

SCR의 gate 회로에서의 負性抵抗特性

(Negative Resistance Characteristic in Gate Circuit of SCR)

논문
23-6-2

朴炳哲
(Byung Chuel Bark)

Abstract

It is well-known that the anode circuit of SCR has the current controlled negative resistance characteristic. Recently the present author has shown that the gate circuit of SCR has the voltage controlled negative resistance characteristic for the constant anode voltage.

It is shown of the equivalent model to SCR (when conducting) the voltage controlled negative resistance characteristic for gate circuit. And it is possible to make SCR gate oscillators with their desired characteristic for illustration.

1. 序 論

SCR의 anode 회로에서는 電流制御形(S字形) 負性抵抗特性을 가지며 이 特性을 利用하여 anode 회로가 off 및 on의 두 安定狀態를 가지며 switching 회로에 쓰여져 있음은 잘 알려져 있다.

여기에서는 anode 電壓을 어느 一定值에 두고 gate 회로에서의 動作狀態를 관찰 구명코저 한다. anode 電壓을 어느 一定值에 두고, gate 電壓과 gate 電流 사이의 關係를 測定해본 結果 역시 負性抵抗特性이 나타났다¹⁾. 이때의 特性은 anode 회로와는 달리 電壓制御形(N字形) 負性抵抗이 됨을 밝힌바 있다^{2),3)}(그림 1, 2 및 3 參照).

여기에서는 SCR이 一旦 傳導되었을 때의 負性抵抗特性이 나타나는 것을 解析하여 이를 等價 model로 表示하였다. gate 회로의 電壓制御形(N字形) 負性抵抗特性을 利用한 發振회로를 만들어 負性抵抗特性이 나타나고 있음을 實證하였다.

2. 負性抵抗特性

의 接合面에 小電壓逆電流는 p領域에서 再結合發生에 依한 電流 I_{sp} 뿐이다. 逆 bias가 커지려는 avalanche 現象에 依하여 M_n 배가 된다. M_n 은 bias V_a 의 函數이며,

$$\left. \begin{aligned} M_n &= 1 / \{1 - (V_a / V_b)\}^n : \text{電子의 경우} \\ M_p &= 1 / \{1 - (V_a / V_b)\}^m : \text{hole의 경우} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

단, V_b 는 J_2 接合面의 逆耐電壓值 逆方向電流가 電子와 hole의 경우이면,

$$I = M_p I_{sp} - M_n I_{sn} \dots\dots\dots(2)$$

그러므로

$$I = I_s - (V_a / V_b)_n \cdot I \cong I_s + AI \dots\dots\dots(3)$$

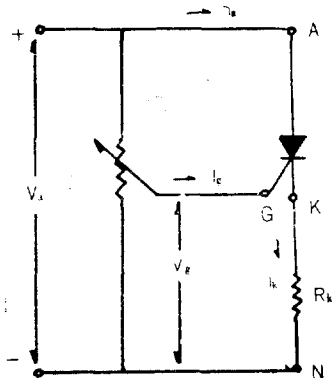


그림 1. 負性抵抗回路
Fig. 1. Negative Resistance circuit

于先 그림 4-a와 같이 A-K間을 2端子로 보코, J_2

* 正會員 : 成均館大學校 理工大學 電子工學科 教授

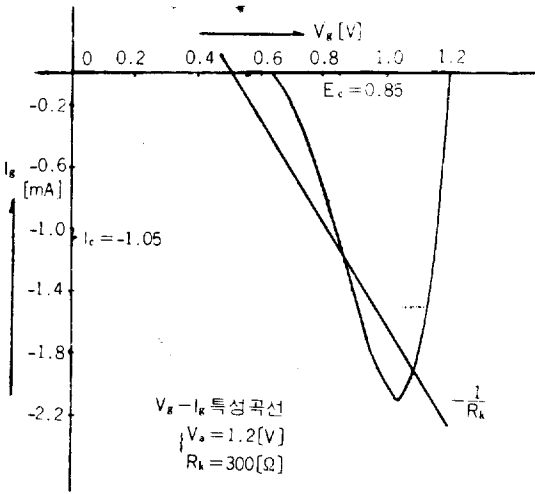


그림 2. SCR의 gate 特性曲線
Fig. 2. Characteristic Curve of SCR

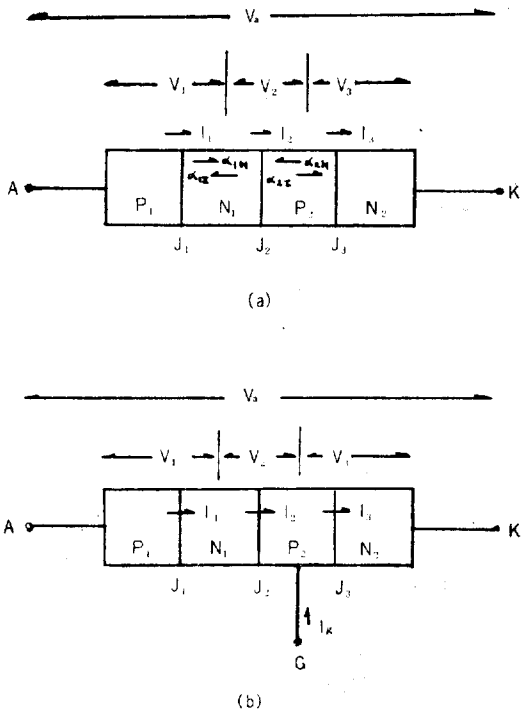


그림 4. SCR의 構造
Fig. 4. Configuration of SCR.

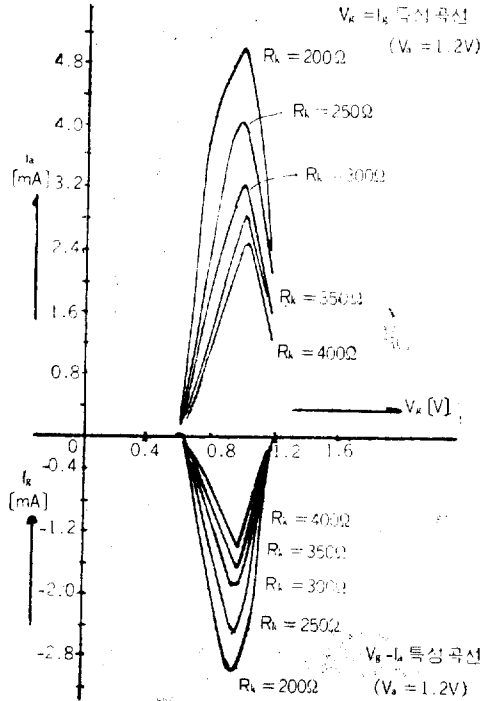


그림 3. SCR의 V_g-I_a 및 V_g-I_k 特性曲線
Fig. 3. V_g-I_a and V_g-I_k characteristic Curve of SCR.

그림 4-a에서 各接合面に 걸린 電壓을 V_1, V_2 및 V_3 , 흐르는 電流를 I_1, I_2 및 I_3 라 하고, 다른 接合面이 short되었을 때의 各接合面을 흐르게 되는 電流를 $I_1^{(1)}, I_2^{(2)}$ 및 $I_3^{(3)}$, 그때의 飽和電流를 $I_s^{(1)}, I_s^{(2)}$ 및

$I^{(3)}$ 라 하고, emitter 注入率 γ , 注入 carrier 到達率 β , 電流增幅率이라 하면,

$$\alpha = \gamma\beta \text{ 일 때}$$

$$\gamma_{1N} = I_{s,p}^{(1)} / I_s^{(1)}, \quad \gamma_{1I} = I_{s,p}^{(2)} / I_s^{(2)},$$

$$\gamma_3 I = I_{s,n}^{(2)} / I_s^{(2)}, \quad = 1 - \gamma_{1I},$$

$$\gamma_{2N} = I_{s,n}^{(3)} / I_s^{(3)},$$

$$\alpha_{1N} = \gamma_{1N} \beta_{1N}, \quad \alpha_2 = \gamma_{2N} \beta_{2N}$$

$$\alpha_{1I} = \gamma_{1I} \beta_{1I}$$

이므로

$$I^{(i)} = I_s^{(i)} [\exp\{(-1)^{i+1} \beta' v_i\} - 1] V_a \dots\dots (4)$$

단, $i=1, 2, 3$
 $\beta' = qkT$

이다⁴⁾.

$\beta < 1$ 이므로,

$$\alpha_{1I} + \alpha_{2I} < 1$$

$$I_1 = I^{(1)} - \alpha_{1I} I^{(2)}$$

$$I_2 = \alpha_{1N} I^{(1)} - (M_p I_s^{(2)} + M_n I_s^{(2)}) + \alpha_{2N} I_s^{(3)} \dots (5)$$

$$I_3 = -\alpha_{2I} I^{(2)} + I^{(3)}$$

이다.

여기서 $V_2 < 0$ 일 때 $M_p = M_n = 1$ 라 한다. 위의 여러 式들을 $I^{(i)}$ 에 대하여 풀면

$$\left. \begin{aligned} I^{(1)} &= \left\{ [\gamma_{11}M_p + (1 - \alpha_{2N}\alpha_{2I} - \gamma_{11})M_n] I_1 \right. \\ &\quad \left. - \alpha_{1I}I_2 + \alpha_{2N}\alpha_{1I}M_n I_3 \right\} / h \\ I^{(2)} &= (\alpha_{1N}M_p I_1 - I_2 + \alpha_{2N}M_n I_3) / h \\ I^{(3)} &= [\alpha_{1N}\alpha_{2I}M_p I_1 - \alpha_{2I}I_2 \\ &\quad + \{ (\gamma_{12} - \alpha_{1N}\alpha_{12})M_p + \gamma_{2I}M_n \} I_3] / h \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

단, $h = (\gamma_{11} - \alpha_{1N}\alpha_{1I})M_p + (1 - \alpha_{2N}\alpha_{2I} - \gamma_{11})M_n$

이 된다.

A-K間的 電壓 $V\alpha$ 는

$$V_\alpha = V_1 + V_2 + V_3$$

이고, 이때 P_2 에 gate 電極 G를 붙이면, A-G 사이에는 $(V_\alpha - V_2)$ 의 電壓이 걸리게 되며, 電流는

$$I_1 = I_2 = I \text{ 및 } I_3 = I + I_g \dots (7)$$

가 흐르게 되며, 이들의 關係를 (6)式의 $I^{(2)}$ 式에 代入하고, I_g 에 對하여 整理하면

$$I_g = \frac{1}{S_1} \{ I^{(2)} + S_2 I \} \dots (8)$$

단, $S_1 = \alpha_{2N}M_n / h$

$$S_2 = (\alpha_{1N}M_p + \alpha_{2N}M_n - 1) / h$$

이를 다시 쓰면

$$I_g = \frac{1}{\alpha_{2N}M_n} (S_3 - S_4) \dots (9)$$

단, $S_3 = (\gamma_{11}M_p + M_n) I^{(2)} + I$

$$S_4 = \{ \alpha_{1N}\alpha_{1I}M_p + (\alpha_{2N}\alpha_{2I} + \gamma_{11})M_n \} I^{(2)} + (\alpha_{1N}M_p + \alpha_{2N}M_n) I$$

가 된다.

(9)式의 右邊에서

$$S_3 < S_4 \dots (10)$$

의 關係가 成立하면

$$I_g < 0 \dots (11)$$

의 領域이 나타난다. 따라서 (10)式이 成立할 때 負性抵抗領域이 存在하게 된다. 實際로 gate 回路에는 그림 2 및 그림 3과 같은 電壓制御形 負性抵抗特性이 나타남을 實驗으로 立證되었다.

3. 發 振 回 路

a) 發振回路 I

그림 6-a와 같이 結線하여 이를 다시 그림 6-b와 같이 그리면 이는 一種의 Hartley 回路와 같이 된다.

이때의 發振周波數는 BJT의 Hartley 回路의 發振周波數⁵⁾에서

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{V(L_1 + L_2)C + (L_1L_2 - M^2)/K} \dots (12)$$

단, $K = \gamma_{11}\gamma_{1c} + \gamma_{1b}\gamma_{1e} + \gamma_{1c}\gamma_{1e} - \gamma_{1b}\gamma_{1m}$

近似值의으로

$$f \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 + L_2} C} \dots (13)$$

로 주어진다.

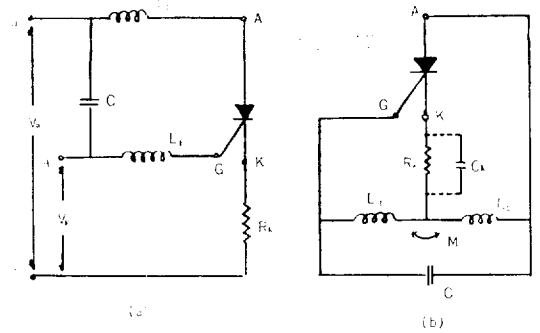


그림 5. 發振回路 I
Fig. 5. Oscillator I of SCR.

b) 發振回路 II

gate側에 L-C tank 回路를 插入한 發振回路이며 (그림 7-a) 이를 等價回路(그림 7-b)로 하여 發振周波數를 求하면

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} \left(1 - \frac{R_0}{\rho} \right)} \dots (14)$$

$$\approx \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \dots (15)$$

로 表示된다³⁾.

이때 波形은 거의 正弦波가 되는 良好한 波形이 되었다(그림 7-C 참조).

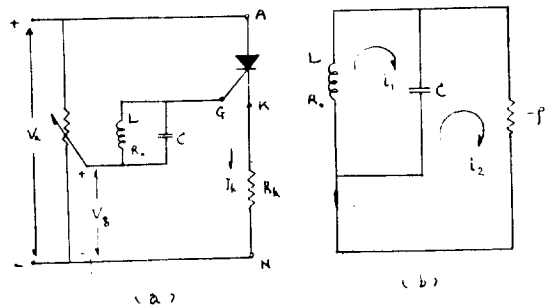


그림 6. 負性抵抗 發振回路와 等價回路 및 發振波形
Fig. 6. Negative Resistance Oscillator, its Equivalent Circuit of SCR and Wave form of Oscillation

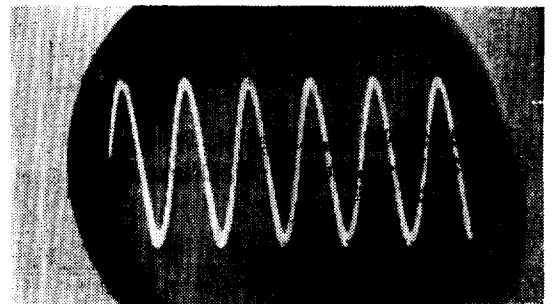


그림 7.

그리고 周波數特性에 있어서도 낮은 周波數(約 100 Hz)에서 比較的 높은 周波數(約 50KHz)까지 넓은 周波數帶에서 安定된 發振을 하고 있었다.

4. 檢 討

a) 負性抵抗特性

SCR의 anode 電壓을 一定值에 두었을 때 gate 電流 I_g 의 값은 (9)式에서 주어졌으나, 이때 (9)式의 右邊의 各係數는 定해진 값으로 求할 수 없으므로 여기에서는 可能性을 提示한 것이다.

b) 發振回路

發振回路 II는 負性抵抗特性에 依한 것이 解析되었으나, 發振回路 I은 負性抵抗特性에 依한 것으로 생각은 되나 解析은 못하였다.

이때 cathode 回路에 挿入한 R_A 의 값은 200[Ω] 400[Ω]에서 安定된 發振을 하고 있었다. 또 發振回路에서 L, C 의 比率이나 結合의 狀態에는 比較的 關係없이 쉽게 發振하였다.

本論文에서는 既成 SCR을 使用하였으나 別途의 이러한 p-n-p-n 素子を 만들어 發振용으로 開發하면 보다 能率이 좋은 素子로 使用할 수 있겠다.

끝으로 Maker에서의 data가 없었기 때문에 여러가지 그외의 特性의 규명 및 理論的인 計算이 不可能 또는 어려웠었다.

5. 結 論

SCR의 anode 電壓을 一定值로 유지하면서 gate 回路의 電壓值를 變化시킬때 電壓制御形(N字形) 負性抵抗特性이 나타남을 이미 著者が 밝힌바 있으나 이것을 理論的으로 本文 (10)式에서와 같은 條件 $S_3 < S_4$ 의 關係가 成立해야 한다는 것을 규명했다.

發振回路에서는 各 cathode쪽에 抵抗 R_A 를 挿入하고, 그 값이 200[Ω]에서 400[Ω]일 때에 安定된 發振을 하였고, L 와 C 의 값 및 素子 結合狀態에는 別關係가 없음을 알았다.

參 考 文 獻

1. B. C. Bark: Negative Resistance Oscillator using Planer SCR. Sung Kyung Kwan Univ. Journal '72(Vol XVII) p.55.
2. B. C. Bark: Sinusoidal oscillalor using Planer SCR, KIEE Vol. 11, No. 2 (April '74 p.40.
3. B. C. Bark: Nonlinear Analysis of SCR oscillator, KIEE Vol. 11, No. 3, (July '74)p.136.
4. 오우무社編: Scmicondctors Hand Book: 日本 오우무社版. p.198.
5. 오우무社編: 무선공학 핸드북, 日本 오우무社版.