

互用성이 있는 光結合 負性抵抗回路的 設計 (A Versatile Design of Optronic Negative Resistance)

朴 成 漢*
(Park, Sung Han)

要 約

電壓制御型이나 電流制御型 負性抵抗으로 使用될 수 있는 互用성이 있는 光結合 負性抵抗回路的 設計되었다. 이 互用성은 트랜지스터의 交換 및 回路內의 한 接續點을 변경시킴으로 이루어진다. 이러한 負性抵抗回路的 負性抵抗特性은 매우 線形的이며 負性抵抗값 및 I-V 特性은 受動素子값의 變化로 넓은 範圍에 걸쳐 變化된다.

Abstract

A versatile negative resistance using one transistor, one photo-coupler and three resistors, which can be used as either a voltage controlled or current controlled negative resistance, is designed. The versatility is obtained by changing the transistor and one connection of the circuit. The negative resistance region is linear and its value can be varied by varying one of the three resistor values.

1. 序 論

電壓制御型(N型) 및 電流制御型(S型) 負性抵抗은 여러가지 能動素子에 의하여 實現되어 왔으며^{1)~3)}, Sharma와 Dutta Roy는 接合트랜지스터를 使用하여 N型 및 S型 負性抵抗을 간단한 方法으로 互用할 수 있는 回路를 設計하였다⁴⁾. 最近에는 光結合器(photo-coupler)를 利用한 負性抵抗回路的 여러 번 發表되었으나^{5)~7)} 이들은 모두 S型 負性抵抗이다.

本 論文은 한개의 光結合器 및 트랜지스터와 세개의 抵抗을 가진 電壓 및 電流制御型으로의 互用성을 나타내는 負性抵抗回路的 設計하였다. 이 互用성은 트랜지스터의 交換 및 한 接續點의 변경만으로 이루어진다. 이러한 互用성이 있는 負性抵抗回路的 是 負性抵抗을 必要로하는 回路條件에 따라 낮은 임피던스를 갖는 電壓電源이나 높은 임피던스를 갖는 電流電源下에서 각각 動作될 수 있으므로 理想的인 負性抵抗이 가져야 할 한 가지 條件을 만족한다.

本 論文에서는 N型 負性抵抗回路的 간단한 筆價回

路를 그려서 이의 動作을 理論적으로 解析하였으며 實驗的結果로 부터 이의 타당성을 確認하였다. 그러나 S型 負性抵抗回路的 對해서는 本 論文에서 設計된 回路라 이제까지 發表된 S型 負性抵抗回路的 動作原理가 거의 비슷하므로 자세한 解析은 생략했다.

2. 回路的 構成

그림 1 (a)와 (b)에 互用성이 있는 負性抵抗을 얻을 수 있는 回路모형을 提示하였다. 여기서 從屬電流電源은 光트랜지스터로 생각했다. 그림 1 (a)에서 入力電壓이 증가하면 R_C 에서의 電壓降下 $R_C I_P$ 때문에 트랜지스터의 베이스-에미터電壓이 감소하므로 入力電壓의 증가에 대하여 入力電流가 감소하는 N型 負性抵抗을 나타낼 것이다. 그림 1 (b)는 電流 I 의 증가에 따라 R_C 에서의 電壓降下가 커져서 트랜지스터의 베이스-에미터間電壓이 증가하고 電流 I 가 더욱 증가하는 正饋한루프를 가진다. 이때 트랜지스터는 포화상태로 접근하므로 入力電流의 증가에 따라 入力電壓이 감소하는 S型 負性抵抗을 갖게 될 것이다.

그림 2(a) 및 (b)는 光結合器를 使用하여 위 모형을 각각 實際回路로 構成한 것이다. 이들 回路는 아래와 같은 여러가지 특징을 가지고 있다.

*正會員, 慶北大學校, 工大, 電子科
(Dept. of Electronic Engineering, Kyung Buk University) 接受日字: 1978年 5月 27日

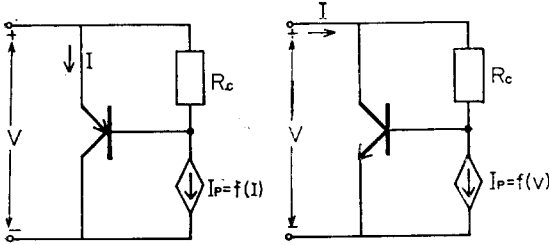
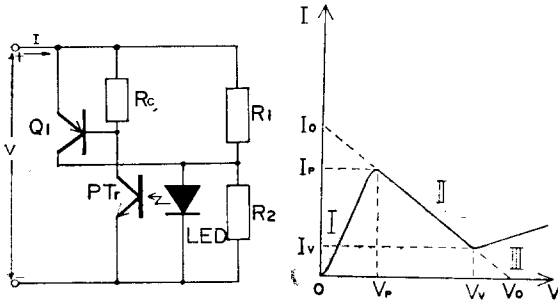


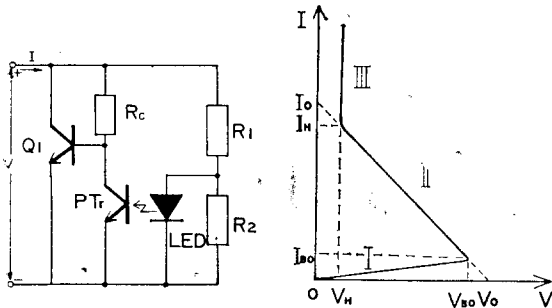
그림 1. 電壓制御型 및 電流制御型 負性株擴을 얻기 위한 基本回路모형

Fig. 1. A proposed basic circuit model obtaining voltage controlled negative and current controlled negative resistances.

- i) N型 負性抵抗으로 부터 S型 負性抵抗으로의 交換은 트랜지스터의 交換 및 回路의 한 接續點을 變경시킴으로 이루어진다.
- ii) 負性抵抗特性이 負性抵抗이 나타나는 全 領域에 걸쳐 線形的이다.
- iii) 回路內部에 内部 바이어스電源을 必要로 하지 않는다.



(a) N-type negative resistance and its I-V characteristics



(b) S-type negative resistance and its I-V characteristics

그림 2. N型 및 S型 光結合負性抵抗回路

Fig. 2. N-type and S-type optronic negative resistance.

iv) 受動素子 各 값의 變心만으로 I-V 特性曲線을 광 범위하게 變化시킬 수 있으며 負性抵抗值(R_N)을 임의로 變化시킬 수 있다.

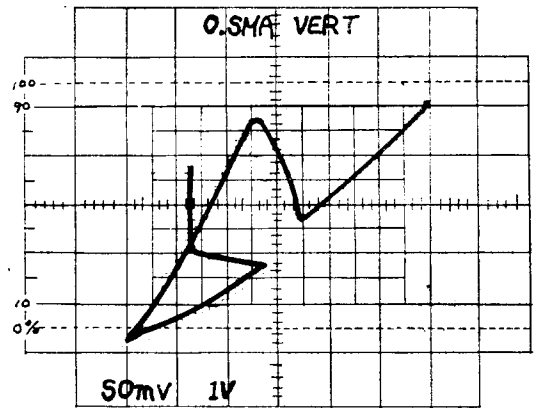
v) 回路의 構成이 간단하며 IC 化 하기가 용이할 것이다.

그러나 周波數特性은 使用되는 光結合器의 周波數特性에 의하여 決定되며 一般의으로 수십 kHz의 높은 주파수에서는 動作特性이 좋지 못할 것으로 본다.

그림 3은 $R_1=R_2=2k\Omega$, $R_C=100k\Omega$ 인 경우의 그림 2(a) 및 (b)의 I-V特性을 보여준다. 그림 3에서 보는 바와 같이 N型으로 부터 S型으로의 交換에 따라 負性抵抗값이 크게 커짐을 볼 수 있으며, 이는 S型에서는 極限에 의하여 스위칭이 빨리 일어나기 때문이다. 그러나 負性抵抗領域이 始作되는 電壓값은 두 경우 거의 같은 값을 가짐을 보였다.

3. 回路動作 및 實驗結果

그림 2(b)에 대한 解析은 이와 類似한 S型 光結合負性抵抗回路에 대하여 여러 번 發表되었으므로 여기서



$R_1=R_2=2k\Omega$, $R_C=100k\Omega$
vert.; 0.5mA/div., horiz.; 1V/div.

그림 3. 그림 2(a) 및 (b)의 I-V 特性曲線

Fig. 3. I-V characteristics of Fig. 2(a) & (b).

는 그림 2(a)의 N型 負性抵抗回路에 대한 動作을 解析하였다. 그림 4는 이의 간단하게 表示한 等價回路이다. 그림 2(a) 특성곡선의 세 領域에 대한 위 等價回路의 解析結果는 附錄에 주어졌고, 이의 各 領域에 대한 定性的 解析은 아래와 같다.

● 領域 I

入力電壓이 아주 낮은 경우 트랜지스터 및 發光다이오드(LED)가 導通하지 않으므로 入力電流는 R_1+R_2 에 의하여 決定된다. 入力電壓이 Q_1 을 導通시킬 만큼

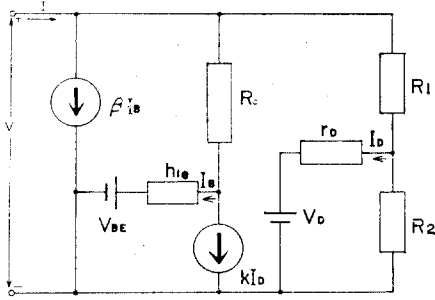


그림 4. 그림 2(a)의 간단하게 표시한 等價回路
Fig. 4. Simplified Equivalent circuit of Fig. 2(a).

증가하면 入力電流는 大部分 Q_1 의 콜렉터를 통해서 흐르므로 入力電壓의 증가에 따라 入力電流가 크게 증가한다. 入力電壓이 더욱 증가하여 發光다이오드가 導通할 정도가 되면 光트랜지스터(photo-transistor)에 微少한 電流가 흐르게 되어 이 전류에 의하여 R_C 에서의 電壓降下가 나타나므로 入力電壓의 증가에 따른 入力電流의 증가가 둔화된다.

• 領域 II

發光다이오드가 完全히 導通할 정도로 入力電壓이 증가하면 光트랜지스터에 흐르는 電流가 많아져서 Q_1 의 베이스-에미터電壓을 많이 감소시키므로 入力電壓의 증가에 따라 入力電流가 감소하는 負性抵抗領域이 나타난다. 入力電壓이 더욱 증가하면 光트랜지스터의 電流가 크게 증가하여 Q_1 이 차단상태가 된다.

• 領域 III

트랜지스터 Q_1 이 차단된 領域을 말하며 이때의 入力電流는 發光다이오드 및 光트랜지스터의 콜렉터 電流로 이루어진다. 그러나 光트랜지스터의 콜렉터에 연결된 저항 R_C 가 큰 경우 發光다이오드와 光트랜지스터 사이의 電流傳達比가 매우 적으므로 I-V 특성의 기울기는 저항 R_1 에 의하여 주로 決定된다.

그림 5, 6 및 7은 그림 2(a) 回路에서 光結合器에 FCD 811 및 Q_1 에 2Sc 735를 使用하여 實驗한 結果들이다. 負性抵抗領域內에서는 β 와 k 값이 계속 변화하기 때문에 負性抵抗值 R_N 의 精確한 값을 理論式 (8)로부터 計算하기는 매우 어려우며, 受動素子값의 變化에 따른 R_N 의 變化를 보여주는 그림 5 및 6 으로부터 R_N 이 R_C 및 R_1 의 증가에 따라 커짐을 알 수 있다. 이는 R_N 에 대한 理論式 (4)의 定性的結果와 같은 경향을 가진다. R_2 가 작은 경우 R_2 가 증가함에 따라 $|R_N|$ 이 증가하는 것은 R_2 를 통한 電流의 分流때문이며 이 경우 $|R_N|$ 은 式 (6)로부터 求해야 한다.

그림 7은 저항값의 變化에 따른 V_P 의 變化를 나타

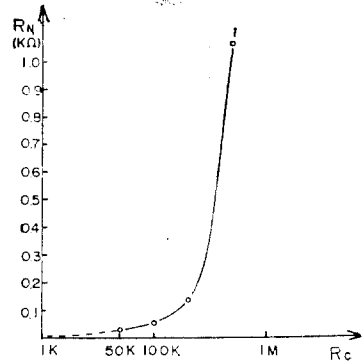


그림 5. $R_1=R_2=1k\Omega$ 일때 R_C 에 따른 R_N 의 變化
Fig. 5. R_N vs. R_C with $R_1=R_2=1k\Omega$.

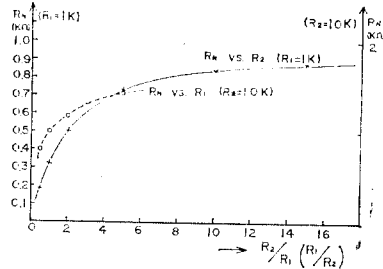


그림 6. $R_2=10k\Omega$, $R_C=100k\Omega$ 일때 R_1 에 따른 $|R_N|$ 의 變化 및 $R_1=1k\Omega$, $R_C=100k\Omega$ 일때 R_2 에 따른 $|R_N|$ 의 變化
Fig. 6. $|R_N|$ vs. R_1 with $R_2=10k\Omega$, $R_C=100k\Omega$ & $|R_N|$ vs. R_2 with $R_1=1k\Omega$, $R_C=100k\Omega$.

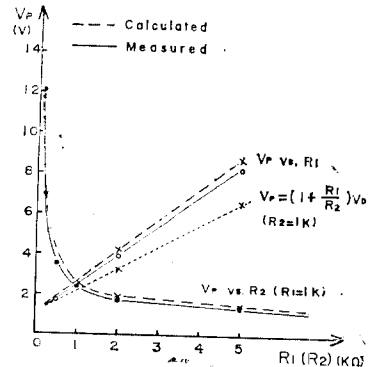


그림 7. $R_2=1k\Omega$, $R_C=100k\Omega$ 일때의 R_1 에 따른 V_P 의 變化 및 $R_1=1k\Omega$, $R_C=100k\Omega$ 일때의 R_2 에 따른 V_P 의 變化
Fig. 7. V_P vs. R_1 with $R_2=1k\Omega$, $R_C=100k\Omega$ & V_P vs. R_2 with $R_1=1k\Omega$, $R_C=100k\Omega$.

내며 計算値에 사용된 β 및 k 값은 負性抵抗이 始作되는 점에서 각각 側定한 값을 사용하였다. 그리고 $V_D = 1.1V$, $V_{BE,r} = 0.6V$ 및 $V_{BE,co} = 0.5V$ 로 하였다. $R_1 = 1k\Omega$ 일때 V_P vs. R_2 의 曲線중 式 (8)에 의하여 計算한 結果는 實驗値와 거의 一致하여 表示하지 않았다. 이 結果로부터 나는 R_2 에 반비례 하며 R_1 에 정비례하여 증가하고, R_1 이 $1k\Omega$ 이하로 작은 경우 V_P 를 구하는 近似式 (8)은 精確한 結果를 줄 수 있다.

4. 結 論

간단한 回路構成으로 互用性이 있는 N型 및 S型의 光結合 負性抵抗을 얻을 수 있었다. 여기서 N型으로부터 S型으로의 交換은 트랜지스터의 交換 및 回路內의 接續點의 변경만으로 이루어 질 수 있음을 보였다. 이때 負性抵抗값은 N型으로부터 S型으로 交換하는 경우 매우 커지나 負性抵抗領域이 始作하는 電壓値는 거의 一致하였다. 이 回路의 負性抵抗値 및 I-V 特性은 3개 저항중 어느 하나의 크기를 變化시킴으로 간단히 變化될 수 있었으며, 全 負性抵抗領域에 걸쳐 매우 線型的이었다.

5. 附 錄

N型 負性抵抗回路의 각 領域에서의 I-V 관계식을 그림 4의 等價回路로부터 구하면 다음과 같다.

• 領域 I

發光다이오우드가 차단상태 ($I_D = 0$)이므로

$$I = (1 + \beta)I_B + \frac{V}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

이때 $R_C \gg h_{ie}$ 및 $V_{BE} \approx V_{BE,r}$ 로 가정하면

$$I_B = \frac{V - V_{BE}}{R_C} \quad (2)$$

이다. 여기서 $V_{BE,r}$ 는 Q_1 의 베이스-에미터 사이의 導通電壓이다. (1) (2)

$$V = \frac{R_C(R_1 + R_2)}{R_C + (1 + \beta)(R_1 + R_2)} I + \frac{(1 + \beta)(R_1 + R_2)}{R_C + (1 + \beta)(R_1 + R_2)} V_{BE,r} \quad (3)$$

이 된다.

• 領域 II

$$I = (\beta + 1)I_B + \left(k + 1 + \frac{r_D}{R_2}\right)I_D + \frac{V_D}{R_2} \quad (4)$$

$$V = (I_B + kI_D)R_C + V_{BE,r} \quad (5)$$

의 두식으로 부터

$$V = \frac{R_C B}{(\beta + 1)A + R_C C} I + \frac{B}{A} \left\{ 1 - \frac{R_C}{(\beta + 1)A + R_C B} \right\} V_{CE} + \frac{R_C}{R_2 A} \left\{ \frac{B D}{(\beta + 1)A + R_C B} - k(R_1 + R_2) \right\} V_D$$

$$\text{이 고 } r_D \ll R_2 \& R_1 \text{로 가정하면} \quad (6)$$

$$V = \frac{R_1 R_C}{E} I + \frac{R_1}{R_1 - k R_C} \frac{(\beta + 1)R_1 - k R_C}{E} V_{BE,r} + \frac{R_C(R_2 - k\beta(R_1 + R_2))}{R_2 E} V_D \quad (7)$$

이 된다.

여기서

$$A = R_1 + r_D + r_D R_1 / R_2 - k R_C, \quad B = R_1 + r_D + r_D R_1 / R_2$$

$$C = 1 + k + r_D / R_2, \quad D = R_2 + k R_C - r_D - r_D R_1 / R_2$$

$$E = R_C + (\beta + 1)R_1 - \beta k R_C$$

$$k = \frac{\text{光트랜지스터電流}}{\text{發光다이오우드電流}}$$

β : Q_1 의 電流 증폭도

r_D : 發光다이오우드의 動抵抗

V_D : 發光다이오우드 電壓

이다. 따라서 負性抵抗값은 式 (3)으로부터

$$R_N = - \frac{R_1 R_C}{(\beta k - 1)R_C - (\beta + 1)R_1} \quad (8)$$

가 되며 이때

$$R_1 < \frac{\beta k - 1}{\beta + 1} R_C \text{인 조건을 만족해야 한다. 위의 여}$$

러식에서 $R_C \gg h_{ie}$ 인 조건을 고려하였다.

• 領域 III

트랜지스터 Q_1 의 차단상태 ($I_B = 0$)이므로

$$I = \left(k + 1 + \frac{r_D}{R_2}\right)I_D + \frac{V_D}{R_2} \quad (9)$$

$$V = \left(R_1 + r_D + \frac{r_D R_1}{R_2}\right)I_D + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_D \quad (10)$$

이 成立하며 이 두식으로 부터 $r_D \approx 0$ 로 가정하면

$$V = \frac{R_1}{k + 1} I + \left(1 + \frac{R_1}{R_2} - \frac{R_1}{(k + 1)R_2}\right)V_D \quad (11)$$

이 된다. 여기서 $k \ll 1$ 이므로

$$V = R_1 I + V_D \quad (12)$$

이 된다.

式 (3)과 (7)로 부터

$$V_P = \frac{\beta k R_1 (R_1 + R_2)}{(R_1 - k R_C)(R_2 - \beta k R_1 - \beta k R_2)} V_{BE,r} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_D \quad (13)$$

을 얻으며 여기서 $k \approx 0$ 로 두면

$$V_P \approx \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_D \quad (14)$$

이 된다. 또한

$$V = k R_C I_D + V_{BE,co} \quad (15)$$

에 식 (10)을 代入하면 V_D 를 구할 수 있다. 여기서 $V_{BE,co}$ 는 Q_1 의 베이스-에미터 사이의 차단전압이다.

$$V_D = \frac{R_1}{R_1 - k R_C} V_{BE,co} - \frac{k R_C (R_1 + R_2)}{R_2 (R_1 - k R_C)} V_D \quad (16)$$

參 考 文 獻

1. M. Nagata, "A Simple Negative Impedance Circuit with No Internal Bias Supplies and Good Linearity" IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-12, p. 433, 1965.
2. H. Mizuno, G. Kano, H. Takagi & I. Teramoto, "Theory of Negative Resistance of Junction Field Effect Transistor" IEEE, J. SSC, vol. SC-11, No. 2, p. 313-317, 1975.
3. 朴成漢, "JFET와 트랜지스터를 結合한 負性抵抗回路" J. of the Kyung-Pook Engineering, vol. 5, p. 7-12, 1976.
4. C.K. Sharma & Dutta Roy, "A Versatile Design Giving Both N-type & S-type of Negative Resistances" Microelectronics & Reliability, Pergamon Press, vol. 11, p. 499-504, 1972.
5. H. Takahashi & Y. Kitahama, "An Optronic Negative Resistance Circuit" IEEE, J. SSC, vol. SD-9, No. 2, p. 79-81, 1974.
6. H. Takahashi & Y. Kitahama, "A Negative Resistance Characteristics of A Photo-coupler" 電子通信學會誌, vol. 60-C, No. 1, p. 62-63, 1977.
7. 朴成漢, "Photo-coupler를 사용한 負性抵抗回路" 慶大論文誌 vol. 24, p. 357-361, 1977.

