DBpia

〈論 文〉

電壓制御負抵抗回의 構成에 關한 考察

A Study on the Voltage Controlled Negative-Resistance Circuits

王 京 錫
Wang Gyung Seok

(접수일자 1980. 12. 10)

要 約

本 論文은 2個의 電流미러(Current mirror)로 構成한 電壓制御負抵抗回路를 새롭게 提示하였고, 이 構成된 回路의 動作을 推定하고, 解析하였다.

그리고 回路에서 R과 直列로 Zener Diode를 挿入하여 V_P를 높이고 外部抵抗을 可變시켜 負抵抗特性을 보았는데 實驗을 通하여, 推定되는 回路動作의 實現과 解析結果에서 얻은 負抵抗測와 實驗値가 大體로 一致함을 確認하였다.

Abstract

In this paper, it presents that novel Voltage-Controlled Negativd-Resistance Circuit which composed by two Current mirror, and this presumes, interprets Co-operation of Circuit.

Indeed, its to increase the peak Voltage V_P, whch is done by inserting a Zener Diode in series with R-experimental results and to presents the various Negative-Resistance Characteristic Confirmed with Coincided Substantially presumed realization of Circuit corperation and Calculated was Checked through experiments.

Ⅰ. 緖 論

負抵抗回路 및 裝置는 增幅·發振·스위칭(Switching), 能動 誘導(Active Inductonce) 損失補償, 記憶裝置 等에 매우 많은 活用性을 갖는다.

이미 言及·考察된 負抵抗回路는 電壓制御負抵抗回路(Voltage-Controlled Negative Resistance Circuit)와 電流制御負抵抗回路(Current-Controlled Negative Resistance Circuit)로 大別되고 接合트랜지스터(Junction TR)나 電界效果트랜지스터(FET)等을 使用, 또는 混合結線으로 實現하거나, 다링톤 페어(Darlington Pair), 光電素子, 演算增幅器(OP Amp) 등을 利用하여 實現하였다.

그러나 이들 大部分 回路는 過程變動(process fluctuation) 트랜지스터 β 依存度(transistor β-dependence) 等에 基因해서 비교적 下明確한 電壓一電流特性을 갖는다.

本 論文에서는 Beamn Resistance[3]를 導入해서 負抵抗特性을 解析하고 이에 따라 明確한 線形 負抵抗特性을 나타내며 2個의 外部抵抗으로 制御可能한 回路를 提示하였다.

그리고 Zener Diode를 回路의 R과 直列로 挿入해서 V_P를 높이고, 이와 같은 特性의 理論的인 解析을 實驗을 通하여 確認하고, 이로써 提示한 回路의 타당성을 뒷받침하고자 한다.

* 海洋大學·仁川大學, 正會員

www.dbpia.co.kr

Ⅱ. 負抵抗의 解析

그림 1과 같이 負抵抗特性이 直線的인 境遇 그 直線上의 AB間에서 取한 負抵抗値는 다음과 같다.

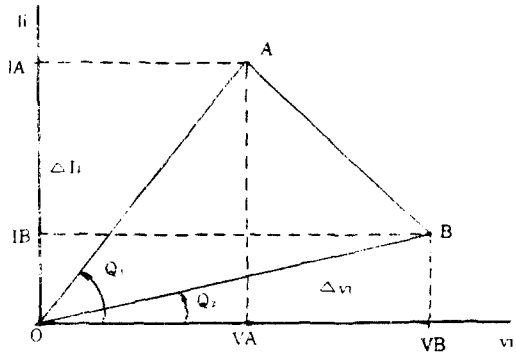


그림 1 Beom 抵抗과 負抵抗과의 관계

$$R_N=\frac{V_A-V_B}{I_A-I_B}=\frac{\Delta V_i}{\Delta I_i} \quad \cdots\cdots(1)$$

但 $\Delta I_i=I_A-I_B$, $\Delta V_i=V_A-V_B$

式(1)을 A, B 各點에서의 Beam 抵抗으로 表示하면,

$$R_N=\frac{V_A}{I_A}\cdot\frac{1-\frac{V_B}{V_A}}{1-\frac{I_B}{I_A}}=R_A\cdot\frac{1-\frac{V_B}{V_A}}{1-\frac{I_B}{I_A}} \quad \cdots\cdots(2)$$

이 되고 또는

$$R_N=\frac{V_B}{I_B}\cdot\frac{\frac{V_A}{V_B}-1}{\frac{I_A}{I_B}-1}=R_B\cdot\frac{\frac{V_A}{V_B}-1}{\frac{I_A}{I_B}-1} \quad \cdots\cdots(3)$$

가 된다. 여기서 R_A와 R_B는 各各 다음과 같다.

$$R_A=\frac{V_A}{I_A} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$R_B=\frac{V_B}{I_B} \quad \cdots\cdots(5)$$

即 R_A는 點 A에서의 Beam 抵抗値이고 R_B는 點 B에서의 Beam 抵抗이다. 式(5)를 고치면 다음과 같다. AB上의 任意의 點 B에서의 電流는

$$I_A+\Delta I_i=\frac{V_A+\Delta V_i}{R_B} \quad \cdots\cdots(6)$$

로 表示되며 式(6)에서 R_B를 $R_A+\Delta R$로 고쳐서 表示하면

$$I_A+\Delta I_i=\frac{V_A+\Delta V_i}{R_A+\Delta R} \quad \cdots\cdots(7)$$

이 된다. 式(7)은 R_B가 R_A로부터 抵抗이 ΔR만큼 增加한 狀態라고 본 것이다. 그러므로 ΔR은 다음과 같다.

$$\Delta R=\Delta R_B-R_A=\frac{V_B}{I_B}-\frac{V_A}{I_A} \quad \cdots\cdots(8)$$

주어진 負抵抗値 R_N에서 ΔR을 구하면

$$\Delta R=\frac{V_A\left(1-\frac{R_A}{R_N}\right)}{I_A-\frac{\Delta V_i}{R_N}} \quad \cdots\cdots(9)$$

로 表示되고 式(7)을 다시 쓰면

$$I_A+\Delta I_i=\frac{V_A+\Delta V_i-\Delta R(I_A+\Delta I_i)}{R_A} \quad \cdots\cdots(10)$$

式(10)을 圖示하면 그림 2-1과 같다. 그리고 式(10)은

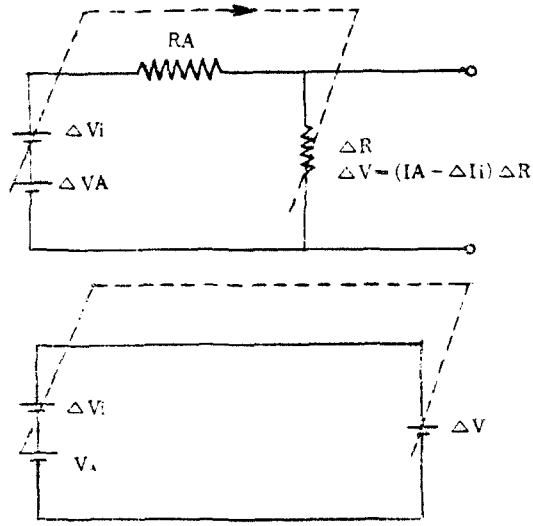


그림 2-1. ΔI_i에 따라서 ΔR가 나타난 경우
2-2. ΔV_i에 따라서 $-\Delta V$가 發生한 경우

$$I_A+\Delta I_i=\frac{V_A+\Delta V_i-\Delta V}{R_A} \quad \cdots\cdots(11)$$

가 된다. 여기서

$$\Delta R=\Delta R(I_A+\Delta I_i) \quad \cdots\cdots(12)$$

$$I_A+\Delta I_i=\frac{V_A+\Delta I_i R_N-\Delta V}{R_A} \quad \cdots\cdots(13)$$

또 $$\Delta V=(I_A+\Delta I_i)\left(\frac{V_B}{I_B}-\frac{V_A}{I_A}\right) \quad \cdots\cdots(14)$$

인 關係가 成立한다.

式(12)는 抵抗의 增分에서의 電壓降下를 나타낸 것이다. 式(11)의 ΔV 앞의 負의 符號까지를 생각하면 逆起電力이라고 볼 수가 있고 그림 2-2와같이 表示된다. 그러므로 그림 2-2에서 ΔV_i에 따라서 $-$ 가 나타나고

$$\Delta V_i+(-\Delta V)<0 \quad \cdots\cdots(15)$$

인 關係를 가지면 負抵抗을 이룰수 있다. 式(15)가 $\Delta V_i-\Delta V=0$일 때는 回路의 電流는 變化하지 않는다.

式(15)가 成立되면 印加電力의 增分과 電流의 增分과의 比는 即, 負抵抗을 나타낸다. 式(15)의 ΔV는 等

www.dbpia.co.kr

價補償電壓이며 ΔV를 印加된 電壓의 增分 ΔV_i와 逆方向으로 놓고, 그 크기가 ΔV_i보다 크게 하면 ΔV_i는 ΔI_i와 反對方向이 된다. 따라서 ΔI_i에는 負의 符號가 따르게 되므로 負抵抗回路를 構成할 수 있다.

Ⅲ. 負抵抗回路의 構成

그림 3과 같이 電壓制御 負抵抗回路를 提示한다.

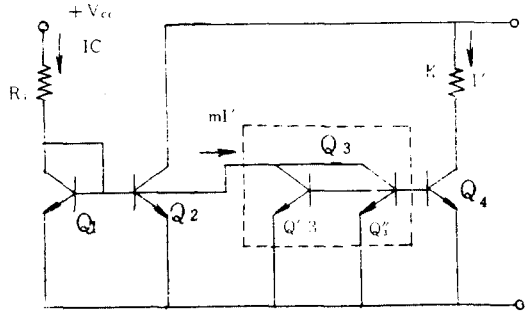


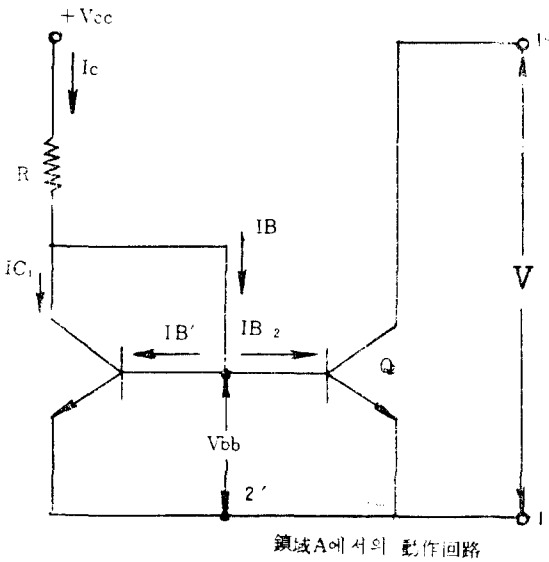
그림 3

2個의 Matching된 TR Q_1과 Q_2, 그리고 Q_3와 Q_4는 2個의 電流미러(Current Mirror)를 形成한다. Q_1과 Q_2는 같은 特性을 갖고, Q_3, Q_4도 똑같은 特性을 나타내며 Q_3는 Q_4의 에미터 面積(Emitter Area)의 m倍가 되도록 했다.

1. 回路解析

지금 端子電壓V가 $\Delta V_i=0$에서 V_i가 增加되어감에 따라서 I_i가 增加하는 特性을 보이는 範圍를(即 $V_{BE}=0.6$[V]까지를) 領域A라고 하고, 負抵抗特性이 나타나는 區間을 (即 $V_{BE}=0.6$[V]에서 V_v까지를) 領域B라고 하고, 다시 그 다음 區間에 들어가서 V_i가 增加함에 따라서 I_i가 增加하는 區間을 (即 V_v이상을) 領域C라고 하자. 領域A에서는 Q_3와 Q_4가 遮斷狀態가 되어 다음의 그림 4의 回路로 動作한다.

I_C는 V_{CC}에 의해서 R_1에 흐르는 一定한 話流(Constant Current)이고, I_{C_1}과 I_B로 나뉘어 흐른다. V가 0에서부터 0.2~0.3[V]까지는 I_{C_2}가 急하게 增加하다가 그 以上이 되면 비로소 I_{B_2}의 β만큼 흐르기 始作하면서 Q_1과 Q_2는 電流미러(Current Mirror)로 動作한다. 即 V_{BE_1}과 V_{BE_2}는 2—2′端子電壓으로 같고 I_{C_1}은 I_{C_2}와 같으며 I_{B_1}은 I_{B_2}와 같아서 Q_1과 Q_2는 마치 거울처럼 動作한다. 따라서 V가 0.6[V]까지는 Q_2의 動作에 基因해서 端子電流 $I(=I_{C_2})$는 급격히 增加한다. V가 0.6[V]에 이르면 Q_2의 베이스와 콜렉터間에 逆方向 바이어스가 되어 비로소 Q_2는 活性領域에 접어들



鎭域A에서의 動作回路

그림 4

고 電流미러 動作에 依해 I는 I_C와 같아져서(이때 端子電壓을 V_P라 함) 領域A에서의 特性은 그림 5의 OA의 커브로 나타난다.

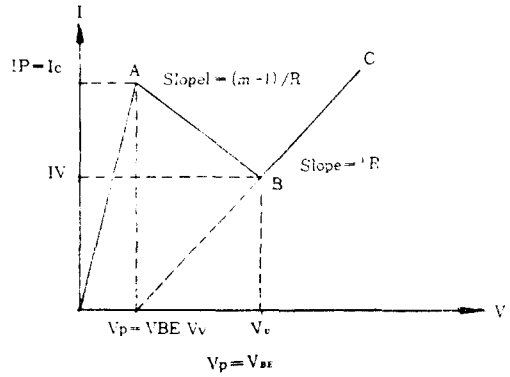


그림 5

V가 0.6[V] 以上이 되는 領域B에 접어들면 Q_3와 Q_4가 動作하기 始作하며, Q_4의 電壓은 거의 一定하므로 端子電壓 V의 增加分은 모두 R에 걸려 I′은 比例해서 增加한다. 따라서 Q_3의 콜렉터 電流는 I′의 m倍만큼으로 繼續 增加할 것이다. (Q_3와 Q_4는 電流미러를 形成하고 있으므로), 端子電流 I는 그림 3에서

$$I=I_{C_2}+I' \quad \cdots\cdots(16)$$

이다.

그리고 領域 B에서의 變化는

$$I_{C_2}=I_C-mI' \quad \cdots\cdots(17)$$

www.dbpia.co.kr

$$I' = (V - V_{BE}/R) \quad \cdots\cdots(18)$$

式 (17), (18)을 式(16)에 代入하면

$$I = I_C - (m-1)I' = I_C - (m-1)\frac{V - V_{BE}}{R}$$

다시 整理해서

$$I = I_C + \frac{m-1}{R}V_{BE} - \frac{m-1}{R}V \quad \cdots\cdots(19)$$

式 (19)에서 $m>1$이므로 $-R/(m-1)$의 負抵抗값을 갖으며 이같은 領域B의 特性은 그림 5의 AB커브이다

領域B에서 Q_3의 콜렉터 電流 mI'가 增加해서 I_C와 같아질 때의 端子電壓을 V_v라 하면, 領域C에서의 $I_C = mI'$가 되고 $I_{C_1} = I_{C_2} = 0$이 되어 Q_1과 Q_2가 遮斷狀態가 되며 한편 mI'의 根源인 I_C는 制限되어 있으므로 V의 增加에 따라 mI'는 더 以上 增加하지 못하고 I_C로 固定되어 Q_3와 Q_4는 電流미러動作이 깨진다.

따라서 端子의 I와 V의 關係는 R과 Q_4에 基因된다.

即 $I_C = mI'$

$$V = V_{BE} + RI' = V_{BE} + \frac{I_C}{m}R$$

$$I_v = \frac{I_C}{m}$$

$$V_v = V_{BE} + \frac{I_C}{m}R$$ 이 되어 結果的으로

$V = V_{BE} + RI$로 表示되어 기울기가 1/R인 그림 5의 BC커브가 된다.

2. V_P를 높이기 위한 回路

그림 3의 回路에 R과 直例로 제너다이오드를 挿入해서 V_P를 더욱 높여줄 수 있다. 即 端子電壓V가 領域A에서는 Q_1과 Q_2의 電流미러動作으로 電流가 急히 增加하다가 領域B의 範圍에서는 Q_3와 Q_4가 動作되지만 제너 다이오드의 逆方向 電流로 거의 固定되어 V의 增加에 依한 I'의 增加가 妨害된다. 그리고 電流미러 Q_1-Q_2의 各各의 出力抵抗이 낮으므로 漸次的인 增加現象을 나타내어 V_P가 解當되는 制御電壓만큼 높아진다. 結局 V_P가 제너전압 V_Z만큼 높아진 것이다.

Ⅳ. 實驗 및 結果

1. 基本 負抵抗回路 實驗

그림 6에서 $m=2$(即 Q_3'와 Q_3''를 並列結線) Q_1, Q_2는 接合 TR 2SC732로 使用하고 Q_3', Q_3'' Q_4는 2SC734로, V_{CC}는 10[V]로 固定시키고 100[kΩ]의 可變抵抗을 使用했다.

그리고 $R_1 = R = 10$[kΩ]으로 해서 I_C가 大略 1[mA]일 때 出力端子 1-1'에 電壓에 依한 電流變化를 測定하기 위해서 負荷抵抗(1[kΩ])과 並列로 可變電壓裝置를 連結했다. 測定結果는 表 1에 提示하였다.

上記와 같은 實驗結果는 그림 5의 理論的인 特性과

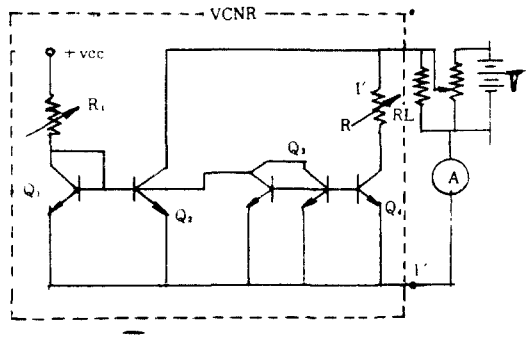


그림 6. 實驗回路

表 1

V[V]	I[mA]	V[V]	I[mA]
0.02	0.07	4.0	0.6
0.05	0.12	5.0	0.54
0.1	0.3	6.0	0.5
0.2	0.42	7.0	0.55
0.4	0.65	8.0	0.64
0.5	0.78	9.0	0.73
0.6	0.92	10.0	0.84
0.7	0.91	11.0	0.96
1.0	0.85		
2.0	0.77		
3.0	0.69		

그리고 그림 7에 依한 電壓電流特性은 다음과 같다 (그림 8).

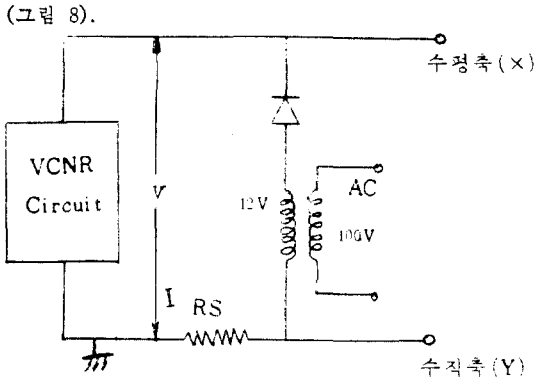


그림 7

거의 一致하며 領域B 即 負性抵抗範圍는 0.6[V]에서 6[V]이고 負抵抗크기는

$\Delta V = 1$[V]일 때 ΔI는 0.09[mA]이므로

$$R_N = \Delta V/\Delta I = \frac{1}{0.1\times10^{-3}} = 10^4[\Omega]$$이 된다.

www.dbpia.co.kr

理論的으로

$R_N=R/(m-1)|_{m=2}=R=10^4[\Omega]$인 것과 거의 一致한다. 그리고 領域C에서의 抵抗은

$\Delta V=1[V]$이고 $\Delta I=0.1$로서 $R=\Delta V/\Delta I=10^4[\Omega]$으로, 理論과 符合되며

$V_v=V_{BE}+\frac{I_C}{m}R$에서 $V_{BE}=0.6$, $I_C=1[mA]$, $m=2$, $R=10[k\Omega]$을 代入하면 $V_v=0.6+\frac{1}{2}\times 10=5.6[V]$

로 實際 實驗結果와 理論은 거의 一致한다.

2. 外部抵抗 R_1과 R을 可變시켜 나타나는 여러가지 V−I 特性.

다음의 그림 9 및 10은 R을 固定, R_1을 各各 可變시킨 경우와, R_1을 固定, R을 各各 可變시킨 경우에 있어서의 波形이다.

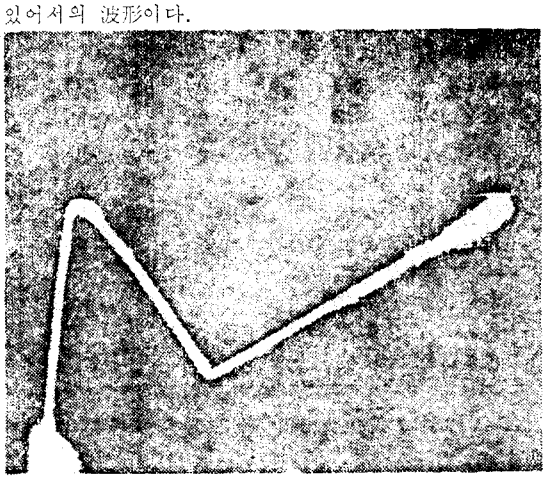


그림 8. H : 2V/div V : 0.2mA/div

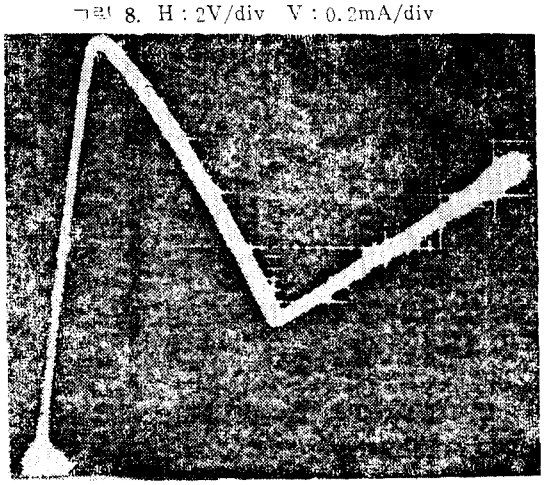


그림 **9−1.** R=10kΩ R_1=8kΩ인 境遇
V : 0.2mA/div H : 2V/div

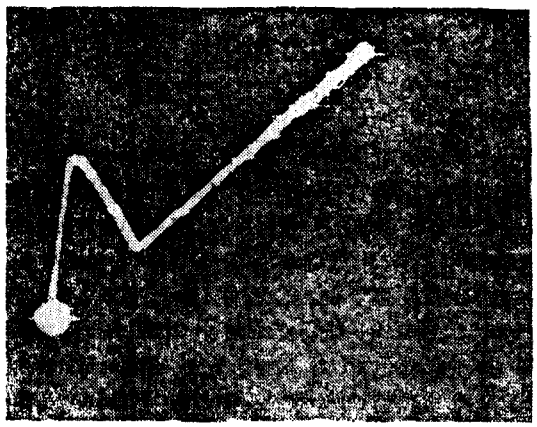


그림 **9−2.** R=10kΩ R_1=12kΩ인 境遇
V : 0.2mA/div H : 2V/div

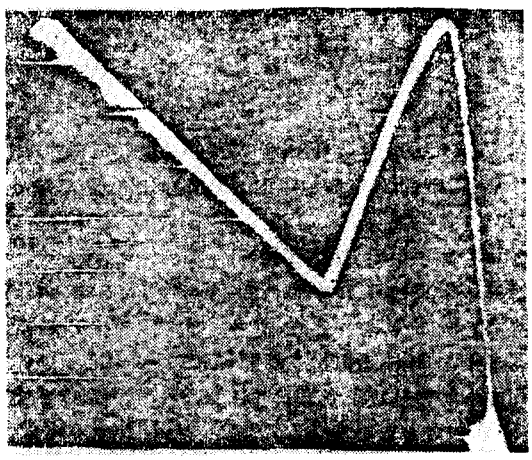


그림 **10−1.** R=6kΩ R_1=10kΩ인 境遇
V : 0.2mA/div H : 2V/div

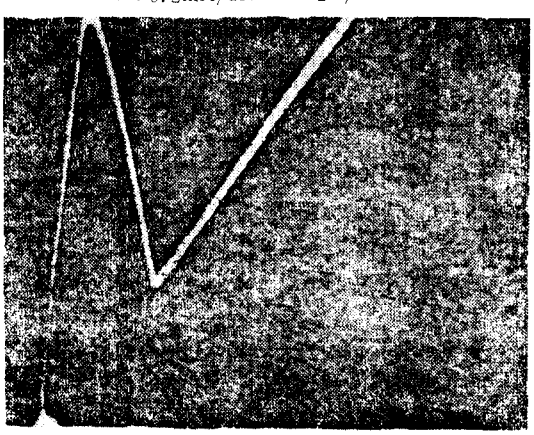


그림 **10−2.** R=14kΩ R_1 : 10kΩ인 境遇
V : 0.2mA/div H : 2V/div

www.dbpia.co.kr

R_1을 可變시킨 경우에는 I_v와 I_P가 比例的으로 變하고 V_P와 V_v도 따라서 變化하며 特性의 기울기는 變化가 없음을 確認할 수 있었다.

R을 可變시킬 경우에는 反對로 I_P나 I_v는 거의 固定되어 있으며 V_P와 V_v만 顯著하게 달라짐을 確認할 수 있고 이는 앞서의 理論的 解析을 充分하게 뒷받침해 주는 것이라 하겠다.

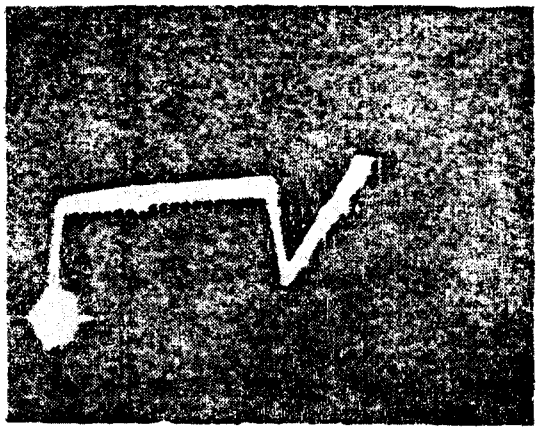


그림 11. 13V의 Zener Diode를 R과 直列로 連結한 境遇의 波形
V : 0.5mA/div H : 3V/div

V_P를 높이기 위한 回路의 實驗도, 13〔V〕 제너 다이오드를 R과 直例로 連結한 경우의 波形(그림 11)에서 알 수 있듯이 V_P가 13〔V〕에 位置하며, 다른 部分은 그림 8와 同一하였다.

3. m의 값을 變化시킬 境遇

前述한 實驗은 $m=2$로 했으나 $m=3$으로 이 境遇, 기울기는 더욱 커지고 I_v는 더욱 낮아짐을 觀察할 수 있었다.

V. 結 論

電流미러(Current Mirror)構成으로 電壓制御負抵抗回路를 새롭게 提示하였다. 그리고 端子電壓에 따라 素子들의 變化로, 回路 動作을 推定하고, 動作領域을 3가지로 解析하였다.

回路의 推定한 動作은 實驗으로 正確한 線形 電壓 電流 特性으로 觀察되었고 外部抵抗을 變化시켜 多樣한 負抵抗特性을, 그리고 제너 다이오드를 回路에 挿入하여 피이크電壓 V_P가 높아진 負抵抗特性을 觀察하였는데 이와 같은 實驗結果는 理論的 解析과 거의 一致하였다.

參 考 文 獻

1. 朴義烈 : 演算增幅器에 依한 電壓安定負抵抗回路의 構成에 對하여, 1976. 電子工學會誌
2. 林寅七 : 負抵抗 multivibrator의 安定點設定과 動作安定法, 1973—10—2—2 電子工學會誌
3. 崔甲石 : 電子回路 pp. 116~131 홍은출판사, 1977.
4. D.K. Gupta & RAGHU NATH: "A Negative Resistance Generator Using a Darlington Pair" Int J Electronics, 1973. Vol. 34, No.1 131~133 Feb, 1972.
5. T.S.K.V IYER & S.M. SHANA: "N-Type Negative Resistance Circuit" Int. J.Electronics. 1972. Vol. 33. No. 2 235~239 Sept. 1971.
6. HIROMITSU TAKAGI & GOTA KANO: "Complementary JFET Negative-Resistane Divices" IEEE Journal of Solid State Circuit. Vol. SC-10. No.6 Dec, 1975.
7. S. Ashok: "An Accurate Voltage-Controlled Negative Resistance Circuit", IEEE J. Solid Sttae Circuit conferrerence. June, 1977.
8. H.J. REICH: "More about negative-Resistance Circuit" Proceedings of the IEEE Sept, 1964. pp. 1058~1059.
9. SAMUEL SEELY: "Electron tube Circuits" Mc Graw-Hll Book Company, Inc 1958, p. 292.

www.dbpia.co.kr