V_t.

3. TD MV (멀티바이브레이터)의 트리거作動

MV回路는 負콘덕턴스特性과 에너지蓄積素子가 필요하며 負荷 R_1, R_2와 電源 V_s값에 따라서 세 가지 動作모우드가 있다.

非安定動作을 위해서는 $R_1=R_2=R/2<\frac{V_a}{I_p'}$이어야 하며 單安定 및 2安定動作에서 트리거電壓 V_t印加에 의한 解析은 어려운 문제이다.

Narud는 블로킹發振器[5]의 出力波形의 上昇時間(t_r)은 트리거의 t_r에 비례하며 스위치 온하는 전압은 트리거電壓의 크기와 지속시간에 따라서 다르다고 했다.

Morgan[4]은 TD MV의 電流트리거의 크기가 $I_p'-I_0$보다 크면 동작할 수 있고 電壓트리거에 있어서는 $V_0'+\delta$에서 스위치 온한다고 설명하고 있다.

필자는 Ferendeci[6]方法에 의해 $V_s=0.415$〔V〕인 경우의 그림 3과 같은 TD對特性을 구한 후[7] 그림 2에서 트리거印加로 인한 정특성의 변화와 부하선으로부터 트리거作動을 좀 더 명확하

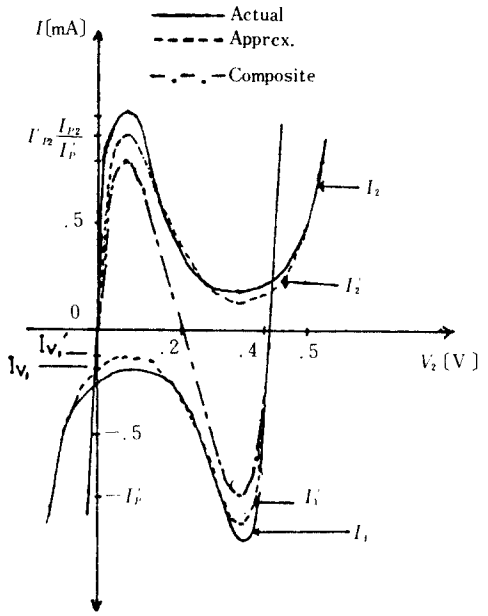


그림 3 TD對特性에서 誤差가 相殺되어 있다
Calculated V_2-I characteristic of a TD pair showing reduced errors.

게 설명할 수 있음을 알았다.

V_t가 0일 때 $I_p'=0.8$이던 것이 V_t가 증가함에 따라서 I_p'가 안정점 S_1의 전류값 : I_0보다 적게 되는 V_0''에서 스위치 온될 수 있으며 V_2가 不安定點 U를 넘을 때까지 트리거 전류는 지속되지 않으면 안 된다.

이 때 트리거 전류 I는 점선 이상의 값을 가져야 한다. L에 유기전압을 크게 하기 위해 트리거의 t_r이 적은 것이 요구된다. $V_t=A\cdot[U(t)-U(t-t_1)]$라면 V_2-I특성에서 I_p'는 I_0보다 $A-V_0''$에 대응되는 만큼 낮아지므로 이 특성이 복귀하는 시간보다 V_2가 U점을 넘어서면 스위치 온하게 되는 것을 알 수 있다.

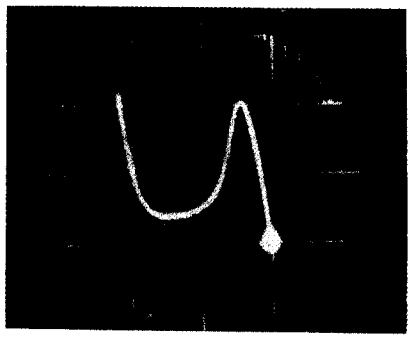
이와 같이 동작트리거의 조건은 전류와 전압 어느 한쪽에 관련된다기보다도 두조건이 만족되야 하며, 트리거전력에 관계된다.

4. 區間直線化에 의한 解析

TD커브 트레이서 (Curve tracer)回路로부터 얻은 IN3712의 정특성을 사진 1에 보이고 있다.

Ferendeci는 Ge, Si, GaAs의 세 종류의 TD에 대해서

$$I(V_2)=AV_2e^{-aV_2}+B(e^{bV_2}-1) \qquad (4)$$



Vert. Scale : 0.1mA/small Div.
Hori. Scale : 50mV/small Div.
사진 1 TD IN3712의 $V-I$ 정특성
$V-I$ characteristic of TD IN3712.

와 같이 2개의 지수항의 합으로 TD정특성(사진 1)을 근사시켰을 때 그림 3에서 보는 바와 같이 실선이 점선으로 잘 근사되고 있음을 알았다. 이 때 첨두전류의 오차 : $I_{p2}-I_{p2}'$는 5%이내로, 계곡전류오차 : $I_{v2}-I_{v2}'$는 3%이내의 오차로 근사시킬 수 있음을 많은 계산기 시뮬레이션에 의해 확인하고 있다[6].

$V_s=0.415$[V]일 때 V_2-I TD對特性은 그림 3과 같이 TD_2의 첨두전류값 I_{p2}'와 TD_1의 계곡전류값 I_{v1}'를 합하여 합성특성을 얻을 수 있다.

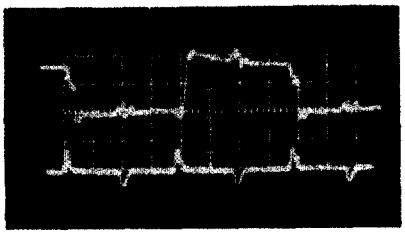
이 때 근사식은 첨두전류 근처에서 제일 큰 오차를 나타내고 그 다음으로 계곡전류값 근처에서 3%의 오차를 나타내고 있다.

따라서 TD對特性의 $I_p'=I_{p2}'-I_{v1}'$이므로 5%오차에서 3%오차를 뺀 2%오차범위 이내로 이론값에 근사시킨 결과가 된다.

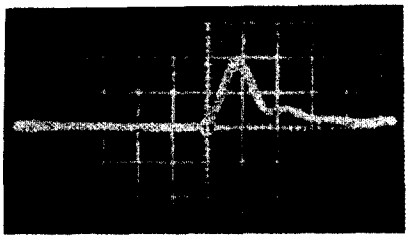
사진 1의 IN3712특성으로부터 4점 : (22mV, 0.6 mA), (150, 0.6), (506, 0.6) 및 (540, 1.0)을

표 1

구간 \ 조력		$V_2(t)$ [V]	Δt [nsec]	
t_r	①	$0.1144+0.0006e^{0.1113t_n}$	52.7	62.68
	②	$0.327+0.0237t_n$	2.06	
	③	$0.425-0.049e^{-0.497t_n}$	7.82	
t_d	④	$0.383+0.042e^{0.0031367t_n}$	1190	
t_f	①'	$0.3016-0.0006e^{0.1113t_n}$	52.7	62.53
	②'	$0.088-0.0237t_n$	2.07	
	③'	$-0.009+0.048e^{-0.497t_n}$	7.76	
t_s	④'	$0.033-0.042e^{-0.0031367t_n}$	1190	



Vert. Scale : 0.2V/Large Division
Horiz. Scale : 500ns/L. D.
(a)



Vert. Scale : 0.1V/L. D.
Horiz. Scale : 50ns/L. D.
(b)

사진 2 관찰된 TD對 F－F回路의 出力波形(a)과 트리거波形(b)
Observed output & trigger waveforms of a TD pair F－F Circuit.

식(4)에 대입하여 A, a, B, b를 구하면[7]

$$I(V_2)=0.0379\,V_2\cdot e^{-14.99V_2}+2.995\times10^{-3}\left(e^{-15.024V_2}-1\right) \qquad (4-1)$$

의 근사특성(그림 3의 점선)이 얻어진다.

그림 3에서 TD對特性 : $I=I_2+I_1'$이므로 첨두전류는 이론값의 2%이내로 근사된다.

이 對特性을 區間直線法으로 近似시키고 2安定動作토록 $R_1=R_2=560\Omega$을 택해서 부하선을 그린다.

上昇時間區間을 ①, ②, ③, 지속시간구간을 ④로, 下降區間을 ①', ②', ③', 回復區間을 ④'로 갈라서 $V_2(t)$ 및 스위칭 시간을 구하면 표 1과 같다.

이것은 사진 2(a)의 위 波形과 비슷한 커어브를 보인다.

5. 실험 및 검토

그림 1(a)의 회로에 구형파를 미분하여 兩極性트리거를 印加할 때의 F－F入出力波形을 사진 2(a)에 보이고 있다.

이 때 $R=280\Omega$, $C_j=10$pF, $L=50\mu$H일 때 500kHz트리거의 陽極性일 때만 作動하고 있음을 보이고 있다. (b)는 트리거波形이다.

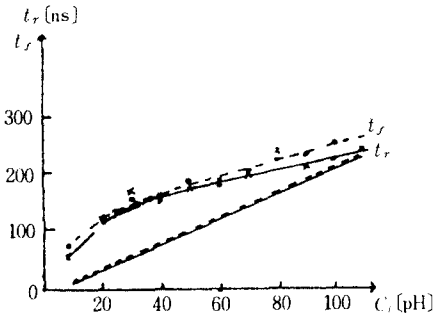


그림 4 C_j 대 t_r, t_f
t_r, t_f vs. C_j.

$C_j=120$pF이상에서 또는 $L=40\mu$H이하값에서는 F－F동작하지 않음이 관찰되었다.

그림 4에서 측정값 t_r, t_f는 대수 함수적인 증가를 보이나 계산값은 직선적 증가로 약 20～80[nsec]정도 측정치보다 적은 값으로 나타나 있다.

이것은 이론값이 $V_s=0.415$[V]로 계산한데 대하여 측정은 $V_s=0.49$[V]에서 행해진 때문에 오차가 생긴 것으로 생각되며 또한 트리거에서 $t_r=30$[nsec]이므로 실험에서 스위치 시간은 더 커진 것으로 판단된다. 따라서 50[nsec]를 이론값에 더해주면 ±15%의 오차범위 내에 측정값이 있게 된다.

$R=280\Omega$, $C_j=30$pF에서 L값을 변화시켰을 때 t_r 및 t_f는 150[nsec]정도이며 t_d 및 t_s는 1700[nsec]정도로 거의 일정한 값을 가지고 F-F동작하고 있음을 관찰하였다.

그러나 L값이 충분히 클 때 $L=300\mu$H인 경우 單安定에서의 계산값 $t_d=t_s=3570$[nsec] 이기 때문에 이전에 陽極트리거가 入力되어도 스위치 온되지 못하지만 이후의 陽트리거에 의해서 비로소 F－F동작하게 되는 것을 알았다.

따라서 $L=300\mu$H에서는 트리거 주파수 500kHz의 1/4인 125kHz의 周波數로 分周되어 있음을 발견할 수 있었다.

$C_j=30$pF, $L=100\mu$H에서 R을 증가시키면 t_r 및 t_f는 증가하나 出力波形의 한 주기시간은 거의 변화가 없었다. 또한 R값이 커지면 최소 트리거電壓이 증가하게 된다.

6. 결 론

(가) TD커어브 트레이서로부터 安定한 TD靜特性을 얻고 2개의 指數項으로 近似시켜 TD對 $V-I$特性을 구하면 2%이내의 오차로 근사시킬

수 있었다.

(나) TD對特性을 區間直線法으로 近似시켜 구한 스위칭 시간은 上昇時間, 下降時間 공히 ±15%이내의 오차로 구할 수 있으므로 本論文의 解析方法을 이용하면 TD MV回路의 設計뿐만 아니라 Goto Pair論理回路의 設計에도 有用하겠다.

(나) TD對F-F回路는 周波數를 1/2로 分周할 수 있을 뿐만 아니라 인덕턴스 L값이 충분히 크면 더 큰 分周比를 갖는 分周器로도 쓸 수 있음을 알았다.

參 考 文 獻

(1) H. A. Watson, "Microwave semiconductor devices and their circuit applications," MGH Co., 1969.

(2) H. H. Zappee, "A subnanosecond Josephson tunneling memory cell with nondestructive readout," IEEE J. Solid State Circuits, SC-10, pp. 12-19, 1975.

(3) N. Minorsky, "Nonlinear oscillations," Van Norstrand Co, 1962.

(4) M. J. Morgan, "Comparision of tunnel diode monostable multivibrators," Semiconductor Products, July, 1962.

(5) J. A. Narud, "Analysis and design of a transtor blocking oscillator including inherent nonlinearities," BSTJ, May, 1959.

(6) A. Ferendeci, "A two-term analytical approximation of tunnel-diode static characteristics," Proc. of the IRE, Aug. 1962.

(7) K. H. LEE, "A Stady on a TD pair flip-flop circuit," S. N. U. master paper, 1972.

(8) J. Millman and H. Taub, "Pulse, digital, and switching waveforms," McGraw-Hill, 1965.

(9) W. F. Chow, "Principles of tunnel diode circuits," John Wiley, 1964.

李 光 衡(Kwang Hyung LEE) 正會員

1945年 3月20日生

1968年 2月：서울大學校 工科大學電子工學科卒業

1972年 8月：서울大學校大學院電子工學科卒業(工學碩士)

1974年 4月：(日本)東京大學大學院大學

1979年 3月：(日本)東京大學大學院電子工學科博士課程修

1982年 9月：崇田大學校 工科大學電子工學科