論 文

論文 76-13-6-2

演算增幅器에 의한 電壓安定 負抵抗回路의 構成에 對하여

(A Study on Composition of VSNR Circuit by Operational Amplifier)

朴 義 烈*
(Park, Ui Yul)

要 約

演算增幅器를 이용한 電壓安定負抵抗回路를 제안하였으며, 全入力電壓範圍에 걸쳐서 回路를 解析하였다. 負抵抗領域에서 이 v-i特性이 2가지 구분된 요인에 의해서 이루어짐을 밝혔고, 이 개념에 의해서 力 v-i特性의 꼭지점을 解析하였다.

제안된 回路를 實驗하여 얻은 入力 v-i特性의 直線性은 대단히 良好하였으며, 이들의 負抵抗値는 電壓範圍 ±1～±5V에서 −86～833Ω였다. 그리고 全入力電壓範圍에서 v-i特性을 檢討했다.

Abstract

A voltage-stable negative resistance circuit with operational amplifier is proposed, and circuit analysis is given all the input voltage range. The behavior of the v-i characteristics in the negative resistance region is devided into two causes, and top points in the input v-i characteristics of the circuit is analyzed with them.

Experimental results of the v-i characteristics of the proposed circuit has a good linearity in the negative region with negative resistance, −86Ω～−833Ω for the input voltage, ±1～±5 volts. The v-i characteristics of the circuit in all the input voltage range is discussed.

1. 緖 論

트란지스터 代身에 演算增幅器(operational amplifier : OP Amp)를 利用하여 電壓安定 負抵抗 回路(voltage-stable negative resistance circuit: VSNRC)를 構成하는 데는, 增幅器를 갖추어야 하며, 直結合 方式을 택해야한다는 H.J. REICH의 理論 [1]에 따라야 할 것이다. 또 문헌 [2]와 [3]에 보인 바와 같이 入力側의 電壓의 增分 ΔVi에 따른 增幅器의 出力端 電壓의 增分 ΔV_0間에 $\frac{\Delta V_0}{\Delta Vi}>1$인 關係가 成立해야만 負抵抗 特性을 가지는 回路로 구성할 수 있을 것이다. 그러나 문헌 [2]와 [3]에서는 VSNRC의 入力側과 增幅器의 終段間에 抵抗을 接續하지 않아도 무방하였으나 이 경우는 抵抗을 반드시 接續하여야만 하였다. 문헌 [2] 및 [3]에서는 增幅器의 終段의 콜렉터 電流를 베이스 파라메타로써 制御한 것이기 때문에 前記 抵抗의 有無는 負抵抗値에 영향이 없었기 때문이다.

트란지스터를 利用한 VSNRC에서는 2段 增幅이 必要하였으나 OP Amp를 利用한 回路에서는 OP Amp의 逆相 入力과 出力 間에서 귀환을 취해서 正相 入力과 비교토록 하여, 入力電壓의 增分에 대한 出力端子電壓의 增分의 比인 綜合的인 利得을 적절히 조절할 수 있는데 回路 構成上의 考慮할 點이라고 보았다.

얻어질 VSNRC의 v-i特性의 各 領域의 設定을 하는 데는 OP Amp의 電壓入出力 特性이 2가지 領域으로

*正會員 釜山大學校工科大學
Dept. of Electrical Eng., College of Eng., Pusan Univ.
接受日字 : 1976年 10月 10日

區分지어지는 데 對應시킬 수 있을 것이라고 봤다. 또 OP Amp의 電源이 正 負 2개가 필요함으로 入力電壓의 正 負에 따라서 奇對稱인 特性이 될 것으로 봤다. 그래서 OP Amp의 2가지 性質을 가진 領域이 VSNRC의 入力電壓軸 上에 3곳에 나타나 N形 特性이 될 것으로 봤다.

이러한 推定에 基礎를 둔 回路를 構成하여 提案하고 負抵抗 特性이 나타날 條件을 밝히며 各 領域으로 나누어서 回路를 解析하고자 시도하였다. 특히 負抵抗 領域으로 넘어가는 限界에 대하여 구분 짓고자 하였다

이러한 諸 시도를 實驗을 통해서 確認할 것이며, 이로써 回路解析의 타당성을 뒷받침 하고자 한다.

2. 回路의 提案 및 解析

OP Amp를 利用한 VSNRC를 그림 2·1과 같이 提案한다. 이 回路에서 얻어질 入力 v-i特性을 그림 2·3과 같다고 본다. 그림 2·3의 負抵抗 領域下에서 그림 2-1의 回路를 解析하면 다음과 같다.

여기에 쓰인 各 記號는 그림 2·1에 表示한 外에 必要한 것을 아래에 表示했다.

ΔIi : 電流 Ii의 增分

ΔI_1 : 電流 I_1의 增分

A_{VN} : 그림 2·1의 回路의 綜合利得

Ri : VSNRC의 入力抵抗

A_0 : OP Amp의 開루프 利得

Vid : OP Amp의 差動 入力電壓

β : 귀환률$(=\frac{R_3}{R_3+R_F})$

α : $\frac{R_1}{R_1+R_2}$

I_0sat : OP Amp의 出力端子에서 흘러 나오는 電流로서 I_0의 飽和値

I_0 : OP Amp의 出力端子에서 抵抗 R_4로 흐르는 電流

V_0sat : OP Amp의 出力端子電壓의 飽和値

Vimax : $Ii=0$때의 Vi値

V_0max : Vimax에서의 V_0値

Ri値는 다음과 같이 구한다. 즉

$$Ri=\frac{\Delta Vi}{\Delta Ii}=\frac{\Delta Vi}{\Delta I_1+\Delta I_2}$$

A_{VN}은 다음 式에서 유도한다.

$$\Delta V_0=\left[\frac{R_2}{R_1+R_2}\Delta Vi-\frac{R_3}{R_3+R_F}\Delta V_0\right]A_0$$

$$\therefore A_{VN}=\frac{\Delta V_0}{\Delta Vi}=\frac{R_2(R_3+R_F)}{(R_1+R_2)\{R_F+R_3(1+A_0\}} \quad (2.2)$$

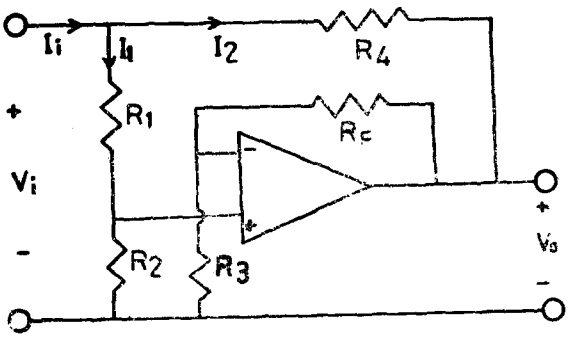

그림 2·1 提案한 回路
Fig. 2·1 a propased circuit.

또한

$$=\frac{R_2}{R_1+R_2}\frac{A_0}{1+\frac{R_3}{R_3+R_F}A_0}=\alpha\frac{A_0}{1+\beta A_0} \quad \cdots(2.3)$$

단

$$\beta=\frac{R_3}{R_3+R_F},\quad \alpha=\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

式 (2.3)은 다음과 같이 간단화 된다.

즉 $A_{VN}=\frac{\alpha}{\beta}$

式 (2.1)은 식 (2.3)을 가지고 정리하면,

$$R_i=\frac{1}{\frac{1}{R_1+R_2}+\frac{1}{R_4}(1-A_{VN})} \quad \cdots\cdots(2.5)$$

$$=\frac{1}{\frac{1}{R_1+R_2}+\frac{1}{R_4}-\frac{1}{R_4}\frac{R_2}{R_1+R_2}\frac{A_0}{1+\frac{R_3A_0}{R_3+R_4}}} \quad \cdots\cdots(2.6)$$

式 (2.6)에서 A_0가 대단히 크면,

$$R_i=\frac{R_3R_4(R_1+R_2)}{R_3(R_1+R_4)-R_2R_F} \quad \cdots\cdots(2.7)$$

단 $R_3(R_1+R_4)-R_2R_F<0$ $\cdots\cdots(2.8)$

식 (2.8)은 그림 2.1의 回路의 R_i値가 負가 될 條件이다

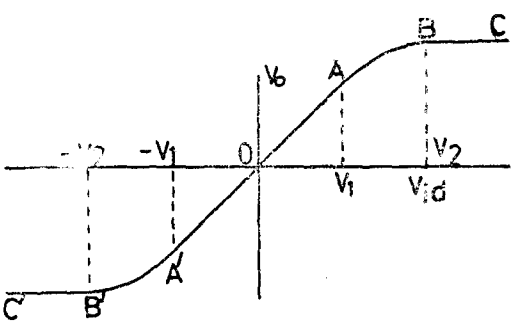

그림 2.2 OP Amp의 電壓入出力特性
Fig. 2.2 Voltage tranlfer characteristics of OP Amp.

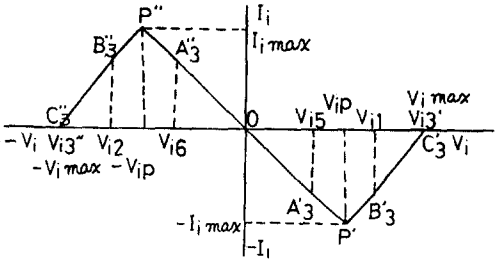

그림 2.3 入力 v-i特性
Fig. 2.3 Input v-i characteristics.

그림 2.3의 꼭지점에 대해서 밝히면 다음과 같다. 그림 2.3의 v-i 特性은 V_i에 대하여 奇對稱이다. 이特性의 꼭지점이 어떻게 하여 결정되는지 구분지으므로써 꼭지점 좌우의 負 및 正抵抗 領域을 결정할 수 있을 것이다.

먼저 그림 2.1의 回路에서 R_i値에 영향을 미치는 요인을 크게 나누어서

(1) R_4値가 變數인 경우

(2) R_3値가 變數인 경우

를 들 수 있다.

R_4値가 변수가 되면 A_{VN}은 일정하면서 식 (2.5)에서 R_i値가 여러 값을 가질 수 있고, R_3値가 변수가 되면 식 (2.3)의 A_{VN}値가 바뀌어서 R_i値가 달라지는 수가 생기는 것이다.

(1)의 경우 : OP Amp의 出力端子에서 R_4에 흘러내는 I_0는 V_i値와 R_3値에 의해서 결정된 것이다. V_0値가 낮아서 V_0sat에 이르지 못해도 그 때의 V_i値에 따를 I_0値가 Isat에 이를 수 있을 것이다. 여기서 負抵抗 領域은 끝나는 것이다. 이렇게하여 나타난 꼭지점을 電流飽和에 의한 定電流 狀態라고 부르겠다. 이로부터 V_i値가 더욱 增加하면 正抵抗領域이 나타날 것이다. V_0는 增加하나 I_0는 V_i의 增加에 따라서 減少할 것이다. 따라서 그림 2.2의 OP Amp의 電壓入出力 特性의 직선인 기울기의 범위가 그림 2.3의 $P'B_3'C_3'$와 $P''B_3''C_3''$에 대응할 것이다.

(2)의 경우 : 주어진 R_4値下에서 I_0sat에 이르지 않는다고 본 경우, V_i値의 增加에 따라서 OP Amp의 V_0가 V_0sat에 이르는 경우를 말한다. 이 경우엔 그림 2.2의 기울기의 직선 부분에서라도 A_{VN}가 크면 V_0는 Isat에 이르기 전에 V_0sat에 이르게 될 것으로 본다. 이것을 電壓飽和에 의한 定電流 狀態라고 부르겠다. 여기서부터 V_i値가 더욱 增加하면 V_0値의 변화는 거의 없을 것이며 A_{VN}値는 1이하가 될 것이며 비록 영이 되지 않더라도 入力 v-i 特性은 正抵抗 領域에 동일 것이다.

경우 (1)과 경우 (2)를 구분지었던 장점은 V_0sat와 I_0 sat의 어느 쪽이 V_i의 增加에 따라서 먼저 오느냐에 따른 꼭지점의 형성 요인을 밝히는 데 있는 것이다.

그림 2.3에서 $I_i=0$, $V_i\neq0$인 자리 c_3' 및 c_3''에서의 $V_i$max는 V_0max가 주어지면 곧,

$$V_i\text{max}=\frac{R_1+R_2}{R_2+R_2+R_3}V_0\text{max} \quad \cdots\cdots(2.9)$$

3. 實驗 및 檢討

그림 2.1의 回路의 OP Amp는 SN72741N과 μA741 등을 利用하였고, 抵抗 $R_1=502\Omega$, $R_2=1055\Omega$ 및 $R_F=960\Omega$을 취하였으며 (1) : R_3値를 499Ω로 정한 경우 R_4値를 500, 400, 300, 200, 및 100Ω로 바꾸면서 入力 v-i 特性을 구했다. 또 (2) : R_4値를 530Ω로 정한 경우에 R_3値를 500, 400, 300, 200 및 100Ω로 각각 취하면서 入力 v-i 特性을 구했다. 또 그림 3.1 및 3.2의 꼭지점에서의 I_i, V_i, V_0, I_0sat, V_0sat 및 I_0를 구하였으며, V_0max와 $V_i$max도 아울러서 표 3.1과 표 3.2에 각각 表示했다.

실험 (1)에서 구한 R_i의 實測値와 식 (2.7)에 R_4를 각각 여러 값으로 바꾸면서 구한 計算値 間엔 平均誤差는 1.50%였으며 最大 誤差는 2.75%였다. 여기서 얻어진 入力 抵抗値는 각각 −106, −238, −384, −555 및 −769Ω였다.

실험 (2)에서 구한 R_i의 實測値와 식 (2.7)에 R_3値를 여러 값으로 각각 바꾸면서 구한 計算値 間엔 平均誤差 2.04% 였으며, 最大 誤差 5.2%였다. 여기서 얻은 負抵抗値는 각각 −86, −200, −357, −555 및 −833Ω였다. 負抱抗値를 유도한 回路 解析이 實驗에 의해서 타당함을 보였다. 각 特性의 直線性은 대단히 良好하였으며 특히 낮은 入力 電壓 範圍에서 현저하였다

표 3.1에 실험 (1)의 일부를, 표 3.2에 실험 (2)의 일부를 별도 表示하여서 꼭지점의 분석에 도움을 주고자 했다.

표 3.1에서는 앞서 말한 電流 飽和에 의한 定電流 狀態가 나타났었다. 入力 v-i 特性이 꼭지점을 지나서 負에서 正特性으로 넘어가면 I_0sat는 감소하였다. 그 이유는 V_i値의 增加에 따라서 R_4에 흐르는 電流가 減少하기 때문이며, V_0値가 비록 增加하더라도 電流는 감소했다.

표 3.2는 그림 2.1의 回路에서 R_3値를 增加해 나갈 적에 表 3.1과 같이 表示한 것이다. 여기서는 R_3値가 클 적엔 즉 A_{VN}値가 낮을 때엔 電壓 飽和에 의한 定電流 狀態가 나타났었으나 R_3値가 낮아서 A_{VN}値가 높아질 때엔 V_0sat에 이르기 전에 I_0sat가 먼저 나타나는

것이었다.

(1)의 경우에서 R_4가 감소하는 것과 (2)의 경우에 R_3가 감소하는 것은 R_i値에서 볼 때는 같다는 의미를 가지고 있다. 즉 I_0의 값이 커지기 쉽고 또 커지게 되면 V_0sat 되기 이전에 I_0sat에 이른다는 뜻으로 받아들여진다.

V_0max와 $V_i$max値는 OP Amp에 供給된 電源 電壓에 의해서 제한된다고 보여진다.

實驗에서 얻은 結果를 더욱 보태어 보면, OP Amp를 長時間 使用하더라도 負抵抗値엔 영향이 없었으며 負抵抗 領域이 약간 넓어져 나타났었다. 이것은 OP Amp의 出力端에서의 電壓 및 電流의 飽和値가 上昇한다는 데 起因된다고 보여진다.

이 回路에 利用된 OP Amp에 관계없이 負抵抗値는 무관했었다. 또 한가지 便利한 點은 發振回路로 利用할 적에 별도의 電源이 必要치 않다는 것이다.

표 3.1
Table 3.1

$R_3=499\Omega$ $R_4=$	100	200	300	400	500
$-I_i$(mA)	14.5	12.0	10	8.3	6.9
V_i(v)	1.5	2.85	3.8	4.7	5.4
V_0(v)	3	5.6	7.6	9.2	10.6
I_0 sat(mA)	1.54	13.8	10.4	11.3	10.3
V_0 max(v)	13.5	13.6	13.8	13.8	13.8
V_i max(v)	12.5	11.85	11.5	11.0	10.4

표 3.2
Table 3.2

$R_3=R_4=530\Omega$	100	200	300	400	500
$-I_i$(mA)	10.5	9.6	8.75	7.65	6.65
V_i(v)	1	2.0	3.0	4.3	5.7
V_0 sat(v)	6.7	7.65	8.7	9.9	11.1
I_0(mA)	11.1	10.8	10.65	10.65	10.25
V_0 max(v)	12.0	13	13.4	13.8	13.8
V_i max(v)	8.8	9.6	9.9	10.2	10.3

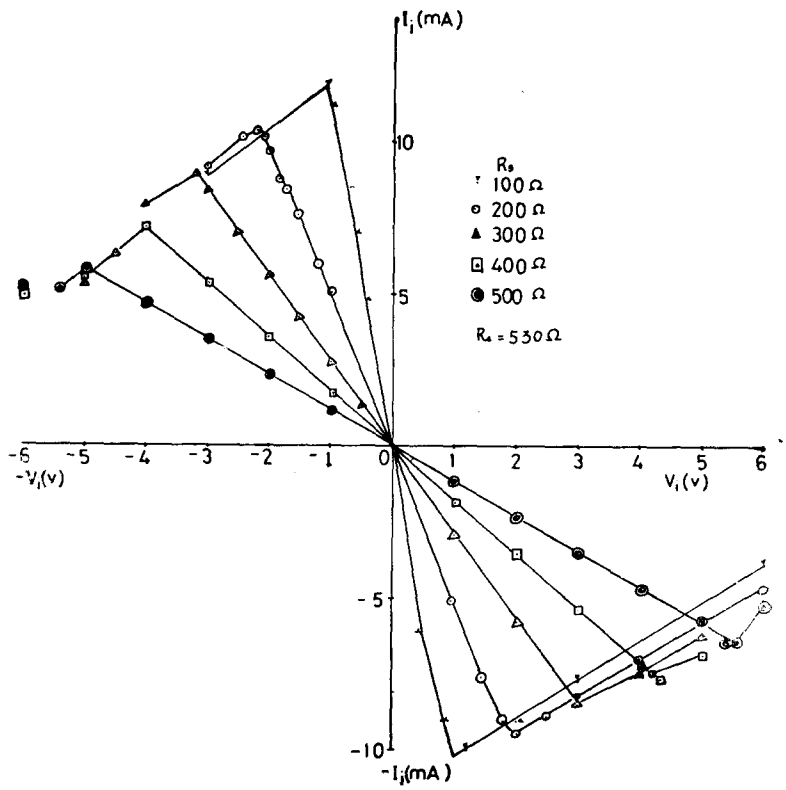

그림 3.1 그림 2.1의 回路에서 R_4의 변화에 따른 V_i—I_i 특성
Fig. 3.1 The effect of R_4 on V_i—I_i characteristics in circuit of Fig. 2.1.

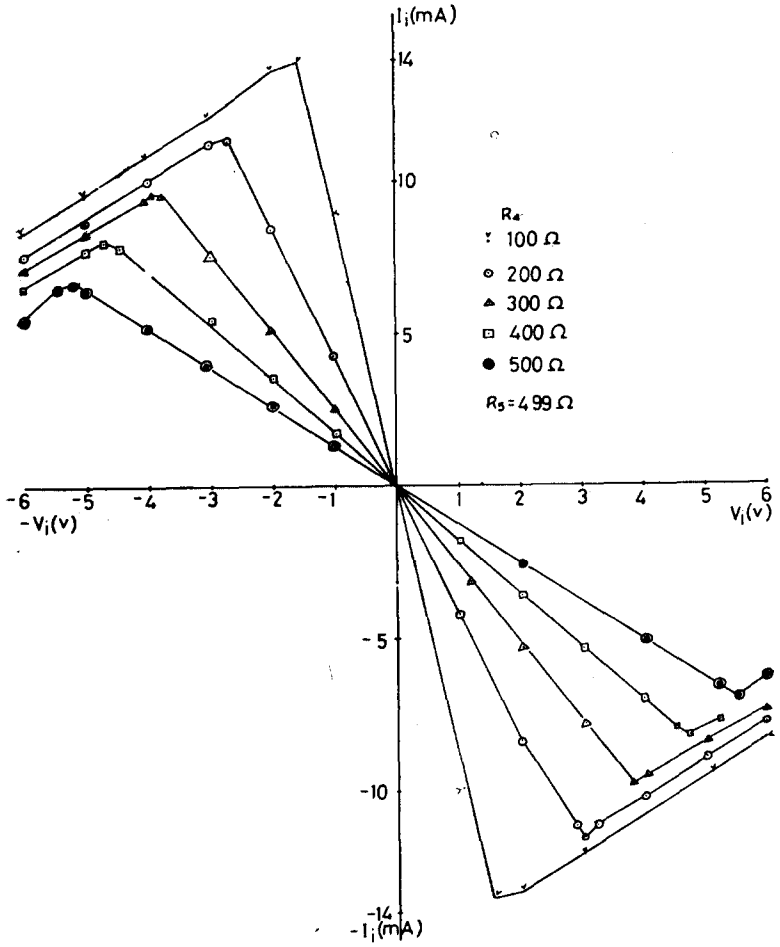

그림 3.2 그림 2.1의 回路에서의 R_3의 변화에 따른 V_i—I_i 특성
Fig. 3.2 The effect R_3 on V_i—I_i characteristics in circuit of Fig. 2.1.

4. 結 論

제안된 電壓安定 負抵抗 回路는 演算增幅器를 이용한 것이다. 回路解析은 負抵抗領域과 正抵抗領域으로 구분지어서 解析했다. 負抵抗值는 回路의 綜合利得과 正歸還回路에 놓인 抵抗值에 의해서 결정됨을 밝혔다. 入力 v-i 特性의 꼭지점은 演算增幅器의 出力電壓 및 電流가 어느 쪽이 먼저 포화치에 도달하는 가에 의해서 결정되어짐을 밝혔다.

실험에서 얻은 v-i 特性의 負抵抗值와 計算值를 비교했더니 최대오차 5.2%, 평균오차 1.76%를 나타냈으며 回路解析의 타당성을 뒷받침 하였다.

직선성이 良好한 負抵抗性을 얻었으며 負抵抗值는 −86 내지 −833Ω까지의 것을 入力電壓範圍 ±1.5~±5.5v 電流範圍 ±4.8mA~±11.8mA의 것을 얻었다.

全動作電壓範圍는 演算增幅器의 電源電壓 ±15 下에서 ±13.8v였었다.

負抵抗值는 外部溫度의 영향을 받지 않았었다.

"끝으로 本硏究는 1976學年度 文敎部 硏究造成費에 의한「電壓安定負抵抗特性回路의 高周波에의 應用」의 中間報告로서 發表하는 바이며, 當局에 심심한 謝意를 표한다."

參 考 文 獻

1. H.J. Reich, "More about Negative-Resistance Circuits," Proc. of IEEE (Correspondence), Vol. pp. 1058-1059, Sept. 1964.
2. Ui Yul Park, "A Study on Voltage-stable Negative-Resistance Circuits," The Jour. of The Institute of Korea Electronics Engineers, Vol. 9, No.6, pp. 305-314. Dec. 1972.
3. Ui Yul Park, "A Study on Composition of The Negative-Resistance Circui," The Jour. of The Institute of Korea Electronics Engineers, Vol. 10, No.6, pp.296-309. Dec. 1973.