

## 光電素子を 이용한 電流安定負抵抗 特性回路的 構成

## (A Study on Composition of Current Stable Negative Resistance Circuit with LED and CdS.)

朴 義 烈\* · 都 是 弘\*\* · 文 在 德\*\*

(Park, Ui Yul, Doh, Sih Hong, and Moon, Jae Duk)

## 要 約

接合形 트랜지스터와 發光다이오드(LED) 및 光導電素子(CdS)로서 構成된 光結合 電流安定負抵抗回로를 提案하였다. 이는 一般的으로 光트랜지스터보다도 CdS가 光感도가 더 예민한 것을 利用하여, CdS와 LED를 光遮蔽密着 시켜서 LED에 흐르는 電流와 CdS의 實効抵抗變化로써 結合된 光結合方式을 擇하였다.

트랜지스터의 콜렉터-에미터間에 人爲的인 漏洩抵抗을 挿入하는 方法을 導入함으로써 負抵抗值 및 最大 入力端子電壓值을 任意로 變化할 수 있게 하였으며, 提案한 回路를 解析하고 또 이를 實驗的으로 確認하였다. 漏洩抵抗을 1KΩ에서 30KΩ까지 變化시켰을 때 最大 入力端子電壓은 1.65V에서 4.22V로 變하였고, 負抵抗值은 -1.0KΩ에서 -10.0KΩ까지 變하였다. 또 實驗值에 對한 計算值의 相對百分最大誤差가 11%이 었다.

## Abstract

A current stable negative resistance circuit has been constructed with combination of complementary symmetrical transistors, a light emitting diode and a photoconductive cell.

The negative resistance( $R_N$ ) and break-over voltage( $V_{BO}$ ) can be set at a designed value according to adjustment of the artificial leakage resistance of p-n-p transistor.

The  $R_N$  and  $V_{BO}$  calculated in this designed circuit are checked though the experiments, the errors are found less than 11%.

## 1. 緒 論

電流安定形인 負抵抗特性을 갖는 回路는 트랜지스터나 真空管을 利用하고 있다<sup>1-5)</sup>. 이들 回路는 모두 直結合回路로서 構成되어 있고, 負抵抗을 表示하는 端子內에 入力電流에 比例하는 電壓을 얻기 爲한 抵抗이 있기 마련이다. 즉 샘플링(sampling)회로가 있다.

그런데 直結合回路가 아닌 光結合方式을 利用하여 發光다이오드, 接合形트랜지스터 및 光트랜지스터를 利用하여 複合回路로서 이루어진 負抵抗回路가 近來에 發表된 것이 있다. <sup>(6-7)</sup>

이 回路와같이 光結合方式을 利用하여 光트랜지스터

대신에 光導電素子인 硫化카드뮴(CdS)素子和 接合型 트랜지스터를 쓰고, 거기에 接合型트랜지스터와 發光 다이오드를 가지고 電流安定形인 負抵抗回로를 構成하고자 試圖하였다.

發光다이오드의 電流-電壓特性에서 본 増分抵抗은 대단히 낮으나 電流-光束으로의 變換特性이 相當히 좋으므로 샘플링素子로서는 無難하다고 보여진다. 이 發光다이오드의 光이 制御回路에 놓인 트랜지스터의 바이어스(bias)회로에 둔 CdS의 實効抵抗을 減少시키는 光束-抵抗變化로의 變換特性을 利用한 光結合方式을 擇하고자 한다. 이것은 곧 發光다이오드電流對 CdS의 實効抵抗變化에의 結合을 이루는 回路가 될 것이다. 著者들은 이 方法이 可能하다고 推定하였다.

이 回路에는 트랜지스터의 콜렉터-에미터間에 並列로 抵抗을 두어서 人爲的인 漏洩電流를 선택하는 方

\* 正會員, 釜山大學校 工科大学 電子工學科 副教授

\*\* 正會員, 釜山實業專門學校 電子科 專任講師

接受日字: 1975年 10月 18日

法<sup>8-10)</sup>을 導入하였으며 샘플링 회로에는 發光다이오드를 使用하였다.

이렇게 하여 構成된 回路的 各 領域의 動作을 推定하여 回路를 解析하였다. 이 解析方法의 妥當性을 實驗으로 뒷바침하고자 試圖하였다.

끝으로 CdS는 光트랜지스터보다 손쉽게 求할 수 있으며, CdS에 外因인 光트리거(trigger)를 印加하면 스윗칭 회로等に 利用되리라고 본다.

2. 回路的 動作과 그 解析

그림 1에 트랜지스터, 發光다이오드 및 光導電素子로서, 複合回路로 이루어진 電流安定負抵抗特性을 가진 回路를 提案한다.

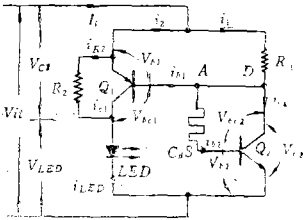


그림 1. 本實驗에 使用한 電流安定負抵抗回路  
Fig. 1. Current stable negative resistance circuit used in this experiment.

여기에 쓰인 各 記號는 그림 1에 表示한 外에 必要한 것을 아래에 表示했다.

E, B, C, e, b, c : 트랜지스터의 에미터, 베이스 및 콜렉터

- $I_{IC}$  : 入力電流, 添字는 領域의 表示임.
- $I_{IC}$  : 入力端子電壓, 添字는 領域의 表示임.
- $R_1$  :  $Q_2$ 의 負荷抵抗인 同時에  $Q_1$ 의 바이어스抵抗
- $R_2$  :  $Q_1$ 의 CE間에 並列로 둔 人爲的인 漏洩抵抗
- LED : 發光다이오드.

- $v_{LED}$  : LED의 端子電壓.
- $i_{LED}$  : LED에 흐르는 電流.
- $V_{LED7}$  : LED의 I-V特性的 遮斷電壓.
- $V_{72}$  :  $Q_2$ 의 BE開電壓  $v_{B2}$ 의 遮斷電壓.
- $V_{71}$  :  $Q_1$ 의 BE開電壓  $v_{B1}$ 의 遮斷電壓.
- $I_{B2}$  :  $V_{72}$ 에서의 베이스電流.
- $I_{CEO1}$  :  $Q_1$ 의 베이스遮斷 콜렉터電流
- $I_{CEO2}$  :  $Q_2$ 의 베이스遮斷 콜렉터電流.
- $V_{LEDBO}$  :  $V_{BO}$ 에서의  $V_{LED}$

$R_{CdSd}$ ,  $R_{CdS}$  :  $i_{LED}=0$ 때의 CdS의 抵抗 및  $i_{LED}=i$ 인 경우의 CdS의 各 實効抵抗.

$i_{AD}$  : 그림 1의 點 AD間을 흐르는 電流.  
그림 2와 같은 I-V特性이 電流安定形 負抵抗特性이

다. <sup>11,12)</sup>

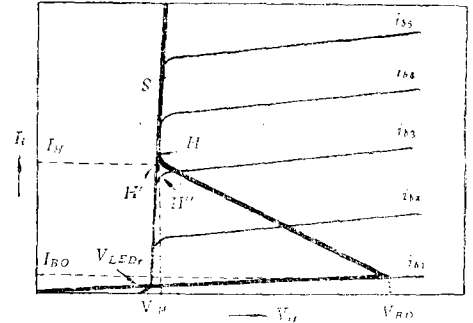


그림 2. 트랜지스터  $I_C-V_C$ 特性上에 電流安定抵抗特性을 이룬 경우  
Fig. 2. Current stable negative resistance characteristics plotted on transistor  $I_C-V_C$  characteristics.

各 特性的 折點區間인 OB間, BH間 및 HS間을 各 領域 I, 領域 II 및 領域 III이라고 부른다. 또한 各 領域은 트랜지스터의  $I_C-V_C$ 特性上에서 보던 領域 I에서 III의 차례로 遮斷, 能動 및 飽和狀態에 各 對應할 것이다. 各 領域의 動作과 回路解析은 다음과 같다.

2.1. 領域 1

領域 I에서는 다음의 條件들이 成立한다. 즉  $I_i < I_{BO}$ ,  $v_{b2} < V_{72}$ ,  $v_{b1} = i_1 R_1 < V_{71}$ ,  $i_{b2} < I_{B27}$ ,  $i_{b1} = 0$ ,  $i_{c1} = I_{CEO1}$ ,  $i_{c2} = i_{b2} h_{fe} + I_{CEO2}$ .  $i_{LED}$ 는  $I_i$ 의 增加에 따라서 增加할 것이다. LED와 CdS素子는 外部와는 光遮蔽되어 있으며, 서로 密着된 狀態로 光結合되어 있어서  $v_{LED}$ 가  $V_{LED7}$ 보다 커지면  $R_{CdSd}$ 가  $R_{CdS}$ 로 나타난다.  $i_{LED}$ 와  $R_{CdS}$ 間에는 다음과 같은 關係가 成立한다. 즉

$$R_{CdS} = K_1 R_{CdSd} / i_{LED} \dots\dots\dots (1)$$

$$= K_1 R_{CdSd} / (V_{ii} - v_{LED}) \dots\dots\dots (2)$$

$i_{b2}$ 와  $R_{CdS}$ ,  $v_{b1}$ ,  $v_{b2}$  및  $R_{CdS}$ 의 관계는

$$R_{CdS} = v_{b2} / i_{b2} = (V_{ii} - v_{b1} - v_{b2}) / i_{b2} \dots\dots\dots (3)$$

가 成立한다.  $R_1$ 에서의 電壓降下가  $V_{71}$ 에 이르면,  $v_{b2}$ 는  $V_{72}$ 와 거의 같을 것이므로  $v_{b1} = v_{b2} = V_{71} = V_{72} = V_7$ 라고 놓아, (2)식과 (3)식에서 恒等式을 求하면 다음과 같다.

$$\left\{ \begin{aligned} (V_{ii} - v_{LED})(V_{ii} - 2V_7) &= K_1 R_2 R_{CdS} I_{B2} \\ &= K R_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

$$K = K_1 R_{CdSd} I_{B2}$$

여기서는  $V_{ii} = V_{BO}$ 이며,  $v_{LED} = V_{LEDBO}$ 일 때에 該當한다. 단  $i_{b2} = I_{B2} = I_{B27}$ 로 近似化했다. 式(4)에서  $V_{BO}$ 를 求하면 (5)식과 같다.

$$V_{BO} = \frac{1}{2} \left[ 2V_7 + V_{LEDBO} + \left\{ (2V_7 + V_{LEDBO})^2 + 4(KR_2 - 2V_7 V_{LEDBO}) \right\}^{1/2} \right] \dots\dots\dots (5)$$

또  $V_{BO}$  때의  $I_{BO}$ 는 그림 1의 回路에서

$$I_{BO} = (V_{BO} - V_{LEDBO}) / R_2 + I_{B2}(1 + h_{fe}) + I_{CEO1} + I_{CEO2} \approx (V_{BO} - V_{LEDBO}) / R_2 \dots \dots (6)$$

2.2. 領域 II

2.1에서  $I_{BO}$ 와  $V_{BO}$ 를 求했다. 이 點을 지나면 回路는 負抵抗領域으로 들어간다. 이 領域의 끝부분에서  $J_H$  및  $V_H$ 를 誘導하는데 있어서 回路條件은 다음과 같다.  $i_{b2} \approx i_{b1}$ ,  $i_{AD} = 0$ ,  $v_{b1} > V_{r1}$ . 여기서  $h_{fe1} = h_{fe2} = h_{fe}$  이면  $i_1 \approx i_2 \approx i_{c1} = i_{c2}$ 이므로  $V_H$ 值와  $I_H$ 值는 다음과 같이 近似化할 수 있다. 즉

$$V \approx v_{bc1}(sat) + v_{LED}(sat) \dots \dots (7)$$

$$I_H = i_1 + i_2 \approx 2V_T / R_1 \dots \dots (8)$$

여기서 負抵抗值  $R_N$ 은 式(5)~(8)에서

$$R_N \approx (V_{BO} - V_H) / (I_{BO} - I_H) \dots \dots (9)$$

이 될 것이다.  $Q_1$ 과  $Q_2$ 의 動作領域은  $BH$ 間에는  $Q_2$ 는 能動領域下에 있을 것이고,  $Q_1$ 은 飽和로 들어가가기까지의 能動領域일 것이다.

2.3. 領域 III

領域 III에 들어가면  $Q_1$ 은 飽和狀態下에,  $Q_2$ 는 能動狀態下에 머물고 있을 것이다. 따라서  $I_i$ (III)는 주로  $Q$ 의 飽和電流가 될 것이다. 그러므로  $V_{ii}$ (III)는  $v_{LED}(sat)$ 와  $v_{ce2}(sat)$ 의 값으로 될 것이다.

3. 實驗回路的 諸定數 및 實驗方法

本實驗에 利用한 回路는 그림 1과 같다. 여기서  $Q_1$ 은 2SA562,  $Q_2$ 는 2SC735로서 相補對稱型이다. LED는 赤色の 것을 使用했으며, 光導電素子는 直徑 8mm의 CdS로서  $R_{Cas}$ 는 20M $\Omega$ 이다. 그리고 實驗은 主로 다음과 같은 項目에 對하여 하였다.

實驗[I]: LED의  $i_{LED} - v_{LED}$ 를 求하여  $V_{LED1}$ ,  $V_{LEDBO}$ , 및  $v_{LED}(sat)$ 를 그림 3에 表示했다.

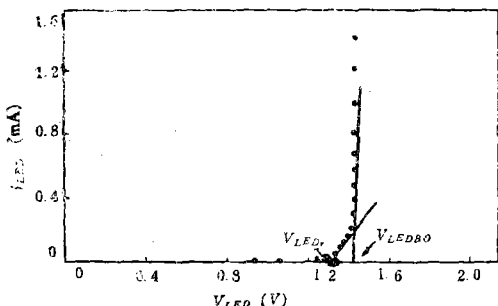


그림 3.  $i_{LED} - v_{LED}$ 特性  
Fig. 3.  $i_{LED} - v_{LED}$  Characteristics.

實驗[II]: 式(4)의  $K$ 值를 求하기 爲하여  $i_{LED} - R_{Cas}$ 의 關係를 얻어서 그림 4에 表示했다.

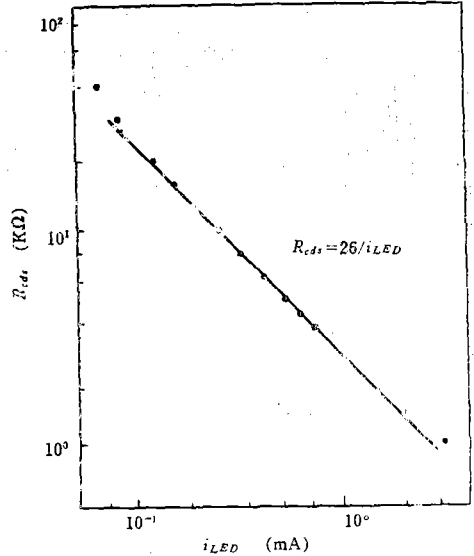


그림 4.  $i_{LED} - R_{Cas}$ 特性  
Fig. 4.  $i_{LED} - R_{Cas}$  Characteristics.

實驗[III]:  $R_2$ 와  $V_{BO}$  및  $R_2$ 와  $R_N$ 의 關係를 알기 爲하여,  $R_1$ 을 1K $\Omega$ 으로 固定시킨 狀態에서  $R_2$ 를 各各 파라미터(parameter)로 取하여 그림 1 回路의  $I_i - V$ 特性을 求해서 그림 5에 表示했다.

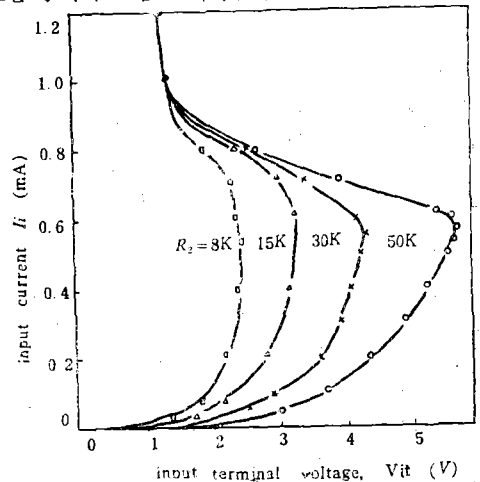


그림 5.  $I_i - V_{ii}$ 特性  
Fig. 5.  $I_i - V_{ii}$  characteristics.

實驗[IV]  $i_{AD}$ 가 零일 때  $I_i$ 值를 調査하여  $I_H$ 임을 確認했다.

4. 實驗結果 및 考察

4.1. 光結合回路 및  $K$ 值의 決定

그림 4에서와 같이  $v_{LED} - v_{LEDBO}$ 特性은 全 LED의 電流範圍內에서는 直線이 아니었으나 本實驗範圍內에서

는 直線이라고 보았다. 또 이렇게 하여 求한 式(4)의  $K$ 値는  $2.08 \times 10^{-4}$  [Watt]이었으며, 이 結果를 그대로 回路解析에 適用한 結果 實驗値와 計算値가 잘 一致하였다.

4.2.  $R_2$ 와  $V_{BO}$ 의 關係에 對하여

그림 5의  $I_i-V_{ii}$ 特性에서 實測한  $V_{BO}$ 와 式(5)에 各 定數 및 測定値를 代入하여 求한 計算値를 그림 6에 表示하여 比較하였다.

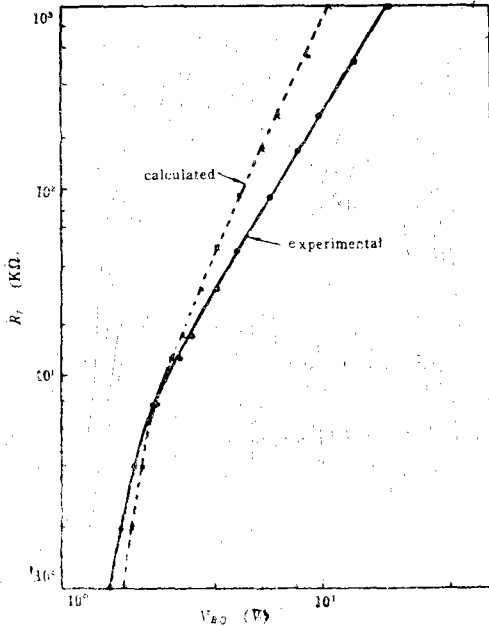


그림 6.  $R_2-V_{BO}$ 特性  
Fig. 6  $R_2-V_{BO}$  characteristics.

그림 6에서와 같이  $R_2$ 가  $1K\Omega \sim 30K\Omega$ 까지는 實驗値에 대한 計算値의 相對百分誤差가 最大 11%였으며, 그 以上の 抵抗에 對하여서는 相對誤差가 增大하는 傾向이다. 이것은  $R_2$ 의 增大 및 그에 따른  $V_{BO}$ 의 增大로  $I_{CE01}$ 의 影響이 커짐에 基因한 것이라고 본다. 즉  $i_{LED} = i_{R2} + I_{CE01} \approx i_{R2}$ 로 近似化한 것, 즉  $i_{R2} \gg I_{CE01}$ 의 條件이 滿足되지 않음을 意味한다.

4.3.  $R_2$ 와  $R_N$ 에 對하여

그림 5의 領域 II에서의  $I_i-V_{ii}$ 特性의 기울기를 實測한 것과 式(9)를 利用하여 얻은 計算値를 表 1에 表示하여 比較하였다.

表 1에서와 같이  $R_N$ 은 計算値와 實驗値가  $R_2$ 가  $2K\Omega \sim 50K\Omega$ 의 範圍內에서 計算値에 對한 實驗値의 相對百分誤差가 最大 11%였다.

表 1. [1]  $R_N$ 의 計算値(C)와 實驗値(E)의 比較 [Table1]

$R_2$ [KΩ]	C[KΩ]	E[KΩ]	$ (E-C)/C  \times 100$ [%]
2	- 1.7	- 1.6	5.9
4	- 2.9	- 2.6	10.3
8	- 4.7	- 4.4	6.4
15	- 6.6	- 5.9	10.6
20	- 7.8	- 7.1	9.0
30	- 9.6	-10.0	4.0
50	-12.8	-13.6	6.3

5. 結 論

接合型 트랜지스터와 LED 및 CdS를 가지고 構成한 光結合電流安定型負抵抗回路를 提案하였다.

LED와 CdS와의 關係는 兩者를 光遮蔽密着하여 LED에 흐르는 電流와 CdS의 實効抵抗과의 關係로써 一體化하였다.

트랜지스터의 콜렉터-에미터間에 人爲的인 漏洩抵抗을 插入함으로써  $R_N$ 値 및  $V_{BO}$ 値를 任意로 變化할 수 있게 하였다.

提案한 回路의 解析은 負抵抗特性의 各 領域의 折點의 電壓 및 電流値 그리고 負抵抗値를 다루었다. 이 解析結果는 이들 諸値를 實驗結果에서 얻은 것에 依해서 確認되었으며 實驗値에 對한 計算値의 相對百分誤差가  $R_2$ 가  $1K\Omega \sim 30K\Omega$ 範圍內에서 最大 11%이었다.

參 考 文 獻

1. Herold. E.W, "Negative Resistance and Devices for obtaining it," Proc. IRE, 23, 10, Oct. 1935, 1201-1233.
2. Ui-Yul Park, "A Study on Voltage-stable Negative Resistance Circuits", The Jour. of the Institute of Korea Electronics Engineers, 9, 6, Dec. 1972, 305-314
3. H.E. Kallmann, "A Simple DC-AC Negative-impedance Converter, offering Symmetrical N-type and S-type Negative Resistance, Based on a Circuit of A.H.Marshak," Proc. of IEEE, Feb. 1964, 199-200.
4. N. Nagata, "A Simple Negative Impedance Circuit with no Internal Bias Supplies and Good Linearity," IEEE Transactions on Circuit Theory, Sept. 1965. 423-434
5. L.Strauss, Wave Generation and Shapping,

- McGraw-Hill, 1960. 315—356.
6. 志水英二. 北浜安夫, “負性抵抗發光素子を用いた 制御可能な光結合回路” 電通學誌, 57-C, 7, July 1975, 392—399.
  7. H. Takahashi and Y. Kitahama, “An Optronic Negative Resistance Circuit,” IEEE Jour. of Solid-State Circuits, Apr. 1974. 76—81.
  8. F.E. Gentry, “Bidirectional P-N-P-N Switches.” Proc. of IRE. Apr. 1965. 355—369.
  9. R.W. Aldrich and N. Honyak, Jr. “Two terminal Assymmetrical and Symmetrical Silicon Negative Resistance Switches.” Jour. of Appl. Phys. 30. 11. Nov 1959. 1819—1824.
  10. 朴義烈, “SCR特性의 實現에 관한 研究” 大韓電氣學會誌, 22. 2. March. 1973 70—74.