

# 負性抵抗 말티바이브레이터의 安定點 設定과 動作安定性

## Stable Point Setting in Negative-Resistance Multivibrator Designs

林 寅 七\*

(Lim, In Chil)

### 要 約

電壓制御形 負性抵抗素子를 使用하여 말티바이브레이터를 設計할 경우의 安定點 設定과 回路動作 安定性에 關하여 論한다. 즉 직류적으로 한개 혹은 두개의 安定點을 가지도록 設計된 回路가 一時的 혹은 永久的 發振을 일으키는 現象에 對하여 아나로그 計算機의 模擬에 依하여 解析하고, 實驗的으로 확인함으로써, 負性抵抗스윗칭回路 設計上의 유의점을 提示한다.

### Abstract

The operation behaviors of negative-resistance multivibrators are described. The oscillation phenomena in monostable and bistable mode negative-resistance circuits are analyzed by using an analog computer. It is presented that voltage-controlled negative-resistance switching circuits may be in oscillation state for a time or permanently by adding the bias voltage or trigger pulse. The results show that the care must be taken for this fact in the constructions of negative resistance switching circuits.

### 1. 序 論

負性抵抗持성을 가진 素子が 스윗칭回路 構成에 많이 使用되고 있다. 負性抵抗素子は 그 特性에 따라서 電壓制御形과 電流制御形으로 나눌 수 있다. 近來 애바란취·트랜지스터, 턴넬다이오드 등의 負性抵抗素子를 使用하여 스윗칭回路의 高速化를 爲한 研究가 널리 行하여져왔다. 高速스윗칭回路를 構成함에 있어서 回路要素의 배열과 安定點의 設定은 回路의 動作安定도와 動作速度

를 充分히 고려해서 行하여지지 않으면 안된다.

本 論文은 電壓制御形 負性抵抗素子를 使用하여 말티바이브레이터를 構成할 경우의 回路動作 安定성에 關하여 論한다. 즉 直流的으로 한개 혹은 두개의 安定點을 가지도록 設計된 回路가 回路 構成方式에 따라서는 電源스윗치에 依하여 電源 電壓이 加해지거나 트리거펄스가 加해짐에 依하여 一時的 또는 永久的인 發振을 일으킬 수 있다. 이와같은 現象을 아나로그計算機에 依하여 해석하고 實驗的으로 확인함으로써 負性抵抗 스윗칭回路 設計上의 새로운 유의점을 提示한다.

### 2. 回路의 動作安定點

그림 1은 電壓制御形 負性抵抗素子를 使用한

\* Dept. of Electronics Engineering Hanyang University

\* 正會員 漢陽大學校 工科大学 電子工學科  
接受日字: 1973. 3. 3

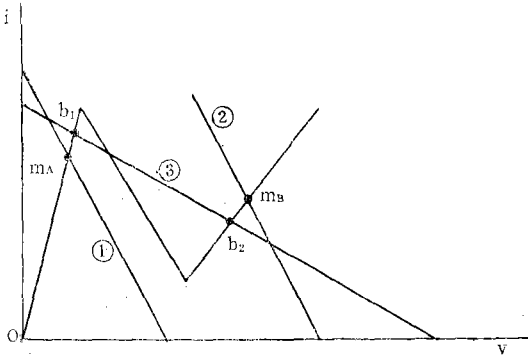


그림 1. 單安定 및 雙安定 말티바이브레이터의 安定點  
 Fig. 1. Stable points of monostable and bistable multivibrator

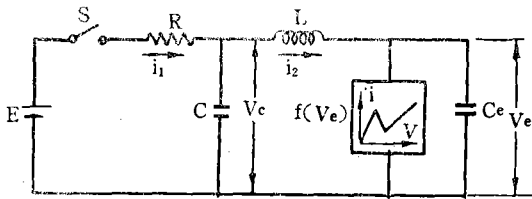


그림 2. 電壓制御形 負性抵抗 素子를 포함한 回路  
 Fig. 2. Voltage-controlled negative-resistance circuit.

單安定 및 雙安定 말티바이브레이터의 安定點을 表示했다.  $m_A$  및  $m_B$ 는 靜的狀態에서 ① 혹은 ②의 負荷線을 가진 경우의 單安定 말티바이브레이터의 定安點이고  $b_1$   $b_2$ 는 ③의 負荷線을 가진 雙安定 말티바이브레이터의 二安定點이다. 靜的狀態에서 安定點을 第一正抵抗領域 혹은 第二正抵抗領域에 設定하였을 경우라도 回路構成 및 要素의 값에 따라 單安定 혹은 雙安定 回路의 機能을 가지지 못하게 될 경우가 있다.

그림 2는 電壓制御形 負性抵抗素子를 포함한 回路이다.  $f(V_e)$ 가 素子の 負性抵抗特性이며  $C_e$ 는 接合容量을 포함한 素子兩端間의 容量이다. 電源電壓  $E$ 와 抵抗  $R$ 의 값에 따라서 單安定狀態 혹은 雙安定狀態 無安定狀態로 될 수 있다.

### 3. 單安定狀態의 安定點의 位置와 發振現象

#### 3.1 安定點이 第2正抵抗領域에 位置한 경우

그림 2의 回路에 있어서 直流的으로 그 安定點이 負性抵抗特性의 第2正抵抗領域에 存在하는 單安定回路의 경우를 생각한다. 安定點이 그림 1의  $m_B$ 點에 存在하는 경우 그림 2의 스위치  $s$ 를 닫을

때의 回路動作狀態를 살펴본다. 스위치  $s$ 를 닫으면 容量  $C$ 에 充電이 始作된다. 動作點은 特性曲線의 原點으로부터 頂點을 지나서 第2正抵抗領域으로 스위칭하여  $m_B$ 點에서 安定되어야 한다. 그러나 動作點이 頂點으로부터 第2正抵抗領域으로 스위칭할때에 스위칭時間에 比하여 容量  $C$ 의 充電時間이 월등하게 클 경우 發振現象이 일어난다. 즉 電壓이 加해져서  $C$ 의 充電에 依하여  $V_e$ 가 增加되어가는 途中  $V_e$ 가 最初로 特性曲線의 頂點에 도달했을때부터 發振을 始作하여  $V_e$ 가 特性의 Valley 點에 도달했을때 發振이 멈추고 動作點은  $m_B$ 에 머물게 된다.

#### 3.1.1. 아나로그計算機에 依한 解析

그림 2의 回路方程式은 다음과 같이 表示된다.

$$\begin{cases} E = R i_1 + V_e \\ V_e = L \frac{d i_2}{d t} + V_e \\ i_2 = f(v_e) + C_e \frac{d V_e}{d t} \\ i_1 = i_2 + C \frac{d V_e}{d t} \end{cases}$$

負性抵抗 特性은 다이오드 리미터로서 折線을 合成한 非線形函數 發生器를 構成하여 그림3에 表示한바와 같은 特性을 갖도록 하였다.

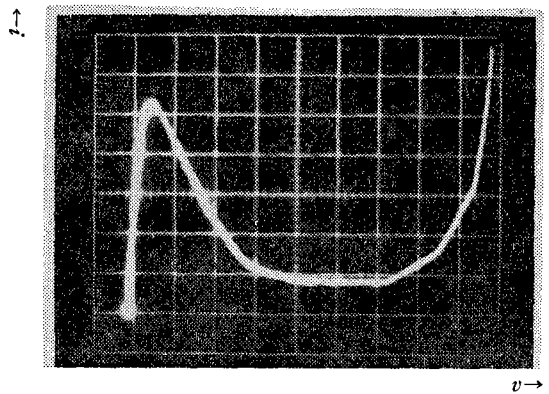


그림 3. 非線形函數發生器에 依하여 모의한 電壓制御形 負性抵抗特性曲線

Fig. 3. Voltage controlled NR characteristic curve simulated by a nonlinear function generator.

그림 4의 (a)는 아나로그計算機上에 模擬한 그림 2의 回路에서  $L=20\mu H$ ,  $R=200\Omega$ ,  $C_e=50pF$ ,  $E=1.0V$ ,  $C=0$ 인 單安定 말티바이브레이터의 動作圖이다. 이 경우 安定點은 第2正抵抗領域에 位

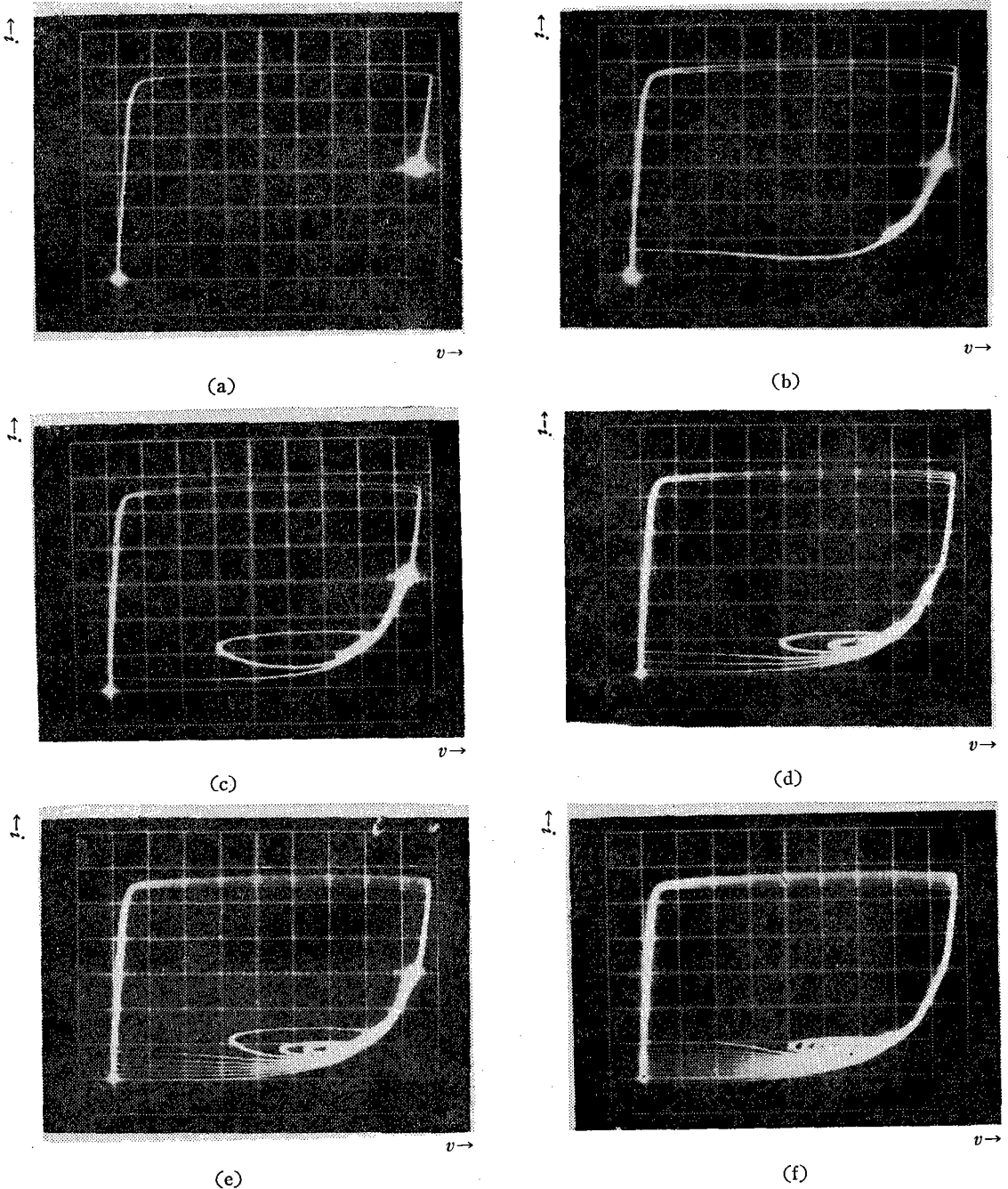


그림 4. 電壓制御形 負性抵抗 스위칭회로의 一時的 發振現象(아나로그 計算機上에 模擬된 monostable 回路  $R=200\Omega$ ,  $C_s=50pF$ ,  $L=20\mu F$ ,  $E=1.0V$  (a)  $C=0pF$ , (b)  $C=500pF$  (c)  $C=1000pF$  (d)  $C=2000pF$  (e)  $C=3000pF$  (f)  $C=5000pF$ )

Fig. 4. Oscillation phenomena in voltage-controlled NR switching circuits.

置하며 스위치  $s$ 를 닫으면 動作點이 原點을 出發하여 第1 正抵抗 領域을 通過, 頂點에서 第2 正抵抗 領域으로 스위칭한후 同領域上의 安定點에

서 靜止되는 過程을 나타낸다. 그림 4의 (b)는  $L, R, E$ 의 값은 그림 4 (a)의 경우와 同一하고  $C=500pF$ 일때의 回路 動作이다. 即 回路 動作點

이 頂點을 넘어서 第2正抵抗 領域을 通過하여 다시 第1正抵抗 領域으로 되돌아와서 다시 한번 점프한후  $V_c$ 가 Valley 點 電壓에 到達하여 第2正抵抗領域의 安定點에서 靜止하는 動作이다.

그림 4의 (c)는  $C=1000pF$ 인 경우이며 回路 動作點이 (b)의 경우와 같이 1回 回轉한후 다시 第2正抵抗 領域에서 第1正抵抗 領域으로 移動하기 爲하여 Valley 點 近處까지 갔을때  $V_c$ 가 Valley 點 電壓에 到達하여 動作點은 第2正抵抗 領域內的 安定點으로 가서 靜止하는 動作이다.

그림 4의 (d)는  $C=2000pF$ 의 경우이고 動作點이 세번 回轉한 後 安定點에 머무른다. (e), (f)는 各各  $C$ 가  $3000pF$ ,  $5000pF$ 의 경우의 一時的인 發振現象이다.  $C$ 의 값이  $9000pF$ 를 超過하면 永久히 發振을 繼續하게 된다.

그림 5는  $C$ 의 充電電壓  $V_c$ 와 素子 兩端間的

電壓  $V_s$ 와  $R$ 를 흐르는 電流  $i_1$ 과 素子를 흐르는 電流  $i_2$ 와의 關係를 나타내었다.  $R=200\Omega$ ,  $C_s=50pF$ ,  $L=20\mu H$ 이며 그림 5의 (a)는  $E=0.8V$ ,  $C=50pF$ 의 境遇이며 一時的인 發振現象이 일어나고 그림 5의 (b)는  $E=1.0V$ ,  $C=34,000pF$ 로서 永久發振이 일어나는 境遇이다.

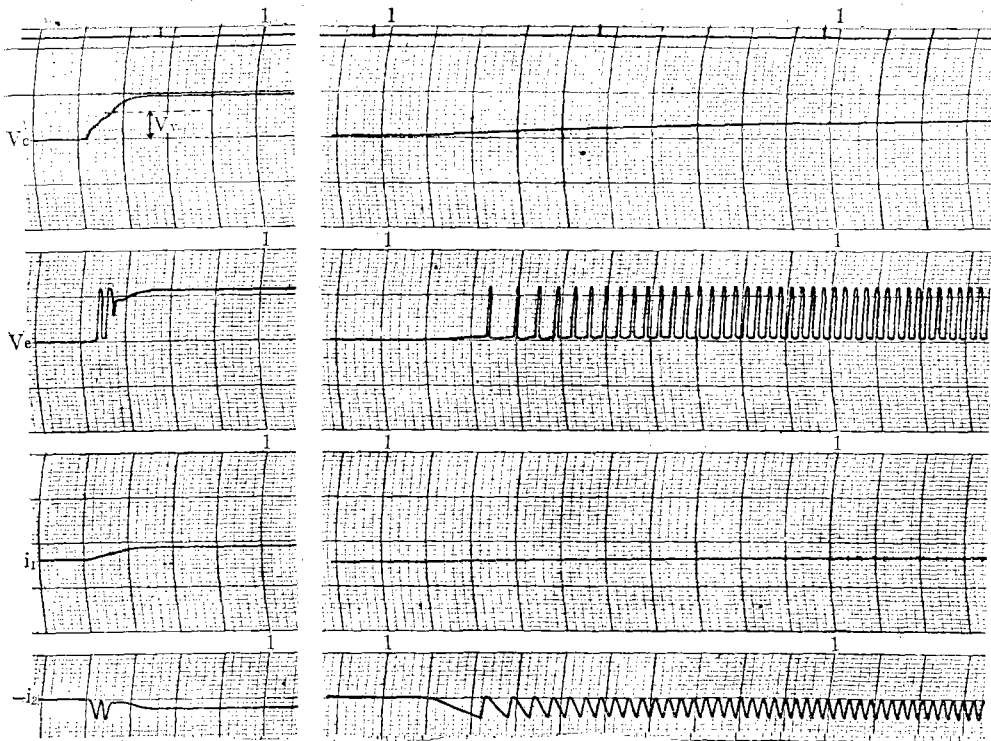
그림 6은  $C$ 의 값에 對한 充電時間 및  $V_c$ 가  $V_s$  (Valley 點電壓)에 到達하기까지의 發振回數를 아나로그計算機에 依하여 求한것이다.

3.1.2. 近似式에 依한 解析

그림 7의 (a) 回路의 스위치  $s$ 를 닫았을때 容量  $C$ 는 充電되기 始作한다. 容量  $C$ 의 값이 클 경우 回路의 動作點이  $V_s$ 를 넘었을때부터 容量  $C$ 의 充電電壓이  $V_c$ 가 될때까지 發振이 일어날 수 있다.  $C$ 의 充電電壓을 近似的으로

$$V_c = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

3.1-1



$R=200\Omega$ ,  $C_s=50pF$   
 $C=500pF$ ,  $L=20\mu H$ ,  
 $E=0.8V$

(a)

$R=200\Omega$ ,  $C_s=50pF$   
 $C=34,000pF$ ,  $L=20\mu H$ ,  
 $E=1.0V$

(b)

그림 5. 一時的 發振 및 永久發振에 있어서  $V_c$ ,  $V_s$ ,  $i_1$ ,  $-i_2$ 의 相互關係

Fig. 5. Relations of  $V_c$ ,  $V_s$ ,  $i_1$ , and  $-i_2$  in momentary and permanent oscillations.

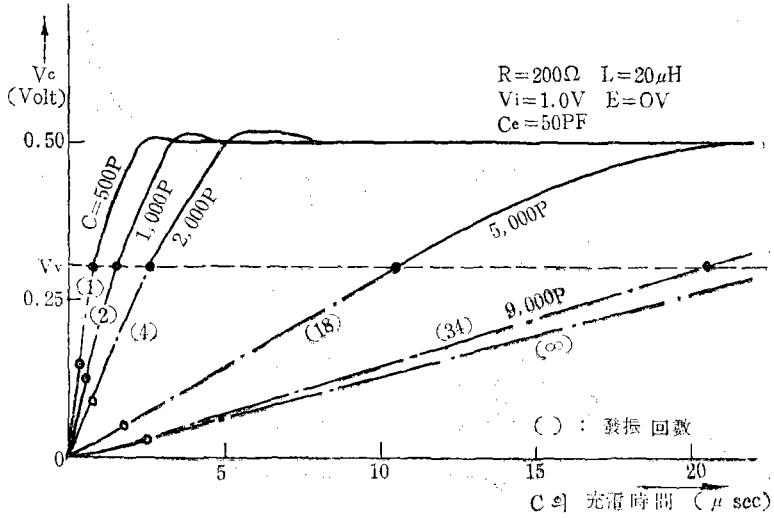


그림 6. C의 값에 對한 充電時間 및  $V_c$ 가  $V_v$ 에 到達하기까지의 發振回數(아나로그計算機에 依한 값)  
 Fig. 6. Charging time of C and oscillations.

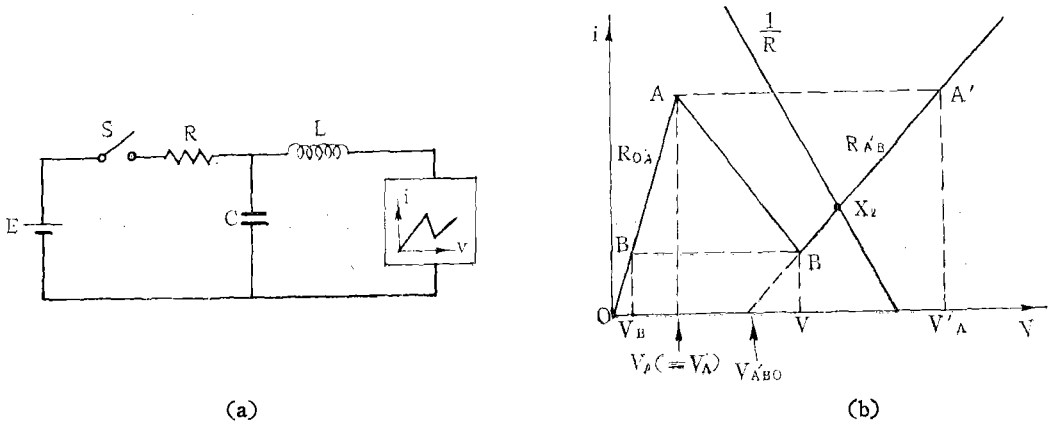


그림 7. 第2正抵抗 領域에 安定點이 存在하는 單安定回路  
 Fig. 7. The monostable circuit in case that a stable point is set in the first positive-resistance region.

로 생각하면 그림 7의 (a)회로에서 動作點이 그림 7의 (b)  $R_{oA}$ 에 있을 때에는

$$E(1 - e^{-\alpha_1 t}) = L \frac{di_{oA}}{dt} + R_{oA} i_{oA} \quad 3.1-2$$

$$\text{但 } \alpha_1 = \frac{1}{RC}$$

라플라스變換을 하면 L의 初期電流는 0이므로

$$E \left[ \frac{\alpha_1}{s(s + \alpha_1)} \right] = sL I_{oA}(s) + R_{oA} I_{oA}(s)$$

$$I_{oA}(s) = E \left[ \frac{\alpha_1 / L}{s(s + \alpha_1)(s + \alpha_2)} \right] \quad 3.1-3$$

$$\text{但 } \alpha_2 = \frac{R_{2A}}{L}$$

$$= E \left( \frac{k_0}{s} + \frac{k_1}{s + \alpha_1} + \frac{k_2}{s + \alpha_2} \right)$$

$$k_0 = \frac{1}{L\alpha_2} = \frac{1}{R_{oA}}$$

$$k_1 = -\frac{1}{L(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$k_2 = \frac{\alpha_1}{L\alpha_2(\alpha_1 - \alpha_2)}$$

逆變換하면

$$i_{oA}(t) = E \left\{ \frac{1}{L\alpha_2} - \frac{1}{L(\alpha_2 - \alpha_1)} \left( e^{-\alpha_1 t} - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} e^{-\alpha_2 t} \right) \right\} \quad 3.1-4$$

或은

$$V_{oA}(t) = R_{oA} E \left\{ \frac{1}{L\alpha_2} - \frac{1}{L(\alpha_2 - \alpha_1)} \left( e^{-\alpha_1 t} - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} e^{-\alpha_2 t} \right) \right\} \quad 3.1-5$$

式 3.1-4 或은 3.1-5에서

$$i_{oA} = i_p \text{ 또는 } V_{oA}(t) = V_p$$

일때의  $t$ 의 값을  $T_1$ 이라고 하면  $T_1$ 의動作點이 原點에서  $A$ 點까지 移動하는데 要하는 時間이다.

動作點이 點  $A$ 에서  $A'$ 로 jump 한後  $A'$ 에서  $B'$ 로 到達하는데 要하는 時間을  $T_2$ 라고하면 容量  $C$ 의 電壓과 그림 7의  $L$  및  $R_{A'B}$ 에 걸리는 電壓과의 關係式은

$$E \{ 1 - e^{-\alpha_1(T_1+T_2)} \} - V_{A'BO} = i_{A'B}(t) R_{A'B} + L \frac{di_{A'B}}{dt} \quad 3.1-6$$

或은

$$E \left\{ \frac{s + \alpha_1 - e^{-\alpha_1 T_1 s}}{s(s + \alpha_1)} \right\} - \frac{V_{A'BO}}{s} = I_{A'B}(s) R_{A'B} + LS I_{A'B}(s) - i_{A'}'L \quad 3.1-7$$

$$\text{但, } i_{A'}' = \frac{V_{A'}' - V_{A'BO}}{R_{A'B}} \quad 3.1-8$$

$$I_{A'B}(s) = \frac{\{ i_{A'}' LS^2 - (Ee^{-\alpha_1 T_1} + V_{A'}' - V_{A'BO} \alpha_1) \} 1/L}{s(s + \alpha_1)(s + \alpha_3)} \quad 3.1-9$$

$$\text{但 } \alpha_3 = \frac{R_{A'B}}{L}$$

$$i_{A'B}(t) = k_3 + k_4 e^{-\alpha_1 t} + k_5 e^{\alpha_3 t} \quad 3.1-10$$

$$\text{但 } k_3 = \frac{E - V_{A'BO}}{L\alpha_3}$$

$$k_4 = \frac{Ee^{-\alpha_1 T_1}}{L(\alpha_1 - \alpha_3)}$$

$$k_5 = \frac{-E + V_{A'BO} + \alpha_3 i_{A'}' L}{L\alpha_3} + \frac{Ee^{-\alpha_1 T_1}}{L(\alpha_3 - \alpha_1)}$$

NR 素子の 端子電壓  $V_{A'B}$ 는

$$V_{A'B}(t) = i_{A'B}(t) R_{A'B} + V_{A'BO} \quad 3.1-11$$

時間  $T_2$ 는  $V_{A'B}(t)$ 의 값이  $V_B$ 가 되는 時間을 求하면 된다.

다음,  $B'A$ 間에 關하여 생각하면 위와같은 方法으로

$$L \{ E(1 - e^{-\alpha_1(T_1+T_2+t)}) \} = I_{B'A}(s) R_{oA} + SL I_{B'A}(s) - i_{B'}'L \quad 3.1-12$$

$$\text{但 } i_{B'}' = \frac{V_{B'}'}{R_{oA}}$$

$$I_{B'A}(s) = \frac{\{ i_{B'}' LS^2 + (i_{B'}' L \alpha_1 - Ee^{-\alpha_1(T_1+T_2)} + E) s + E \alpha_1 \} 1/L}{s(s + \alpha_1)(s + \alpha_4)} \quad 3.1-13$$

$$\text{但 } \alpha_4 = \frac{R_{oA}}{L}$$

$$i_{B'A}(t) = k_6 + k_7 e^{-\alpha_1 t} + k_8 e^{-\alpha_4 t} \quad 3.1-14$$

$$k_6 = \frac{E}{\alpha_4 L}, \quad k_7 = \frac{Ee^{-\alpha_1(T_1+T_2)}}{(\alpha_1 - \alpha_4)L}$$

$$k_8 = \frac{-E + \alpha_4 i_{B'}' L}{\alpha_4 L} + \frac{Ee^{-\alpha_1(T_1+T_2)}}{(\alpha_4 - \alpha_1)L}$$

NR 素子の 端子電壓  $V_{B'A}(t)$ 는

$$V_{B'A}(t) = i_{B'A}(t) R_{oA} \quad 3.1-15$$

$T_3$ 는  $V_{B'A}(t) = V_A$  되는 時間을 計算함으로써 求한다.

容量  $C$ 의 充電電壓이  $V_o$ 에 達하는 時間을  $T$ 라고 하면

$$\sum_{i=1}^n T_i < T, \quad 3.1-16$$

이 發振持續 條件이다.

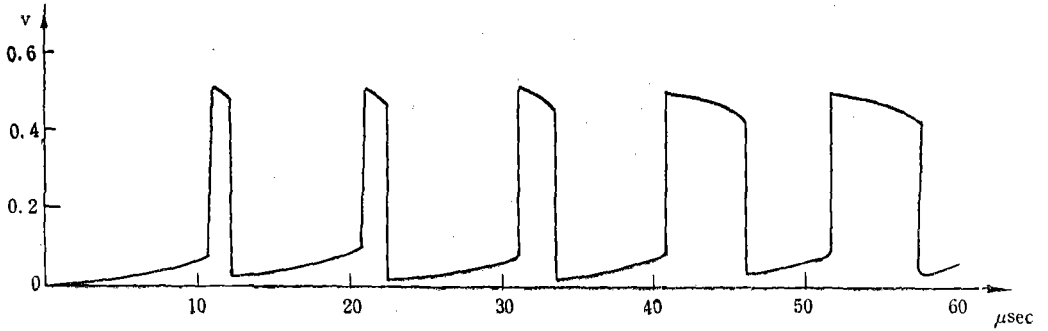
以上の 式을 使用하여 디지털電子計算機로서 發振波形을 求하면 그림 8과 같다.

### 3.2. 安定點이 第1正抵抗 領域에 位置할 경우

그림 2의 回路가 直流的으로 그 安定點이 負性抵抗 特性의 第1正抵抗 領域에 存在하는 境遇의 單安定回路에 對하여 생각한다. 低레벨 人力펄스에 對한 回路의 入力感度를 높이기 爲하여 安定點을 負性抵抗 特性曲線의 頂點 가까이에 設定하였을 경우, 回路 要素의 값에 따라서 一時的 或은 永久的 發振現象이 일어난다. 即 靜的狀態에 있는 單安定 回路에 入力펄스가 加해짐에 依하여 動作點이 第1正抵抗 領域에서 第2正抵抗 領域으로 스윙하여 再次 第1正抵抗 領域의 安定點으로 되돌아 올때 過度應答의 overshoot에 依하여 動作點이 다시 頂點을 넘는 경우가 있다. 이때 發振現象이 일어난다.

過度應答의 overshoot는 그림 2의 回路에서 다음과 같이 計算된다.

그림 9의 (a)에 表示한 回路의 스윙치  $s$ 를 단



$E=0.7V, R=200\Omega, L=2 \times 10^{-8}H$   
 $C=5 \times 10^{-9}F$ , peak 電流=2mA, Valley 電流=0.35mA.  
 그림 8. 算出한 發振波形(digital computer에 依하여)  
 Fig. 8. Oscillation waveforms calculated by digital computer

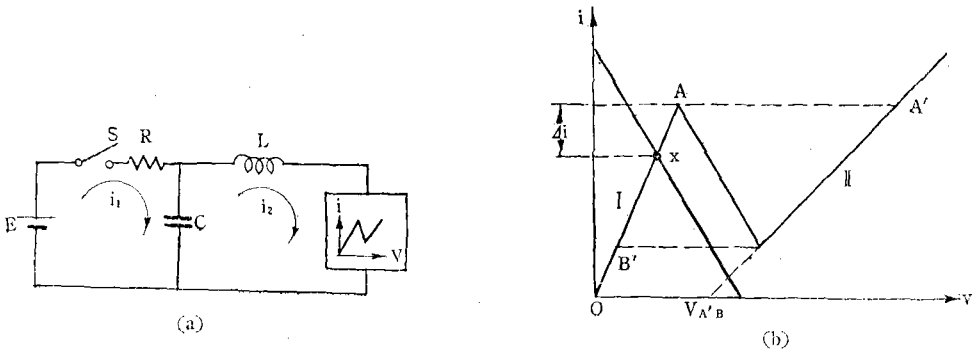


그림 9. 第1正抵抗 領域에 安定點이 存在하는 單安定 回路

Fig. 9. The monostable circuit in case that a stable point is set in the first positive-resistance region.

은 狀態의 方程式은

$$E = i_1 R + \frac{1}{C} \int (i_1 - i_2) dt \quad 3.2-1$$

$$0 = L \frac{di_2}{dt} + R_{oA} i_2 + \frac{1}{C} \int (i_2 - i_1) dt \quad 3.2-2$$

上式을 라플라스變換하여  $I_2(s)$ 에 關하여 整理하면

$$I_2(s) = \frac{E}{s \{ RLCS^2 + (RR_{oA}C + L)s + (R + R_{oA}) \}} \quad 3.2-3$$

$$= \frac{E}{s(s-y_1)(s-y_2)}$$

여기서

$$y_1, y_2 = \frac{-(RR_{oA}C + L) \pm \sqrt{(RR_{oA}C + L)^2 - 4RLC(R + R_{oA})}}{2RLC} \quad 3.2-4$$

$$\therefore i_2(t) = E \left\{ \frac{1}{R + R_{oA}} + \frac{1}{y_1 - y_2} \left( \frac{1}{y_1} e^{y_1 t} - \frac{1}{y_2} e^{y_2 t} \right) \right\} \quad 3.2-5$$

그런데 第1正抵抗 領域에 安定點이 있을때의 發振現象은  $\Delta i_0 > \Delta i$  ( $\Delta i_0$ 는 overshoot의 電流值)일때 일어나므로 3.2-5式에서 overshoot가 일어나는 條件은

$$(RR_{oA}C + L)^2 - 4RLC(R + R_{oA}) < 0 \quad 3.2-6$$

이므로 이 경우의  $i_2(t)$ 는

$$i_2(t) = E \left\{ \frac{1}{R + R_{oA}} + 2\sqrt{A^2 + B^2} e^{-\alpha t} (\cos \omega t - \tan^{-1} \frac{B}{A}) \right\} \quad 3.2-7$$

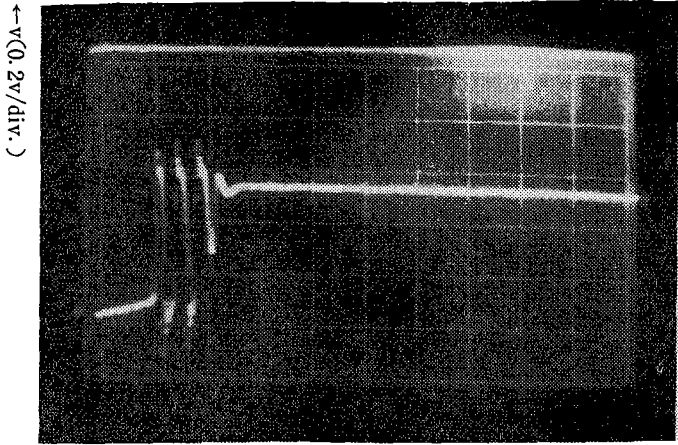


그림 10. 터널다이오드單安定 말티바이브레이터에 트리거펄스가 加해질때 發生한 一時發振  
 Fig. 10. A oscillation phenomenon of a TD monstable multivibrator

$L=70\mu\text{H}$     $C_0=50\text{PF}$

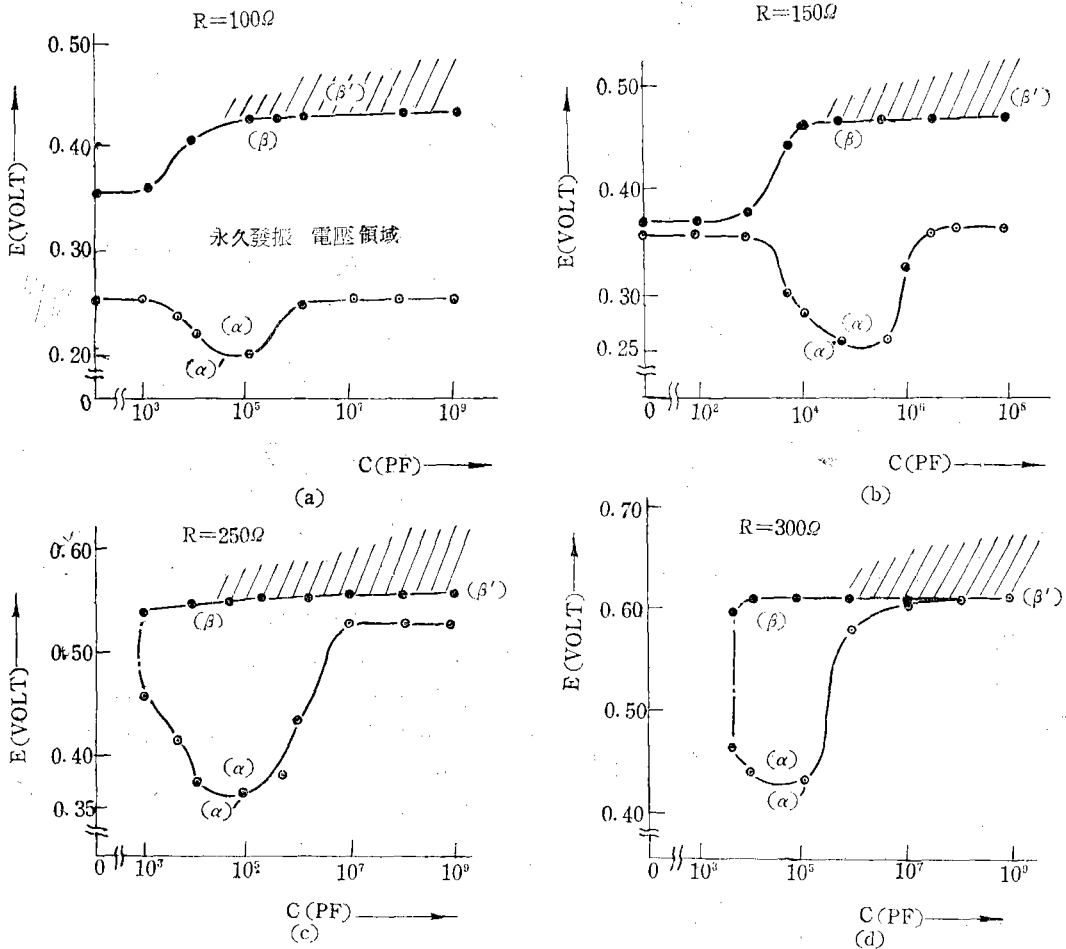


그림 11. TD 回路의 바이아스電壓( $E$ )과 容量( $C$ )에 對한 永久 및 一時發振의 領域  
 Fig. 11. Oscillation regions of TD circuit as function of bias voltage  $E$  and capacitance  $C$ .



여기서

$$\begin{cases} \alpha = (RR_{oA}C + L) / 2RLC \\ \omega = \sqrt{4RLC(R + R_{oA}) - (RR_{oA} + L)^2} / 2RLC \\ A = -\frac{1}{2RLC(\omega^2 + \alpha^2)} \\ B = -\frac{\alpha}{2RLC\omega(\omega^2 + \alpha^2)} \end{cases} \quad 3.2-8$$

(3.2-7)式에서 overshoot가 peak 値를 가지는 時間  $T_2$ 는  $i_2(t)$ 를 微分하여 0 되는 값에서 求할 수 있다.

즉,

$$T_2 = \frac{\theta + \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha} + \frac{3\pi}{2}}{\omega}$$

overshoot를 갖는  $C$ 의 범위는 한정되며, (3.2-4)式으로부터 가령  $L=70\mu H$ ,  $R=250\Omega$ ,  $R_{oA}=30\Omega$  이라면  $C$ 의 범위는  $2.7 \times 10^{-10} F$ 에서  $3.3 \times 10^{-7} F$ 까지 overshoot가 發生한다. 이와같은 計算結果는 實驗의으로도 간단히 나타난다.

이와같은 overshoot가 發生하는  $C$ 의 범위內에서 overshoot에 依한 發振現象이 나타나는 것이 그림 11에서 보여진다.

#### 4. 實 驗

그림 10은 負性抵抗素子로서 터널다이오드를 使用한 單安定말티바이브레이터의 出力波形이다.  $E=1.0V$ ,  $R=200\Omega$ ,  $L=20\mu H$ ,  $C=1500pF$ 일때 트리거 펄스가 加해질 경우에 發生한 一時發振現象이다.

그림 11에 2mA 터널다이오드에 對한 영구발전 및 일시발전영역을 容量  $C$ (그림 2)와 바이아스전압  $E$ 의 函數로서 나타내었다. ( $\alpha$ )가 過度應答의 overshoot에 依한 永久發振領域이며, ( $\beta$ )에 直接的으로 第2正抵抗領域에 安定點이 存在하는 경우의 永久發振領域이다. ( $\alpha'$ ) ( $\beta'$ )는 overshoot 및  $V_c$ 에 依한 一時發振領域이다.

#### 5. 雙安定回路

그림 11에서 보여진바와 같이 負荷抵抗  $R$ 의 값이 커서 雙安定回路일 경우는  $C=0$ 일때 發振領域이 存在하지 않으나  $C$ 의 값이 커짐에 따라서 發振現象이 나타난다. 이와같은 現象은 雙安定狀態의 第1正抵抗領域의 安定點 및 第2正抵抗領域의 安定點에 單安定狀態의 경우와 같은 理論이 適用된다.

#### 6. 結 論

電壓制御形負性抵抗素子를 使用한 말티바이브레이터 設計에 있어서 直流의으로는 한個 혹은 두個의 安定點을 가지는 경우일지라고 回路構成要素의 配列과 값에 따라 電源電壓 또는 入力펄스의 공급과 함께 一時的 또는 永久의인 發振을 일으킬 수 있음을 提示했다. 이와같은 現象이 發生하는 原因에 關하여 各 回路要素의 값에 따라 解析함으로써 設計上의 有意點을 얻었다. 그림 2에 表示한 回路以外에도 負性抵抗素子側에 等價 電源으로되는 容量에 對해서는 同一한 現象이 일어난다.

끝으로 本 研究에 많은 협조를 하여준 漢陽大學校 電子回路研究室一同에게 謝意를 表하는 바이다.

#### 參 考 文 獻

1. T. KAWAMOTO, S. KAWAMOTO; "A New Aspect of Negative Resistance Diode Bistable Circuits" IEEE. Trans. CT-10, No. 3, p. 133, Sept. 1963.
2. 林寅七, 平山博: "Esaki Diode 單安定回路의 安定性" 日本電氣四學會連合大會 講演論文集 No. 1891. p. 2197, 1967.
3. 林寅七, 平山博: "Esaki Diode 波形整形回路" 日本電子通信學會全國大會講演論文集 No. 941, p. 871, 1968.